

Lothar Fendrich
Wolfgang Fengler *Hrsg.*

Handbuch Eisenbahn- infrastruktur

2. Auflage

Handbuch Eisenbahninfrastruktur

Lothar Fendrich • Wolfgang Fengler
(Hrsg.)

Handbuch Eisenbahn infrastruktur

2., neu bearbeitete Auflage

Herausgeber
Lothar Fendrich
Colmar
Frankreich

Wolfgang Fengler
Institut für Bahnsysteme und
Öffentlichen Verkehr
Professur für Gestaltung von Bahnanlagen
TU Dresden
Dresden
Deutschland

ISBN 978-3-642-30020-2 ISBN 978-3-642-30021-9 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-642-30021-9

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2007, 2013

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Vieweg ist eine Marke von Springer DE. Springer DE ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media
www.springer-vieweg.de

Geleitwort zur 2. Auflage

Die Eisenbahninfrastruktur weist eine große Anlagenvielfalt mit komplexen Wechselwirkungen auf und ist – Fluch und Segen zugleich – insgesamt äußerst langlebig. Die Lebenszyklen der einzelnen Anlagentypen des Fahrwegs, wie Oberbau, Brücken, Tunnel, Energie-, Leit- und Sicherungstechnik, sind dabei jedoch sehr unterschiedlich. Eine optimale Nutzungsdauer der Anlage kann nur durch eine entsprechende Anfangsqualität, gepaart mit einer auf Lebenszykluskosten basierenden gemeinsamen Planung von Investition und Instandhaltung, erreicht werden. Zudem bedarf es einer stabilen Organisation des Eisenbahninfrastrukturbetreibers und einer Ausrichtung auf die Streckensicht, um die richtige Maßnahme zum richtigen Zeitpunkt setzen zu können. Denn Prognosefähigkeit und -stabilität des Anlageverhaltens sind es letztlich, die Planbarkeit und gesicherten Mittelfluss garantieren.

Nachhaltigkeit bildet das Leitmotiv der Anlagenbewirtschaftung, in der alle Instandhaltungsentscheidungen mit Hilfe mittel- und langfristiger Betrachtungen wirtschaftlich und technisch abzusichern sind. Dazu müssen die Verantwortlichen aller Ebenen über ihre Mandats- und Amtsperioden hinaus denken und planen; denn nachhaltige Substanzerhaltung geht über Vorstandsperioden hinaus.

Während wir heute die planerischen und investiven Leistungen der vorigen Generationen ernten, gilt es auch heute, künftige Ergebnisse zu säen. Dies ist umso wichtiger, als nicht nur der demografische Wandel, sondern auch der zunehmende Mangel an gut ausgebildeten Ingenieuren und an technischem Fachpersonal zum aktiven Gegensteuern zwingt.

Umfassende Ausbildung zur Berufsfähigkeit, als Aufgabe unserer Gesellschaft, und lebenslanges Lernen zum Erhalt und Ausbau der Berufsfertigkeiten, als Herausforderung für jeden Einzelnen von uns, sind die beiden Säulen, auf denen auch Bestand und Entwicklung der Eisenbahninfrastruktur ruht.

Dazu leistet das nunmehr bereits in der 2. Auflage erscheinende Handbuch Eisenbahninfrastruktur einen wichtigen Beitrag, in dem es die große Bandbreite von Bahnanlagen und ihre Komplexität in 21 umfang- und inhaltsreichen Kapiteln dem Nutzer nahe bringt.

In dieses Gemeinschaftswerk haben über dreißig Fachleute aus allen Bereichen der Eisenbahninfrastruktur ihre (Er-)Kenntnisse und Erfahrungen in dem Bewusstsein ihrer Verantwortung für die nachfolgende Fachgeneration niedergelegt. Es freut mich besonders, dass auch eine Reihe von österreichischen Experten hier mitgearbeitet hat.

Ich spreche übrigens bewusst nicht vom Leser, sondern vom Nutzer dieses Werkes, denn in diesem Handbuch soll gezielt nachgeschlagen werden, um detailstark im eigenen Fachgebiet zu bleiben und um sein Wissen in den Nachbardisziplinen zu vertiefen. Man nimmt dieses Handbuch „zur Hand“, um die Eisenbahninfrastruktur „im Griff“ zu haben.

Ich beglückwünsche die Herausgeber Lothar Fendrich und Wolfgang Fengler sowie alle Autoren zu dieser 2. Auflage, die umfänglich und inhaltlich stark erweitert wurde. Sie haben mit Energie und Enthusiasmus, mit Zähigkeit und Nachdruck ein ausgezeichnetes Kompendium verfasst.

Möge dieses Handbuch Eisenbahninfrastruktur für unsere Eisenbahnen in Europa Nutzen stiften.

Wien, im März 2013

Ing. Mag. (FH) Andreas Matthä
Vorstandssprecher ÖBB-Infrastruktur AG

Vorwort zur 2. Auflage

Dem im Vorwort zur ersten Auflage formulierten Anspruch, ein umfassendes, detailreiches und praxisgerechtes Nachschlagewerk vorzulegen, will auch diese zweite Auflage gerecht werden.

Nach nunmehr sieben Jahren wurden nicht nur alle Beiträge überarbeitet, aktualisiert und, zum Teil erheblich, erweitert, sondern es konnten für einzelne Kapitel auch neue Autoren und Mitautoren gewonnen werden, die sich zusammen mit allen anderen Beteiligten für diese neue Auflage engagierten.

Insbesondere das Kapitel Ingenieurbauwerke wurde ganz umgestaltet und mit umfangreichem Bildmaterial ausgestattet. Mit dem neuen Kapitel Weichen wird eine Lücke der ersten Auflage geschlossen. Das neue Kapitel Spurlanggestaltung und betriebliche Infrastrukturplanung erweitert den Blickwinkel der 1. Auflage und trägt dem Umstand Rechnung, dass die Gestaltung der Bahnanlagen heute stärker als früher den Taktverkehren des Personenverkehrs Rechnung tragen muss und insofern heute erheblich von betrieblichen Zwängen dominiert wird, die es zu kennen und zu berücksichtigen gilt.

Die nunmehr erweiterte Herausgeberschaft verdeutlicht den Teamgedanken, der diesem Gemeinschaftswerk von Anfang an zugrunde liegt. So gebührt allen Autoren unser aufrichtigster Dank für ihre Bereitschaft, sich den Mühen einer gewissenhaften Überarbeitung ihrer Beiträge zu unterziehen respektive als neu Hinzugekommene ihr Fachwissen und ihre Erfahrung in dieses Handbuch einzubringen.

Mit tiefem Bedauern haben wir von zwischenzeitlich verstorbenen Mitstreitern der 1. Auflage Abschied nehmen müssen: Dem Verfasser des Geleitworts Herrn Prof. Robert E. Rivier, École Polytechnique Fédérale de Lausanne († 2007), und dem Verfasser des Kapitels *Beanspruchung von Gleisen und Weichen* Herrn Prof. Dr.-Ing. Johannes Franz, Honorarprofessor an der Technische Universität Berlin († 2008). Den Platz des Kapitels nimmt in der 2. Auflage das Kapitel *Auslegung des Eisenbahnoberbaus* ein.

Wir freuen uns ganz besonders, dass Herr Ing. Mag. (FH) Andreas Matthä, Vorstandssprecher der ÖBB-Infrastruktur AG, in seinem trefflichen Geleitwort die Komplexität der Eisenbahninfrastruktur herausstellt und damit aus Anwendersicht die Sinnhaftigkeit dieses Werkes untermauert. Dafür danken wir ihm herzlich.

Unser Dank gilt auch Herrn Dipl.-Ing. Thomas Lehnert vom Springer-Verlag, der schon seit längerem mit freundlicher Beharrlichkeit auf diese zweite Auflage drängte und die Arbeiten daran geduldig begleitete. Ganz besonders bedanken wir uns bei Frau Sigrid Cuneus von der Redaktion Technik

des Springer-Verlages, die wiederum mit hohem Engagement und bewundernswerter Umsicht Herausgeber und Autoren motivierend und anspornend betreut hat.

Möge auch diese zweite Auflage des Handbuches Eisenbahninfrastruktur viele Nutzer in der Praxis der eisernen Bahn und an den Hochschulen und Universitäten finden.

Colmar/Dresden, im Dezember 2013

Lothar Fendrich
Wolfgang Fengler

Vorwort zur 1. Auflage

Mit diesem Handbuch wird eine fachübergreifende Darstellung der wesentlichen geltenden Parameter für Bau, Ausbau sowie Instandhaltung und Betrieb von Eisenbahninfrastruktur vorgelegt. Dies entspricht dem dringenden Bedarf nach einem umfassenden, detailreichen und praxisgerechten Nachschlagewerk neueren Datums für Ingenieure der verschiedenen Fachrichtungen im Bereich der Eisenbahninfrastruktur.

Das 1961 von Prof. Dr.-Ing. Ewald Graßmann, Berlin, herausgegebene Handbuch des Eisenbahn-Bauwesens erfüllt heutige Anforderungen nicht mehr. In der Zwischenzeit ist eine Fülle von Fachbüchern erschienen, die sich jeweils nur einem Bereich des Eisenbahnwesens widmen.

Das aktuelle Werk wendet sich an den praktisch tätigen und planenden Ingenieur und auch an Studierende. Es will die technischen und operativen Grundlagen und Zusammenhänge der Eisenbahninfrastruktur in Maß und Zahl darstellen. Der Nutzer soll nicht durch ausufernde Prosatexte ermüdet werden, sondern durch eine knappe, aber fakten- und detailreiche Darstellung einen schnellen Zugriff auf das gesuchte Wissensgebiet respektive auf die nachzuschlagenden Einzelheiten erhalten.

Zugleich sollen die Komplexität und die Verzahnung der Ingenieurdisziplinen der Eisenbahninfrastruktur vermittelt werden, wobei theoretische Grundlagen mit praktischen Erfahrungen verbunden werden. Im Einzelnen werden anerkannte Verfahren und Berechnungen sowie ein umfangreiches Datenwerk mit Bildern, Zahlen, Tabellen und Diagrammen, nach denen man heute unter Zeitdruck meist vergeblich in den verschiedensten Einzelpublikationen sucht, an die Hand gegeben. Der in der Regel in seinem engeren Fachgebiet kundige Leser soll über dieses hinaus gerade in den Kapiteln der anderen Gewerke der Eisenbahninfrastruktur auf umfassende Darstellungen zurückgreifen können, die ihm fundierten Erkenntniszugewinn für seine Arbeit an den vielfältigen Schnittstellen bieten. Insofern ist das Werk auch für Studierende gedacht, die sich mit den Besonderheiten des Systems Schiene vertraut machen wollen.

Inhaltlich orientiert es sich an den „Technischen Spezifikationen für die Interoperabilität (TSI)“, welche die Teilsysteme Infrastruktur, Energieversorgung, Zugsteuerung–Zugsicherung–Signalgebung, Fahrzeuge, Instandhaltung, Betrieb, Umwelt und Fahrgäste ausweist. Bereits in der Gliederung kommt das Grundanliegen zum Ausdruck: die Darstellung der für das System Schiene und damit auch für die Eisenbahninfrastruktur charakteristischen Verbundwirkungen und technischen Integrationen.

Im Gliederungs- und auch inhaltlichen Mittelpunkt steht die Interaktion Rad/Schiene respektive Fahrzeug/Gleis, um die sich die systemischen Wechselwirkungen Pantograph/Oberleitung und Fahrzeug/Trassierung mit Lichtraum sowie Eisenbahninfrastruktur insgesamt/Umfeld-Umwelt gruppieren.

Darüber hinaus wurde Wert darauf gelegt, auch Fachgebiete angemessen darzustellen, die nicht immer im unmittelbaren Blickfeld des Interesses an Eisenbahninfrastruktur stehen, wie die Stromversorgungsanlagen der Infrastruktur, das Lernen aus Schadensfällen des Baugrundes, Kabelanlagen, Funktionale Sicherheit fester Anlagen, Anforderungen an die eisenbahnbetriebliche Kommunikation.

Als Autoren konnten 31 anerkannte Fachleute aus Deutschland und Österreich gewonnen werden. Naturgemäß ergeben sich durch die Vielzahl der Autoren aus den verschiedenen Fachgebieten unterschiedliche Sicht- und Darstellungsweisen. Es ist mir wichtig festzustellen, dass die Individualität der jeweiligen Autoren nicht eingeengt wurde, sondern im Gegenteil die inhaltlichen Schwerpunkte, die die Autoren gesetzt haben, deutlich blieben.

Bei der Bearbeitung der einzelnen Kapitel wurde den Autoren auch deshalb große individuelle Gestaltungsfreiheit eingeräumt, um eine lehrbuchhafte Attitude zu vermeiden und stattdessen dem jeweiligen individuellen Erfahrungs- und Erkenntnischatz des Bearbeiters Vorrang zu geben.

An erster Stelle gilt mein herzlichster Dank allen Autoren, die sich von Anfang an bereitwillig, ja enthusiastisch für dieses Gemeinschaftswerk engagiert haben und auch in der terminengen Schlussphase nicht nachließen.

Mein Dank gilt Herrn Dipl.-Ing. Thomas Lehnert vom Springer-Verlag, der den Anstoß zu diesem Handbuch gab und sein Werden umsichtig begleitete und förderte. Ein besonderer Dank gebührt Frau Sigrid Cuneus von der Redaktion Technik des Springer-Verlages, die die Herausforderungen von Autorenvialfalt und Detailteufeln vorbildlich gemeistert hat.

Möge dieses Handbuch Eisenbahninfrastruktur viele Leser und Nutzer finden, und zwar nicht nur in den deutschsprachigen DACH-Staaten, sondern insbesondere auch in den neuen und künftigen Mitgliedsländern der Europäischen Union.

Berlin, im September 2006

Lothar Fendrich

Inhalt

| | | |
|----------|--|----|
| 1 | Das Zusammenwirken von Rad und Schiene | 1 |
| | Klaus Rießberger | |
| 1.1 | Einleitung..... | 1 |
| 1.2 | Der Radsatz im Gleis..... | 2 |
| 1.2.1 | Einführung..... | 2 |
| 1.2.2 | Das Reibungsgesetz..... | 3 |
| 1.2.3 | Äquivalente Konizität..... | 5 |
| 1.2.4 | Rückstellsteifigkeit c_{yg} | 7 |
| 1.2.5 | Einfluss der Spurweite auf λ_e , c_{yg} | 8 |
| 1.2.6 | Möglichkeiten der Einflussnahme..... | 8 |
| 1.2.7 | Anmerkungen zur Wahl eines Radprofils..... | 9 |
| 1.2.8 | Bewegungsgleichungen von Radsätzen..... | 9 |
| 1.3 | Das Drehgestell am Gleis..... | 11 |
| 1.3.1 | „Steife“ Konstruktionen..... | 11 |
| 1.3.2 | „Weiche“ Drehgestelle..... | 12 |
| 1.3.3 | „Selbstlenkende“ und „Zwangsgesteuerte“ Drehgestelle..... | 12 |
| 1.3.4 | Gleichungssysteme für Fahrzeuge..... | 13 |
| 1.4 | Stabilität..... | 14 |
| 1.4.1 | Kritische Geschwindigkeit..... | 14 |
| 1.4.2 | Einflüsse auf die Laufstabilität..... | 18 |
| 1.5 | Bogenlauf..... | 20 |
| 1.6 | Maßnahmen zur Unterstützung guter Rad-Schiene- Interaktion..... | 22 |
| 1.7 | Beispiele und Erfahrungen..... | 22 |
| 1.8 | Entgleisungen..... | 26 |
| 1.8.1 | Entgleisungsursachen..... | 26 |
| 1.8.2 | Entgleisungskriterien..... | 28 |
| 1.9 | Zusammenfassung..... | 28 |
| | Anhang 1..... | 29 |
| | Literatur..... | 37 |
| 2 | Auslegung des Eisenbahnoberbaus | 39 |
| | Ulf Gerber | |
| 2.1 | Äußere Belastung..... | 39 |
| 2.1.1 | Äußere Vertikalbelastung..... | 39 |
| 2.1.2 | Äußere Längsbelastung..... | 45 |
| 2.1.3 | Äußere Seitenbelastung..... | 45 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 2.2 | Innere Belastung..... | 46 |
| 2.2.1 | Innere Vertikalbelastung..... | 46 |
| 2.2.2 | Innere Längsbelastung..... | 49 |
| 2.2.3 | Innere Seitenbelastung..... | 51 |
| 2.3 | Belastung und Belastbarkeit..... | 51 |
| 2.3.1 | Vertikale Belastung und Belastbarkeit | 51 |
| 2.3.2 | Belastung und Belastbarkeit in Längsrichtung | 54 |
| 2.3.3 | Seitliche Belastung und Belastbarkeit..... | 55 |
| 2.4 | Belastung und Auslegung der Oberbaukomponenten..... | 56 |
| 2.4.1 | Schienen..... | 57 |
| 2.4.2 | Schienenbefestigung..... | 58 |
| 2.4.3 | Schwellen..... | 59 |
| 2.4.4 | Schotter..... | 60 |
| 2.5 | Belastung und Anschaffungskosten des Eisenbahnoberbaus | 61 |
| 2.6 | Zusammenfassung..... | 62 |
| | Literatur | 64 |
| 3 | Schienen und Schienenschweißen..... | 65 |
| | Klaus Meißner und Alfred Wöhhart | |
| 3.1 | Schienenwerkstoffe und Schienenprofile | 65 |
| 3.1.1 | Stahl als Baustoff, Schienenstahl als individueller Werkstoff..... | 65 |
| 3.1.2 | Aufgaben der Schiene..... | 65 |
| 3.1.3 | Eigenschaften des Schienenstahls..... | 67 |
| 3.1.4 | Gefüge des Schienenstahls..... | 69 |
| 3.1.5 | Schienenstahlherstellung | 70 |
| 3.1.6 | Schienenformen (Schienenprofile) | 70 |
| 3.1.7 | Walzlängen, Walzzeichen und Warmstempeln..... | 73 |
| 3.1.8 | Verwendung und Verschleißbeanspruchung von Schienen..... | 74 |
| 3.1.9 | Ziele..... | 74 |
| 3.2 | Schienenschweißen..... | 74 |
| 3.2.1 | Allgemeines | 74 |
| 3.2.2 | Abbrennstumpfschweißen..... | 75 |
| 3.2.3 | Gaspressschweißen..... | 79 |
| 3.2.4 | Aluminothermisches Gießschmelzschweißen | 80 |
| 3.2.5 | Lichtbogenschweißen | 82 |
| 3.3 | Schienenschleifen (Oberflächenbearbeitung)..... | 83 |
| 3.3.1 | Allgemeines | 83 |
| 3.3.2 | Neuschienenschleifen | 84 |
| 3.3.3 | Präventivschleifen | 84 |
| 3.3.4 | Erhaltungsschleifen (-fräsen) | 84 |
| 3.3.5 | Schleifen von Schweißungen | 84 |
| 3.4 | Fehler und Schäden an Schienen und Schienenschweißungen..... | 85 |
| 3.4.1 | Allgemeines | 85 |
| 3.4.2 | Schienenfehler, Übersicht | 85 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 3.4.3 | Beschreibung der Schienenfehler | 85 |
| 3.5 | Prüfen, Messen und Bewerten von Schienen und Schienenschweißungen..... | 88 |
| 3.5.1 | Allgemeines | 88 |
| 3.5.2 | Schienen..... | 89 |
| 3.5.3 | Schweißungen..... | 90 |
| 3.5.4 | Methoden der zerstörungsfreien Prüfung von Schienen..... | 90 |
| 3.6 | Herstellen lückenloser Gleise und Weichen..... | 90 |
| 3.6.1 | Allgemeines | 90 |
| 3.6.2 | Spannungsausgleich im Gleis | 93 |
| 3.6.3 | Spannungsausgleich in Weichen..... | 95 |
| 4 | Eisenbahndämme und Einschnitte..... | 97 |
| | Horst Rahn | |
| 4.1 | Einführung..... | 97 |
| 4.2 | Baugrundtechnische Bewertung der Erdbauwerke und des Baugrundes | 99 |
| 4.2.1 | Geologische, hydrologische Situation, Einfluss aus der Verwitterung..... | 101 |
| 4.2.2 | Umweltschäden | 103 |
| 4.2.3 | Aufschluss des Baugrundes..... | 106 |
| 4.2.4 | Baugrundgutachten/geotechnischer Bericht..... | 107 |
| 4.3 | Gründung von Erdbauwerken auf tragfähigem Baugrund ... | 109 |
| 4.3.1 | Oberbodenabtrag und Untergrundplanum..... | 110 |
| 4.3.2 | Dammaufbau..... | 114 |
| 4.3.3 | Aushub tiefer Baugruben mit Unterwasserbaggerung/ Saugwirkung | 162 |
| 4.4 | Gründung von Erdbauwerken auf wenig tragfähigem Baugrund | 163 |
| 4.4.1 | Allgemeine Grundlagen bei der Bewertung der Bahndämme auf wenig tragfähigem Baugrund..... | 163 |
| 4.4.2 | Die Entstehung der Moore und die bautechnische Nutzung ihrer Eigenschaften | 166 |
| 4.4.3 | Besonderheiten der Erkundung und Baugrundbeurteilung | 168 |
| 4.4.4 | Überschütten von Moorflächen mit einer Arbeits- und Filterschicht..... | 171 |
| 4.4.5 | Analyse der Schäden schwimmend gegründeter Bahndämme..... | 175 |
| 4.4.6 | Wahl der Sanierungs- und Ertüchtigungsmethode bei Arbeiten an in Betrieb befindlichen Bahndämmen auf weichem Untergrund..... | 184 |
| 4.5 | Schäden an Bauwerken im organischen Baugrund und die Rolle dieser Schichten als Überträger energiereicher Einwirkungen | 227 |
| 4.5.1 | Vorbemerkungen | 227 |
| 4.5.2 | Erschütterungen im Baufeld durch Sprengungen | 228 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 4.5.3 | Die Vibration – ein wichtiges Hilfsmittel zur Beschleunigung von Ramm- und Ziehvorgängen mit seinen Nebenwirkungen in Moorgebieten..... | 230 |
| 4.5.4 | Schäden durch dynamische Wirkungen..... | 234 |
| | Literatur..... | 237 |
| 5 | Weichen | 239 |
| | Ekkehard Lay und Reinhold Rensing | |
| 5.1 | Allgemeines..... | 239 |
| 5.1.1 | Geschichte und Definition..... | 239 |
| 5.1.2 | Weichen als Kostenfaktor..... | 240 |
| 5.2 | Weichen und Kreuzungen..... | 242 |
| 5.2.1 | Allgemeines..... | 242 |
| 5.2.2 | Weichenbauarten..... | 243 |
| 5.3 | Weichen und Kreuzungen als Planungselement..... | 249 |
| 5.3.1 | Grundlagen der Weichengeometrie..... | 249 |
| 5.3.2 | Zweiggleisbogen..... | 251 |
| 5.3.3 | Darstellung im Lageplan..... | 252 |
| 5.3.4 | Anordnung von Weichen..... | 254 |
| 5.4 | Bauteile von Weichen und Kreuzungen..... | 254 |
| 5.4.1 | Allgemein..... | 254 |
| 5.4.2 | Weichenfahrbahn..... | 255 |
| 5.4.3 | Zungenvorrichtungsbereich..... | 257 |
| 5.4.4 | Zwischenschienenteil..... | 265 |
| 5.4.5 | Herzstückbereich..... | 265 |
| 5.4.6 | Radlenker..... | 269 |
| 5.4.7 | Endteil..... | 270 |
| 5.4.8 | Spurführungstechnische Besonderheiten bei starren Herzstücken..... | 270 |
| 5.5 | Schienenbefestigungssysteme in Weichen..... | 273 |
| 5.5.1 | Zungenbereich..... | 274 |
| 5.5.2 | Zwischenschienenbereich..... | 275 |
| 5.5.3 | Herzstückbereich und Radlenker..... | 275 |
| 5.5.4 | Befestigung auf den Schwellen..... | 276 |
| 5.6 | Schwellen und Lagerungssysteme..... | 277 |
| 5.7 | Stell- und Verschlussysteme..... | 278 |
| 5.7.1 | Stellsysteme..... | 279 |
| 5.7.2 | Arten der Verschlüsse..... | 280 |
| 5.8 | Einbau von Weichen..... | 281 |
| 5.8.1 | Allgemein..... | 281 |
| 5.8.2 | Weicheneinbau und -umbau unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten..... | 281 |
| 5.8.3 | Weicheneinbau- und -umbauverfahren..... | 282 |
| 5.9 | Instandhaltung von Weichen..... | 289 |
| 5.9.1 | Gesetzliche Grundlagen..... | 289 |
| 5.9.2 | Anlagenverantwortung..... | 290 |
| 5.9.3 | Elemente der Instandhaltung..... | 291 |
| 5.9.4 | Inspektion..... | 291 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 5.9.5 | Wartung | 298 |
| 5.9.6 | Instandsetzung | 298 |
| 5.10 | Weichendiagnose | 301 |
| 5.10.1 | Allgemeines | 301 |
| 5.10.2 | Anwendungsbereich und Systemvarianten | 301 |
| 5.10.3 | Allgemeine Funktionsbeschreibung | 301 |
| 5.10.4 | Nutzen | 302 |
| 5.11 | Schnittstellen | 302 |
| 5.11.1 | Betriebliche Schnittstellen | 302 |
| 5.11.2 | Bautechnische Schnittstellen: | 303 |
| 5.11.3 | Energieversorgung | 304 |
| 5.11.4 | Fahrleitungstechnische Schnittstellen | 304 |
| 5.12 | Ausblick und Entwicklungstendenzen | 304 |
| 5.12.1 | Materialverbesserungen | 304 |
| 5.12.2 | Verbesserungen der Überlaufgeometrie | 305 |
| 5.12.3 | Verbesserungen der Stützpunktelastizität | 305 |
| 5.12.4 | Schall- und Erschütterung | 305 |
| 5.12.5 | Verschlusstechnik | 305 |
| 5.12.6 | Ferndiagnose und Überwachungssysteme | 306 |
| | Literatur | 306 |
| 6 | Querschnittsgestaltung der Bahnanlagen | 307 |
| | Anton Schmitt und Eberhard Jänsch | |
| 6.1 | Fahrzeugbegrenzung und Lichtraumprofil | 307 |
| 6.1.1 | Einführung | 307 |
| 6.1.2 | Verschiedene Berechnungsmethoden | 308 |
| 6.1.3 | Statische Bezugslinien | 309 |
| 6.1.4 | Kinematische Berechnungsmethode | 309 |
| 6.1.5 | Regellichraum nach EBO | 312 |
| 6.2 | Elemente der Streckenquerschnitte bei der DB Netz AG | 314 |
| 6.2.1 | Lichtraum | 314 |
| 6.2.2 | Gleisabstand | 317 |
| 6.2.3 | Fahrbahnbreite | 321 |
| 6.2.4 | Abstand fester Anlagen von Gleismitte | 322 |
| 6.2.5 | Lichte Weite und Höhe unter Überführungsbauwerken | 323 |
| 6.3 | Streckenquerschnitte | 324 |
| 6.3.1 | Streckenquerschnitt auf Erdkörpern | 324 |
| 6.3.2 | Streckenquerschnitt auf Brücken und in Tunneln | 325 |
| 6.4 | Abstände in Gleisanlagen mit Arbeitsstätten und Verkehrswegen | 326 |
| 6.5 | Parallelführung von Schienenweg und Straße | 330 |
| 6.6 | Bahnsteiganlagen | 331 |
| 6.6.1 | Grundsätze für die Konzeption und Gestaltung | 331 |
| 6.6.2 | Abmessungen | 332 |
| | Literatur | 335 |

| | |
|--|------------|
| 7 Eisenbahnbrücken, Tunnel und Ingenieurbauwerke | 337 |
| Tristan Mölter und Michael Fiedler | |
| 7.1 Definition Ingenieurbauwerke | 337 |
| 7.2 Geschichte der Deutschen Eisenbahn | 337 |
| 7.3 Eisenbahnbrücken | 337 |
| 7.3.1 Geschichte der Eisenbahnbrücken in Deutschland | 337 |
| 7.3.2 Aktuelle Entwicklungen im Eisenbahnbrückenbau ... | 342 |
| 7.3.3 Normen und Regelwerke | 349 |
| 7.3.4 Anforderungen an Eisenbahnbrücken | 357 |
| 7.3.5 Entwurfsgrundlagen | 359 |
| 7.3.6 Entwurfsgrundsätze | 368 |
| 7.3.7 Ausrüstungselemente für Eisenbahnbrücken | 376 |
| 7.3.8 Hilfsbrücken und Baubehelfe | 380 |
| 7.4 Tunnel und Trogbauwerke | 384 |
| 7.4.1 Geschichte der Tunnel und Eisenbahntunnel in Deutschland | 385 |
| 7.4.2 Aktuelle Entwicklungen im Eisenbahntunnelbau | 386 |
| 7.4.3 Normen und Regelwerke | 386 |
| 7.4.4 Anforderungen an Eisenbahntunnel | 387 |
| 7.4.5 Entwurfsgrundlagen | 388 |
| 7.4.6 Tunnelbauverfahren | 392 |
| 7.4.7 Tunnelinspektion | 399 |
| 7.5 Lärmschutzwände | 400 |
| Literatur | 404 |
| | |
| 8 Betriebsführung der Infrastruktur | 405 |
| Jörn Pachl | |
| 8.1 Betriebsführung der Infrastruktur | 405 |
| 8.2 Grundbegriffe des Bahnbetriebes | 405 |
| 8.2.1 Rechtsverordnungen und Regelwerke | 405 |
| 8.2.2 Einteilung der Eisenbahnunternehmen | 406 |
| 8.2.3 Grundsätzliche Klassifizierung der Betriebsverfahren | 406 |
| 8.2.4 Einteilung der Betriebsstellen | 407 |
| 8.2.5 Durchführung von Fahrten auf einer Eisenbahninfrastruktur | 409 |
| 8.3 Signalisierung am Fahrweg | 415 |
| 8.3.1 Signalsysteme | 415 |
| 8.3.2 Verwendung der Signale | 419 |
| 8.4 Flankenschutz der Fahrwege | 432 |
| 8.4.1 Flankenschutz gegen feindliche Zugfahrten | 432 |
| 8.4.2 Flankenschutz gegen feindliche Rangierfahrten und unbeabsichtigt ablaufende Wagen | 433 |
| 8.4.3 Flankenschutz gegen das Strecken von Zügen | 433 |
| 8.4.4 Erfordernis von Schutzweichen | 433 |
| 8.5 Bauen im Betrieb | 434 |
| 8.5.1 Sicherung von Arbeitsstellen im Gleis | 434 |
| 8.5.2 Betriebliche Maßnahmen zur Durchführung von Baumaßnahmen | 437 |
| Literatur | 440 |

| | |
|---|-----|
| 9 Spurplangestaltung und betriebliche Infrastrukturplanung | 441 |
| Werner Weigand und Andreas Heppe | |
| 9.1 Planungsphasen..... | 441 |
| 9.1.1 Planungsphasen der Bauplanung nach HOAI..... | 441 |
| 9.1.2 Infrastrukturplanung mittels Langfristfahrplan..... | 443 |
| 9.2 Spurplangestaltung..... | 462 |
| 9.2.1 Einleitung..... | 462 |
| 9.2.2 Betriebliche Funktionen von Bahnhöfen..... | 464 |
| 9.2.3 Verkehrliche Funktionen von Bahnhöfen..... | 467 |
| 9.2.4 Gleisarten..... | 469 |
| 9.2.5 Anordnung der Gleise und Gleisgruppen..... | 471 |
| 9.3 Leistungsuntersuchungen..... | 482 |
| 9.3.1 Leistungsverhalten..... | 482 |
| 9.3.2 Untersuchungsverfahren für Leistungsuntersuchungen..... | 485 |
| 9.3.3 Einsatz der verschiedenen Methoden..... | 488 |
| 9.3.4 Ablauf der Untersuchungen..... | 489 |
| 9.4 Zusammenfassung..... | 492 |
| Literatur..... | 493 |
| | |
| 10 Leit- und Sicherungstechnik | 495 |
| Ulrich Maschek | |
| 10.1 Einführung..... | 495 |
| 10.1.1 Begriffsabgrenzung..... | 495 |
| 10.1.2 Maßgebende Systemeigenschaften..... | 495 |
| 10.1.3 Regelkreis der Betriebssicherheit im Schienenverkehr..... | 497 |
| 10.2 Ortung..... | 498 |
| 10.2.1 Grundlagen..... | 498 |
| 10.2.2 Wirkprinzipien..... | 498 |
| 10.2.3 Gleisfreimeldung mittels Gleisstromkreis..... | 501 |
| 10.2.4 Gleisfreimeldung mittels Achszähler..... | 504 |
| 10.2.5 Anwendung von Gleisstromkreisen und Achszählern..... | 506 |
| 10.3 Sicherung beweglicher Fahrweegelemente..... | 506 |
| 10.3.1 Grundlagen..... | 506 |
| 10.3.2 Weiche und Kreuzung..... | 506 |
| 10.3.3 Gleissperre..... | 510 |
| 10.3.4 Bewegliche Brücke..... | 510 |
| 10.3.5 Drehscheibe und Schiebebühne..... | 510 |
| 10.3.6 Tor..... | 510 |
| 10.4 Technologien der Fahrwegsicherung..... | 511 |
| 10.4.1 Herleitung..... | 511 |
| 10.4.2 Technologie Fahrstraße..... | 512 |
| 10.4.3 Technologie Blockinformation..... | 522 |
| 10.5 Techniken zur Fahrwegsicherung..... | 524 |
| 10.5.1 Differenzierung zwischen Leit- und Sicherungstechnik..... | 524 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 10.5.2 | Klassifizierung der Techniken..... | 525 |
| 10.5.3 | Mechanisches Stellwerk | 526 |
| 10.5.4 | Elektromechanisches Stellwerk..... | 527 |
| 10.5.5 | Relaisstellwerk | 527 |
| 10.5.6 | Elektronisches Stellwerk (ESTW)..... | 528 |
| 10.6 | Leittechnik..... | 528 |
| 10.6.1 | Aufgaben der Leittechnik | 528 |
| 10.6.2 | Zugnummernmeldung (ZN)..... | 529 |
| 10.6.3 | Zuglenkung (ZL)..... | 530 |
| 10.6.4 | Fernsteuerung von Stellwerken | 530 |
| 10.6.5 | Zentralen zur Betriebsführung..... | 531 |
| 10.7 | Anordnung ortsfester Signale | 531 |
| 10.7.1 | Bezeichnung der Vor- und Hauptsignale | 531 |
| 10.7.2 | Standort quer zum Gleis | 532 |
| 10.7.3 | Standort längs zum Gleis..... | 532 |
| 10.8 | Zugbeeinflussung | 535 |
| 10.8.1 | Anforderungen | 535 |
| 10.8.2 | Systematisierung..... | 536 |
| 10.8.3 | Systeme mit Balisen | 537 |
| 10.8.4 | Führerraumsignalisierung | 537 |
| 10.8.5 | Signum | 538 |
| 10.8.6 | Punktförmige Zugbeeinflussung PZB 90 | 539 |
| 10.8.7 | Geschwindigkeitsüberwachung für Neigetechnik (GNT) | 542 |
| 10.8.8 | Linienzugbeeinflussung (LZB) | 542 |
| 10.8.9 | European Train Control System (ETCS)..... | 543 |
| | Symbolverzeichnis..... | 551 |
| 11 | Funktionale Sicherheit | 553 |
| | Jens Braband | |
| 11.1 | Einleitung..... | 553 |
| 11.1.1 | Wesentliche Unfallursachen | 553 |
| 11.1.2 | Beispiel | 553 |
| 11.1.3 | Epochen der Systemsicherheit | 554 |
| 11.2 | Definition des Begriffs Sicherheit | 554 |
| 11.2.1 | Klassische Definitionen | 554 |
| 11.2.2 | Moderne, risikoorientierte Definition | 555 |
| 11.2.3 | Risikoorientierter Ansatz..... | 556 |
| 11.2.4 | Europäische gesetzliche Vorgaben | 556 |
| 11.2.5 | Bedeutung der Normen..... | 558 |
| 11.3 | Risikoanalyse..... | 559 |
| 11.3.1 | Prozess der expliziten Risikoanalyse | 559 |
| 11.3.2 | Definition von Sicherheitszielen | 560 |
| 11.3.3 | Methoden zur expliziten Risikoanalyse | 574 |
| 11.3.4 | Semi-quantitatives Verfahren Risk Score Matrix | 578 |
| 11.4 | Sicherheitsnachweisführung..... | 581 |
| 11.4.1 | Gefährdungsanalyse-Prozess | 582 |
| 11.4.2 | Struktur und Hierarchie von Sicherheitsnachweisen..... | 584 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 11.4.3 | Aufbau und Inhalt von Sicherheitsnachweisen..... | 589 |
| 11.5 | Beurteilung von potenziellen Sicherheitsmängeln | 594 |
| 11.5.1 | Bewertungsprozess..... | 595 |
| 11.5.2 | Risikobewertung | 596 |
| 11.6 | Ereignisanalyse..... | 598 |
| 11.6.1 | Erfassung und Auswertung sicherheitsrelevanter Ereignisse | 598 |
| 11.6.2 | Unfallursachen | 598 |
| 11.6.3 | Unfallursachenanalyse | 599 |
| 11.6.4 | Lernen auf Organisationsebene..... | 600 |
| 11.7 | Sicherheitskultur..... | 600 |
| 11.7.1 | Begriffsdefinition..... | 601 |
| 11.7.2 | Indikatoren für eine positive Sicherheitskultur..... | 602 |
| 11.8 | Beispiel | 602 |
| 11.8.1 | Systemdefinition..... | 602 |
| 11.8.2 | Gefährdungsidentifikation | 603 |
| 11.8.3 | Risikoanalyse | 603 |
| 11.8.4 | Gefährdungsanalyse..... | 604 |
| | Weiterführende Literatur | 606 |
| 12 | Trassierung und Gleisplangestaltung | 607 |
| | Manfred Weigend | |
| 12.1 | Längsneigung der Eisenbahn..... | 607 |
| 12.1.1 | Längsneigung der Streckengleise | 607 |
| 12.1.2 | Längsneigung in Bahnhöfen..... | 609 |
| 12.1.3 | Ausrundung der Längsneigung | 609 |
| 12.2 | Allgemeine Regeln der Linienführung im Grundriss..... | 610 |
| 12.2.1 | Grundregel für durchgehende Hauptgleise..... | 610 |
| 12.2.2 | Grundregel für die übrigen Hauptgleise und die Nebengleise..... | 611 |
| 12.3 | Elemente der Linienführung im Kreisbogen..... | 611 |
| 12.3.1 | Radius, Überhöhung und Geschwindigkeit | 611 |
| 12.3.2 | Größe der Überhöhung..... | 613 |
| 12.3.3 | Der Überhöhungsfehlbetrag | 614 |
| 12.3.4 | Die Regelüberhöhung | 616 |
| 12.3.5 | Wahl der Bogenradien..... | 617 |
| 12.3.6 | Länge der Kreisbögen und Geraden | 617 |
| 12.3.7 | Gleisverziehungen | 617 |
| 12.4 | Übergangsbogen und Überhöhungsrampe | 618 |
| 12.4.1 | Die Klothoide mit gerader Überhöhungsrampe.... | 618 |
| 12.4.2 | Übergangsbogen- und Rampenlänge | 620 |
| 12.4.3 | Der Übergangsbogen mit geschwungener Rampe | 621 |
| 12.5 | Der Bogen ohne Übergangsbogen..... | 624 |
| 12.5.1 | Krümmungswechsel und Vergleichsradius..... | 624 |
| 12.5.2 | Längen der Zwischengeraden oder Zwischenbögen | 626 |
| 12.5.3 | Gegenbogen mit kleinen Radien | 627 |
| 12.6 | Entwurf der Spurpläne | 627 |
| 12.6.1 | Wahl und Anordnung der Weichen..... | 627 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 12.6.2 | Die Weiche als Spurplanelement..... | 628 |
| 12.7 | Optimierung vorhandener Anlagen..... | 637 |
| 12.7.1 | Die „gute“ Trasse | 637 |
| 12.7.2 | Maßnahmen zur Fahrzeitverkürzung..... | 637 |
| 12.7.3 | Linienkorrekturen | 638 |
| 12.7.4 | Einsatz von Neigetchnikfahrzeugen..... | 639 |
| 12.8 | Zusammenfassung | 640 |
| | Anhang..... | 640 |
| | Literatur..... | 641 |
| 13 | Bahnübergänge | 643 |
| | Eric J. Schöne | |
| 13.1 | Einführung | 643 |
| 13.2 | Grundlagen..... | 644 |
| 13.2.1 | Definitionen..... | 644 |
| 13.2.2 | Anforderungen..... | 644 |
| 13.2.3 | Rechtsgrundlagen | 645 |
| 13.3 | Bautechnische Gestaltung..... | 647 |
| 13.3.1 | Allgemeine Anforderungen | 647 |
| 13.3.2 | Bahnübergangsbeläge | 648 |
| 13.3.3 | Entwässerung..... | 650 |
| 13.4 | Sicherungsmaßnahmen | 650 |
| 13.4.1 | Technologien zur Sicherung | 650 |
| 13.4.2 | Nichttechnische Sicherung..... | 652 |
| 13.4.3 | Technische Sicherung | 660 |
| 13.5 | Bahnübergangssicherung als Gemeinschaftsaufgabe | 671 |
| 13.5.1 | Wechselwirkungen..... | 671 |
| 13.5.2 | Beschilderung und Markierung | 672 |
| 13.5.3 | Freihaltung der Aufstelllänge..... | 673 |
| 13.5.4 | Verkehrsschau an Bahnübergängen | 677 |
| 13.5.5 | Auffassung und Beseitigung..... | 677 |
| | Literatur..... | 678 |
| 14 | Energieversorgung elektrischer Bahnen..... | 681 |
| | Arnd Stephan und Bernd-Wolfgang Zweig | |
| 14.1 | Grundlagen..... | 681 |
| 14.1.1 | Aufgaben und Systemstruktur..... | 681 |
| 14.1.2 | Elektrifizierungswürdigkeit..... | 682 |
| 14.1.3 | Begriffsdefinitionen | 683 |
| 14.2 | Bahnstromsysteme | 684 |
| 14.2.1 | Entwicklung und Verbreitung | 684 |
| 14.2.2 | Gleichstrombahnsysteme..... | 686 |
| 14.2.3 | Wechselstrombahnsysteme mit Industriefrequenz | 689 |
| 14.2.4 | Wechselstrombahnsysteme mit Sonderfrequenz .. | 691 |
| 14.3 | Die 16,7-Hz-Bahnenergieversorgung in Deutschland..... | 691 |
| 14.3.1 | Gesamtstruktur | 691 |
| 14.3.2 | Teilsysteme..... | 694 |
| 14.4 | Fahrleitungen..... | 698 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 14.4.1 | Allgemeines..... | 698 |
| 14.4.2 | Oberleitungen..... | 699 |
| 14.4.3 | Stromschienenoberleitung | 737 |
| 14.4.4 | Stromschienen..... | 737 |
| 14.5 | Stromabnehmer | 742 |
| 14.5.1 | Allgemeines..... | 742 |
| 14.5.2 | Stromabnehmer für Oberleitungen..... | 743 |
| 14.5.3 | Seitenstromabnehmer bei Grubenbahnen..... | 745 |
| 14.5.4 | Stromabnehmer für Stromschienen..... | 745 |
| 14.6 | Rückstromführung, Bahnerdung und Potenzialausgleich... .. | 746 |
| 14.6.1 | Rückstromführung..... | 747 |
| 14.6.2 | Bahnerdung..... | 749 |
| 14.6.3 | Potenzialausgleich..... | 750 |
| 14.7 | Arbeiten in der Nähe spannungsführender Ober- und Bahnenergieleitungen (16,7 Hz, 15.000 V) | 751 |
| 14.7.1 | Abstand von Personen..... | 751 |
| 14.7.2 | Abstand von Baumaschinen und Geräten | 751 |
| | Literatur..... | 752 |
| 15 | Stromversorgung der Infrastruktur..... | 757 |
| | Eberhard Hunger und Jörg Mohrich | 757 |
| 15.1 | Vorbemerkungen | 757 |
| 15.1.1 | Energiebezug vom Versorgungsnetzbetreiber..... | 758 |
| 15.1.2 | Energiebezug aus der Oberleitung | 758 |
| 15.2 | Stromversorgung von Strecken..... | 759 |
| 15.2.1 | Verbraucherstruktur..... | 759 |
| 15.2.2 | Freie Strecke | 761 |
| 15.2.3 | Tunnel..... | 766 |
| 15.2.4 | Stellwerke an Strecken | 770 |
| 15.2.5 | Bahnhöfe, Haltepunkte an Strecken | 772 |
| 15.3 | Stromversorgung von Eisenbahnknoten..... | 774 |
| 15.3.1 | Verbraucherstruktur | 774 |
| 15.3.2 | Netzstruktur | 774 |
| 15.3.3 | Stellwerke von Eisenbahnknoten | 775 |
| 15.3.4 | Bahnhöfe von Eisenbahnknoten..... | 777 |
| 15.4 | Sonderanlagen | 781 |
| 15.4.1 | Zugbildungsanlagen | 781 |
| 15.4.2 | Elektrische Weichenheizanlagen..... | 782 |
| 15.4.3 | Zugvorheizanlagen..... | 785 |
| 15.4.4 | Zugbehandlungsanlagen | 792 |
| 15.4.5 | Werke | 792 |
| 15.4.6 | Nebenverbraucher an der Oberleitung | 793 |
| 15.4.7 | Alternative Stromversorgungsanlagen | 793 |
| 15.5 | Schutzmaßnahmen | 795 |
| 15.5.1 | Netzform und Erdung von EWHA..... | 796 |
| 15.5.2 | Schutzeinrichtungen der EWHA..... | 797 |
| 15.5.3 | Besonderheiten bei EWHA | 797 |

| | |
|---|-----|
| 16 Kabelanlagen | 799 |
| Ralf Baumann und Andreas Boldt | |
| 16.1 Bauarten und Verwendung | 799 |
| 16.1.1 Energiekabel und Leitungen | 803 |
| 16.1.2 Kabel und Leitungen mit verbessertem Verhalten im Brandfall | 806 |
| 16.1.3 Signal- und Nachrichtenkabel | 807 |
| 16.2 Garnituren | 808 |
| 16.2.1 Muffen und Verbinder | 809 |
| 16.2.2 Endverschlüsse | 810 |
| 16.3 Planung von Kabelanlagen | 812 |
| 16.3.1 Trassenplanung | 812 |
| 16.3.2 Typenauswahl und Dimensionierung | 813 |
| 16.3.3 Lagepläne | 817 |
| 16.3.4 Führung, Befestigung und Schutz | 817 |
| 16.4 Legung und Montage | 824 |
| 16.4.1 Auslegen und Kennzeichnen | 824 |
| 16.4.2 Garniturenmontage | 827 |
| 16.4.3 Ab- und Inbetriebnahmeprüfungen | 828 |
| 16.4.4 Schlussvermessung und Dokumentation | 829 |
| 16.5 Betrieb und Instandhaltung | 829 |
| 16.5.1 Kabelüberwachung | 829 |
| 16.5.2 Instandhaltung | 830 |
| 16.6 Normen, Richtlinien, Empfehlungen | 831 |
| | |
| 17 Bahnbetriebliche Telekommunikationstechnik | 835 |
| Thomas Schnurrer | |
| 17.1 Einleitung | 835 |
| 17.1.1 Bahnbetriebliche Telekommunikationsanlagen | 835 |
| 17.1.2 Hauptaspekte der technologischen Entwicklung | 837 |
| 17.2 Das GSM-R Netz | 838 |
| 17.2.1 Frequenzbereich | 839 |
| 17.2.2 Funktionale Merkmale | 840 |
| 17.2.3 GSM-R-Architektur | 841 |
| 17.2.4 Anbindung ortsfester Teilnehmer | 845 |
| 17.2.5 GSM-R-Endgeräte | 847 |
| 17.2.6 Applikationen und betriebliche Netzkonfiguration | 849 |
| 17.2.7 Teilnehmerverwaltung | 852 |
| 17.2.8 Nationales und Internationales Roaming | 853 |
| 17.3 Analoge Funktechnik | 855 |
| 17.3.1 Analoger Zugfunk | 855 |
| 17.3.2 Analoger Rangierfunk | 860 |
| 17.3.3 Betriebs- und Instandhaltungsfunk (BiFu) | 861 |
| 17.3.4 BOS-Funksysteme | 862 |
| 17.4 Betriebsfernmeldeanlagen | 862 |
| 17.5 Lautsprechersysteme | 865 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 17.6 | Steuerungs- und Meldesysteme | 868 |
| 17.6.1 | FÜSTE | 868 |
| 17.6.2 | Meldeanlagen system MAS 90..... | 869 |
| 17.7 | Betriebliche Gefahrenmeldeanlagen | 872 |
| 17.7.1 | Heißläufer- und Festbremsortungsanlagen (HOA/FBOA)..... | 872 |
| 17.7.2 | Luftströmungsmeldeanlagen (LSMA) | 873 |
| 17.7.3 | Windmeldeanlagen (WMA)..... | 874 |
| 17.8 | Tunnelnotrufsysteme | 874 |
| 17.9 | Videotechnik..... | 875 |
| 17.9.1 | TV-Anlagen an Bahnübergängen..... | 875 |
| 17.9.2 | Zugschlussbeobachtung und -feststellung..... | 876 |
| 17.10 | Übertragungstechnik und -wege | 876 |
| 17.11 | Ausblick..... | 879 |
| | Literatur..... | 880 |
| 18 | Elektromagnetische Verträglichkeit | 881 |
| | Franz Klier | |
| 18.1 | Allgemeines..... | 881 |
| 18.2 | EMV im hochfrequenten Bereich | 881 |
| 18.3 | Beeinflussung von Anlagen der Leit- und Sicherungstechnik durch Bahnströme | 883 |
| 18.4 | Beeinflussung von Gleisfreimeldeanlagen durch Eisenbahnfahrzeuge | 888 |
| | Weiterführende Literatur | 894 |
| 19 | Umweltschutz | 897 |
| | Bernhard Koch | |
| 19.1 | Umweltmanagement | 897 |
| 19.1.1 | Ziel und Nutzen von Managementsystemen unter besonderer Berücksichtigung des Umweltmanagements | 897 |
| 19.1.2 | Normen des Umweltmanagements | 898 |
| 19.1.3 | Integrierte Managementsysteme (IMS)..... | 903 |
| 19.1.4 | Delegation von Unternehmer-/Betreiberpflichten . | 903 |
| 19.1.5 | Beauftragtenwesen | 904 |
| 19.2 | Anlagenbezogener Umweltschutz..... | 906 |
| 19.2.1 | Abwasseranlagen und Abwasserbehandlungsanlagen | 906 |
| 19.2.2 | Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen | 909 |
| 19.2.3 | Innenreinigungsanlagen | 914 |
| 19.2.4 | Genehmigungsbedürftige Anlagen nach der 4. BImSchV | 916 |
| 19.2.5 | Trinkwasser-Befüllungsanlagen..... | 920 |
| 19.2.6 | Strahlenschutz | 920 |

| | | |
|-----------|---|-------------|
| 19.3 | Schutz vor Lärm und Erschütterungen..... | 923 |
| 19.3.1 | Lärm | 923 |
| 19.3.2 | Erschütterungen und sekundärer Luftschall..... | 934 |
| 19.4 | Vegetationskontrolle..... | 949 |
| 19.4.1 | Grundlagen und Definitionen..... | 949 |
| 19.4.2 | Vegetationskontrolle für den Bereich im Gleis..... | 951 |
| 19.4.3 | Vegetationskontrolle für den Bereich am Gleis.... | 952 |
| 19.4.4 | Positive Aspekte für den Naturschutz..... | 958 |
| 19.5 | Schutz von Natur und Landschaft..... | 959 |
| 19.5.1 | Grundlagen..... | 959 |
| 19.5.2 | Strategische Umweltprüfung..... | 960 |
| 19.5.3 | Umweltverträglichkeitsprüfung..... | 961 |
| 19.5.4 | Naturschutzfachliche Eingriffsregelung..... | 964 |
| 19.5.5 | Flora-Fauna-Habitat-Verträglichkeitsprüfung..... | 965 |
| 19.5.6 | Artenschutz..... | 965 |
| 19.6 | Umweltschutzanforderungen an Planungs- und Instandhaltungsprozesse | 969 |
| 19.6.1 | Entsorgung | 969 |
| | Literatur..... | 979 |
| 20 | Netzzugang..... | 985 |
| | Anton Schmitt | |
| 20.1 | Vorgaben der Europäischen Union..... | 985 |
| 20.1.1 | Interoperabilität..... | 985 |
| 20.1.2 | Diskriminierungsfreier Zugang..... | 985 |
| 20.2 | Nationale Vorgaben..... | 985 |
| 20.2.1 | Zulassung als EVU..... | 986 |
| 20.2.2 | Fahrzeugzulassung | 986 |
| 20.3 | Vorgaben des Eisenbahninfrastrukturunternehmens..... | 988 |
| 20.3.1 | Schienennetz-Benutzungsbedingungen..... | 989 |
| 20.4 | Beschreibung der Infrastruktur im Infrastrukturregister . | 993 |
| 20.4.1 | Grundsätze..... | 996 |
| 20.4.2 | Interaktive Karte..... | 996 |
| 20.4.3 | Vorgaben der TSI RINF..... | 999 |
| 20.5 | Zusammenfassung und Ausblick..... | 999 |
| | Literatur..... | 1008 |
| 21 | Instandhaltung und Anlagenmanagement des Fahrwegs | 1009 |
| | Peter Veit | |
| 21.1 | Anlagenmanagement für den Fahrweg von Eisenbahnen . | 1012 |
| 21.2 | Modell zur wirtschaftlichen Bewertung von Fahrwegstrategien | 1013 |
| 21.3 | LCC-basierte Fahrwegstrategien der ÖBB..... | 1016 |
| 21.3.1 | Strategie Fahrweg – Stufe 1 | 1018 |
| 21.3.2 | Forschungen zum Qualitätsverhalten des Oberbaus..... | 1034 |
| 21.3.3 | Strategie Fahrweg – Stufe 2 | 1046 |

| | | |
|-----------|--|-------------|
| 21.4 | Life-Cycle-Management für den Fahrweg | 1048 |
| 21.5 | Ausblick | 1053 |
| | Literatur..... | 1053 |
| 22 | Anlagenmonitoring des Fahrwegs | 1055 |
| | Ulrich Erdmann | |
| 22.1 | Anforderungen | 1055 |
| 22.1.1 | Systemarchitektur | 1056 |
| 22.1.2 | Datenimport/Schnittstellen..... | 1057 |
| 22.1.3 | Das Analysesystem..... | 1058 |
| 22.1.4 | Anforderungen und Grundformen der Darstellung | 1061 |
| 22.1.5 | Mobile Lösungen | 1065 |
| 22.1.6 | Fachübergreifende Grundlagen für weitergehende Analysen | 1065 |
| 22.2 | Anwendung von Infrastruktur-Managementsystemen | 1069 |
| 22.2.1 | Ist-Zustandsanalyse..... | 1070 |
| 22.2.2 | Zustandsprognose | 1081 |
| 22.2.3 | Instandhaltungsplanung | 1087 |
| | Sachverzeichnis | 1091 |

Autorenverzeichnis

Ralf Baumann, Dipl.-Ing. Berliner Verkehrsbetriebe (BVG), 10179 Berlin, Deutschland
E-Mail: Ralf.Baumann@BVG.DE

Andreas Boldt, Dipl.-Ing. Deutsche Bahn AG, 10245 Berlin, Deutschland
E-Mail: Andreas.Boldt@deutschebahn.com

Jens Braband, Prof. Dr. rer. nat. Siemens AG, 38126 Braunschweig, Deutschland
E-Mail: jens.braband@siemens.com

Ulrich Erdmann Erdmann-Softwaregesellschaft mbH, 02829 Schöpstal, 02826 Görlitz, Deutschland
E-Mail: info@erdmannsoftware.com

Michael Fiedler, Dipl.-Ing. 85540 Haar, Deutschland
E-Mail: fiedlerm69@gmail.com

Ulf Gerber, Dr.-Ing. TU Dresden, 01069 Dresden, Deutschland
E-Mail: ulf.gerber@tu-dresden.de

Andreas Heppe, Dr.-Ing. TU Dresden, 01062 Dresden, Deutschland
E-Mail: andreas.heppe@tu-dresden.de

Eberhard Hunger, Dipl.-Ing. Balfour Beatty Rail GmbH, 10247 Berlin, Deutschland
E-Mail: eberhard.hunger@bbrail.com

Eberhard Jänsch, Prof. Dr.-Ing. 61137 Schöneck, Deutschland
E-Mail: eb@hsr-jaensch.de

Franz Klier, Dipl.-Ing. DB Systemtechnik, 80939 München, Deutschland

Bernhard Koch, Dipl.-Ing. DB Netz AG, 60486 Frankfurt a. M., Deutschland
E-Mail: Bernhard.Koch@deutschebahn.com

Ekkehard Lay, Dipl.-Ing. (FH) 64342 Seeheim-Jugenheim, Deutschland

Ulrich Maschek, Dr.-Ing. TU Dresden, 01069 Dresden, Deutschland
E-Mail: u.maschek@tu-dresden.de

Klaus Meißner, Dipl.-Ing. 04157 Leipzig, Deutschland
E-Mail: w.klaus.meissner@gmx.de

Jörg Mohrich, Dipl.-Ing. (FH) Balfour Beatty Rail GmbH, 04103 Leipzig, Deutschland
E-Mail: joerg.mohrich@bbrail.com

Tristan Mölter, Dipl.-Ing. 84149 Velden, Deutschland
E-Mail: tristan.moelter@gmx.de

Jörn Pachl, Prof. Dr.-Ing. TU Braunschweig, 38106 Braunschweig, Deutschland
E-Mail: j.pachl@tu-bs.de

Horst Rahn, Dr.-Ing. Rolandstraße 113, 13156 Berlin, Deutschland

Reinhold Rensing, Dipl.-Ing. R²-railconsult GmbH, 46325 Borken, Deutschland
E-Mail: rensing@r2-railconsult.de

Klaus Rießberger, Prof. Dr. techn. TU Graz, 8010 Graz, Österreich
E-Mail: klaus.riessberger@tugraz.at

Anton Schmitt, Dipl.-Ing. DB Netz AG, 60486 Frankfurt a. M., Deutschland
E-Mail: anton.schmitt@deutschebahn.com

Thomas Schnurrer, Dipl.-Ing. (FH) DB Netz AG, 60326 Frankfurt a. M., Deutschland
E-Mail: Thomas.Schnurrer@deutschebahn.com

Eric J. Schöne, Dr.-Ing. TU Dresden, 01062 Dresden, Deutschland
E-Mail: eric.schoene@tu-dresden.de

Arnd Stephan, Prof. Dr.-Ing. TU Dresden, 01069 Dresden, Deutschland
E-Mail: arnd.stephan@tu-dresden.de

Peter Veit, Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrswirtschaft, Technische Universität Graz, Rechbauerstrasse 12, 8010 Graz, Österreich
E-Mail: peter.veit@tugraz.at

Werner Weigand, Dr.-Ing. DB Netz AG, 60326 Frankfurt a. M., Deutschland
E-Mail: werner.weigand@deutschebahn.com

Manfred Weigand, Dr.-Ing. 82024 Taufkirchen, Deutschland
E-Mail: dr.weigand@weigend.de

Alfred Wöhhart ÖBB-Infrastruktur AG, 1020 Wien, Österreich
E-Mail: alfred.woehnhart@oebb.at

Bernd-Wolfgang Zweig, Dr.-Ing. Balfour Beatty Rail GmbH, 63067 Offenbach/Main, Deutschland
E-Mail: bernd-wolfgang.zweig@bbrail.com

Klaus Rießberger

1.1 Einleitung

Der Rad-Schiene-Kontakt bestimmt die Leistungsfähigkeit des Systems Eisenbahn. Aufgrund der Dynamik und der hohen Kontaktspannungen ist er der kritische Punkt bei allen Bahnen, ganz besonders jedoch bei Hochgeschwindigkeits- und Schwerlastverkehr. Der Kontakt Rad-Schiene ist aber auch maßgeblich für Lärm und Verschleiß verantwortlich. Die Rauigkeit von Schiene und Rad regt die Lärmemissionen an, durch Materialabtrag verändern sich zudem die jeweiligen Profile in Längs- und Querrichtung, was im Laufe des Betriebes veränderte Kontaktsituationen hervorruft. Hinzu kommt, dass das Durchfahren von engeren Bögen durch Eisenbahnfahrzeuge mit erheblichen Gleitanteilen (Schlupfen) verbunden ist, die Räder also eher rutschen als rollen. Außerdem hat es eine große Tradition, ausgerechnet am Kontaktpunkt Rad-Schiene die Trennung von Bauingenieurwesen und Maschinenbau vorzunehmen. Im Folgenden wird noch deutlich dargelegt werden, dass Kräfte und Bewegungen und mit ihnen der Verschleiß immer aus dem Zusammenwirken zweier Komponenten herrühren, der Schiene und dem Rad, oder genauer, dem Laufwerk und dem Gleis, und daher von beiden Fachbereichen pflegliche Maßnahmen nötig sind um dauerhaft ein befriedigendes Zusammenwirken der Komponenten sicherzustellen.

In Europa hatten die Staaten bis vor wenigen Jahren die Normenhoheit, eine Abstimmung zwischen den Bahnen zum Zwecke der internationalen Kompatibilität erfolgte im Rahmen von Arbeitssitzungen im Internationalen Eisenbahnverband (UIC). Seit der Einrichtung von europäischen Institutionen zur Schaffung eines gesamt-europäischen Eisenbahnraumes gelten für die Bahnen der Mitgliedsländer der Europäischen Union (EU) gemeinsame und einheitliche Richtlinien, die in nationales Recht umgesetzt werden (und wurden) und denen im Zuge der laufenden Erneuerung der Bahnanlagen zunehmend entsprochen werden wird.

Für den Radsatz und das Gleis sind die Hauptabmessungen und die zugehörigen Toleranzen durch Normen festgelegt.

Für den Radsatz gelten folgende Bezeichnungen und Maße (für Normalspur 1435 mm) (Abb. 1.1):

- Raddurchmesser, gemessen in Profilmittre
- Radprofil
 - Radbreite 135–140 mm
 - Lauffläche, Laufflächenneigung (1:15...1:40), Laufflächenform
 - Hohlkehle, Hohlkehlen-Ausrundung
 - Spurkranz, Spurkranzkuppe
 - Radrücken, Radrückenentfernung 1360 mm
 - Radmittenentfernung 1500 mm
 - Spurmaß – Entfernung korrespondierender Punkte der Spurkranzflanke, gemessen 10 mm über Radprofilmitte (1426...1412 mm)

K. Rießberger (✉)
TU Graz, 8010 Graz, Österreich
E-Mail: klaus.riessberger@tugraz.at

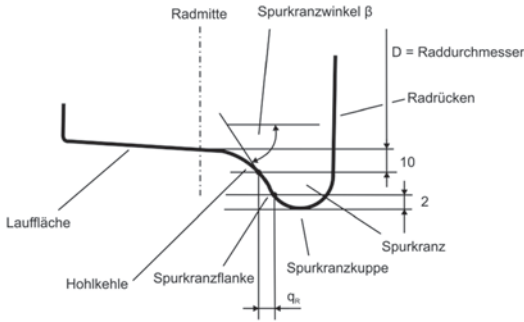


Abb. 1.1 Bezeichnungen für den Radsatz

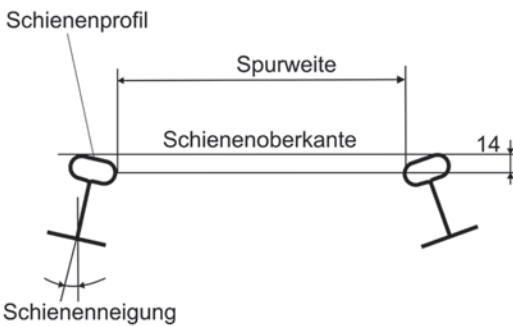


Abb. 1.2 Bezeichnungen im Gleis

- q_R -Maß als Kennwert für die Neigung der Spurkranzflanke ($> 6,5$ mm)

Für das Gleis werden folgende Begriffe verwendet (Abb. 1.2):

- Spurweite, gemessen 14 mm unter Schienenoberkante (SOK) 1435 mm
 - Größtwert 1470 mm
 - Kleinstwert 1425 mm
- Schienenneigung (1:20...1:40)
- Schienenkopfrundung ~ 300 mm
- Schienenfahrkante, Radius der Schienenfahrkante

Daraus ergibt sich

- Spurspiel als Differenz von Spurweite und Spurmaß
 - Größtwert 58 mm
 - Kleinstwert -1 mm

Für Weichen sind zahlreiche weitere Maße festgelegt, die zur Sicherstellung der einwandfreien Funktion laufend kontrolliert werden um auftretenden Verschleiß rechtzeitig zu korrigieren.

1.2 Der Radsatz im Gleis

1.2.1 Einführung

Wir betrachten einen Radsatz als starre Verbindung von zwei Rädern und einer Welle. Wie in Abb. 1.3 dargestellt, läuft der Radsatz auf einem Gleis, bestehend aus zwei Schienen mit einem Abstand der Kontaktpunkte von 2 s. Bedingt durch die seitliche Verschiebung y laufen der linke und der rechte Kontaktpunkt auf unterschiedlichen Radien, die Rollradiendifferenz wird als Δr bezeichnet.

Es bedeuten

- r nomineller Halbmesser eines Rades [m]
- s halber Abstand der Radaufstandspunkte [m]
- ρ Halbmesser der Bahnkurve [m]
- y Verschiebung der Radsatzmitte von der Gleismitte [m]

Aus Abb. 1.3 kann der folgende Zusammenhang entnommen werden: [8]

$$\tan \varepsilon = \frac{\Delta r}{2s} = \frac{r}{\rho} \quad \text{mit } \Delta r = f(y) \quad (1.1)$$

Mit ρ wird in dieser Formel der Radius bezeichnet, mit welchem zu diesem Zeitpunkt die rollende Bewegung in der horizontalen Ebene stattfindet. Er ergibt sich zu:

$$\rho = \frac{2rs}{\Delta r} = \frac{2rs}{f(y)} \quad (1.2)$$

Grundsätzlich lautet die Gleichung für die Bahnkrümmung

$$y'' = \frac{(1 + y'^2)^{3/2}}{\rho} = \frac{(1 + y'^2)^{3/2}}{\frac{2rs}{f(y)}} \quad (1.3)$$

Somit wäre die Differentialgleichung der seitlichen Bewegung für die (langsame) Fortbewegung eines Radsatzes am Gleis gefunden. Da es sich hierbei um eine nichtlineare Gleichung handelt, kann eine geschlossene Lösung nicht angegeben werden.

Diesem Problem wird (hier) mit zwei Vereinfachungen begegnet:

1. Die Bahn der Radsatzmitte weicht nur leicht von der Gleisachse ab
 $y^2 \ll 1$, damit wird

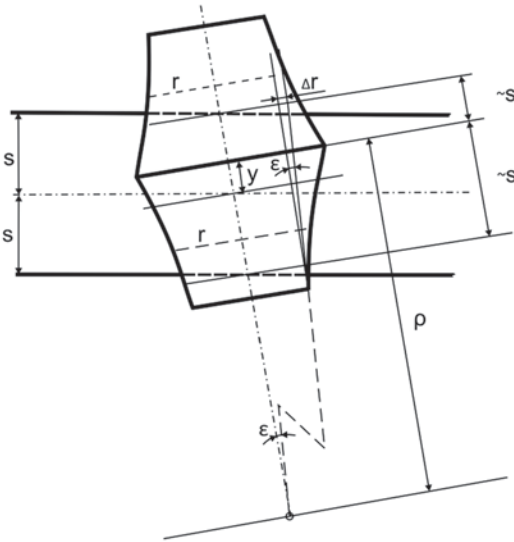


Abb. 1.3 Allgemeine Zusammenhänge zwischen Radsatz und Gleis

$$(1 + y'^2)^{3/2} \cong 1$$

und folglich

$$y'' = \frac{f(y)}{2rs} = \frac{1}{\rho} \tag{1.4}$$

2. Räder mit geraden konischen Profilen

Mit λ als Neigung des geraden konischen Profils wird

$$\Delta r = f(y) \Rightarrow \Delta r = 2\lambda y$$

Dann gilt

$$\Delta r = r_1 - r_2 = r_0 + \lambda y - (r_0 - \lambda y) = 2\lambda y$$

und die Gleichung (4) wird zu

$$y'' = \frac{2\lambda y}{2rs} = \frac{\lambda}{rs} y \tag{1.5}$$

Diese Differentialgleichung kann unschwer gelöst werden mit:

$$y(x) = y_{\max} \cdot \sin \sqrt{\frac{\lambda}{rs}} \cdot x \tag{1.6}$$

Diese Lösung wurde erstmals im Jahr 1883 von KLINGEL präsentiert. Aus ihrer mathematischen

Formulierung leitet sich die Bezeichnung „Sinuslauf“ für die periodische seitliche Bewegung eines Radsatzes während seines Laufes ab. Es ist festzuhalten, dass

- die Lösung nach KLINGEL nur für niedrige Geschwindigkeiten gültig ist, da keine Massenwirkungen enthalten sind,
- die Bewegung ausschließlich vom zurückgelegten Weg bestimmt wird
- nur die Annahme eines geraden konischen Profils zu einer linearen Differentialgleichung führt,
- jedes Hohlprofil zu nicht linearen Bewegungen führt,
- die Bewegungen eines ungefesselten, langsam freilaufenden Radsatzes durch reines Rollen (ohne relative Gleitbewegungen bzw. Schlupf) hervorgerufen werden,
- jede Verbindung der betrachteten Achse mit einem Wagenkasten oder mit einer anderen Achse in einem Drehgestell die Bewegung behindert und zum Auftreten von Gleitbewegungen (Schlupfen) an den Radaufstandspunkten führt.

1.2.2 Das Reibungsgesetz

1.2.2.1 Reibungsgesetz nach Coulomb

Im Jahre 1776 veröffentlichte COULOMB das nach ihm benannte Reibungsgesetz (Abb. 1.4).

$$T = -\mu N \frac{v}{|v|} \tag{1.7}$$

Die Reibungskraft T ist in ihrer Größe proportional der Normalkraft N und der Relativbewegung entgegengesetzt,

mit

N Normalkraft [N]

T Reibungskraft (Tangentialkraft) [N]

μ Reibungskoeffizient [1]

1.2.2.2 Schlupfe

Seit mehr als 100 Jahren ist bekannt, dass für die Übertragung von Tangentialkräften mittels Reibung das Auftreten eines Schlupfes, d. h. einer

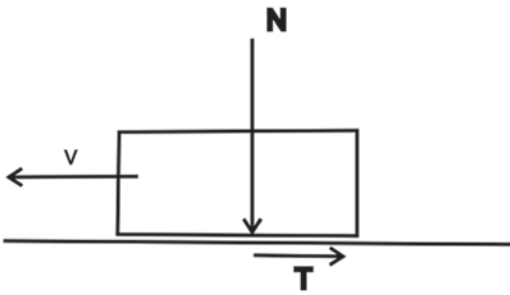


Abb. 1.4 Coulomb'sches Reibungsgesetz

Geschwindigkeitsdifferenz der einander berührenden Flächen, notwendig ist.

Diese Schlupfe können auftreten in

- Längsrichtung (σ_x),
 - Querrichtung (σ_y) und
 - vertikaler Richtung als Bohrschlupf (σ_z),
- wobei die Betrachtung in einer Tangentialebene im Kontaktpunkt erfolgt. [1]

Die drei Arten von („starrem“) Schlupf sind definiert wie folgt:

13. Längsschlupf

$$\sigma_x = \frac{R\omega - v}{\frac{R\omega + v}{2}} \cong \frac{R\omega - v}{v} \quad (1.8)$$

mit

R Radradius [m];

ω Umfangsgeschwindigkeit des Rades [1/sec]

v Geschwindigkeit des Radschwerpunkts [m/sec]

24. Querschlupf

$$\sigma_y = \frac{v_{lateral}}{v} = \frac{v \cdot \alpha}{v} = \alpha \quad (1.9)$$

mit α = Schräglaufwinkel [rad]

35. Bohrschlupf

$$\sigma_z = \frac{\Omega_3 - \Omega'_3}{-1/2(R\omega + v)} \cong \frac{\Omega_3 - \Omega'_3}{-v} \quad (1.10)$$

mit

Ω_3 Rotationsgeschwindigkeit, bezogen auf die geneigte Kontaktfläche [1/sec]

Ω'_3 Rotationsgeschwindigkeit der Radbewegung um die Radsatzwelle [1/sec]

Der Bohrschlupf ist i. Allg. klein und wird bei Berührung an der Schienenoberfläche üblicherweise vernachlässigt.

Die Abhängigkeit der Kraftübertragung vom Längs- und Querschlupf kann qualitativ aus Abb. 1.5 entnommen werden. [1]

In Abb. 1.6 werden die Größenordnungen von Längs- und Querschlupf bei durchschnittlichem Schienenzustand dargestellt.

Zu beachten ist dabei, dass ein hoher Querschlupf die Fähigkeit zur Übertragung von Längskräften negativ beeinflusst und umgekehrt.

Wenn Rad und Schiene nicht mehr als vollkommen starr angesehen werden („elastischer Schlupf“), stellt sich eine Aufteilung der Berührungsfläche in ein (oder mehrere) Haft- und Gleitgebiete mit unterschiedlichen Relativbewegungen zwischen den sich berührenden Elementen ein (Abb. 1.7).

Die verschiedenen Aufteilungen der Berührungsfläche resultieren aus unterschiedlichen Kombinationen der Schlupfe.

1.2.2.3 KALKER-Gleichungen

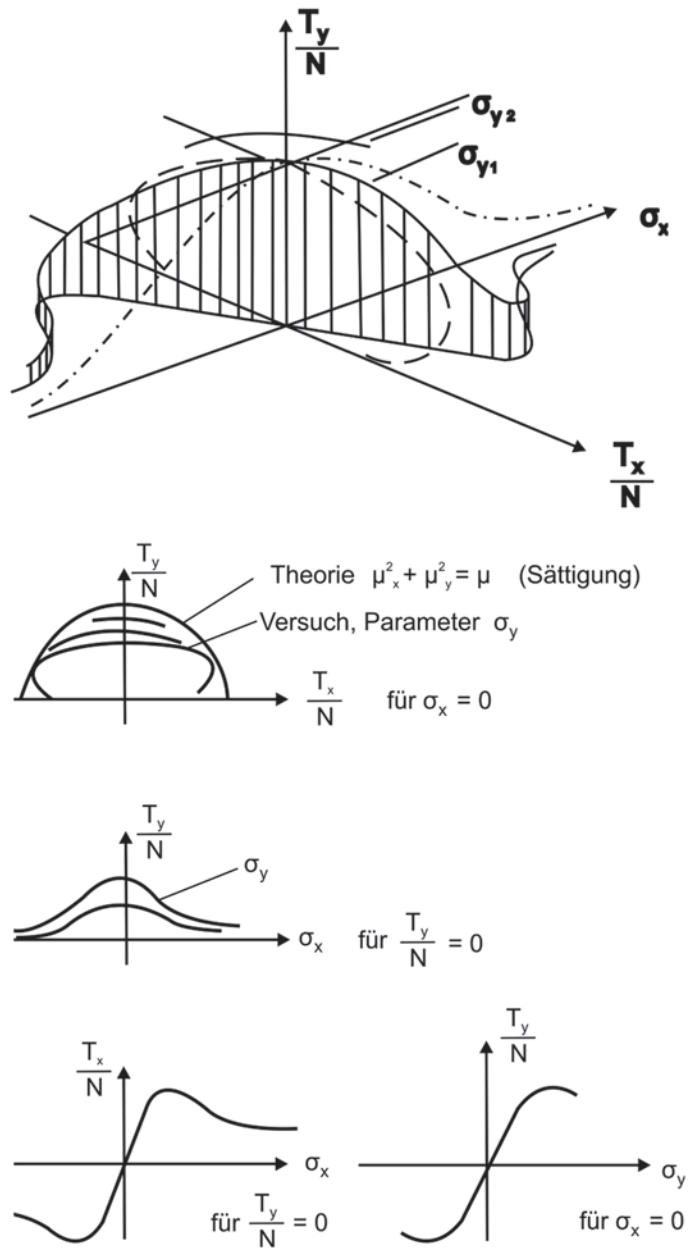
KALKER hat in einer umfangreichen Arbeit das Berührungsproblem eingehend behandelt und allgemeine Lösungen angegeben [3].

Kleiner Schlupf erlaubt Linearisierungen. Unter diesen Bedingungen nehmen die von KALKER angegebenen Gleichungen folgende Form an (Abb. 1.8):

$$\begin{aligned} T_x &= K_{11} \cdot \sigma_x \\ T_y &= K_{22} \cdot \sigma_y + K_{23} \cdot \sigma_z \\ M_z &= -K_{23} \cdot \sigma_y + K_{33} \cdot \sigma_z \end{aligned} \quad (1.11)$$

K_{ij} sind die „Kalker-Faktoren“, die vom Kontaktmuster und seiner Form abhängen. Die „Kalker-Faktoren“ haben die Dimension $[K_{ij}] = [\text{Kraft/Schlupf}]$ bzw. $[\text{Moment/Schlupf}]$. Die KALKER-Gleichungen stellen heute die Basis aller Berechnungen zur Beschreibung des Verhaltens von (Hochgeschwindigkeits-) Eisenbahnfahrzeugen dar. Zur Bestimmung der Kalker-Faktoren wur-

Abb. 1.5 Abhängigkeit der Kraftübertragung von Längs- und Querschlupf



den schnelle Computerprogramme entwickelt („Fast Kalker“).

Zusammenfassung

1. Jede Kraftübertragung im Rad-Schiene-Kontakt bewirkt Schlupf.
2. Jeder erzwungene Schlupf bewirkt Kräfte.

1.2.3 Äquivalente Konizität

Radsätze, charakterisiert durch

- Radrückenentfernung

- Radprofil

entwickeln auf dem Gleis, charakterisiert durch

- Spurweite
- Schieneneinbauneigung
- Radquerprofil

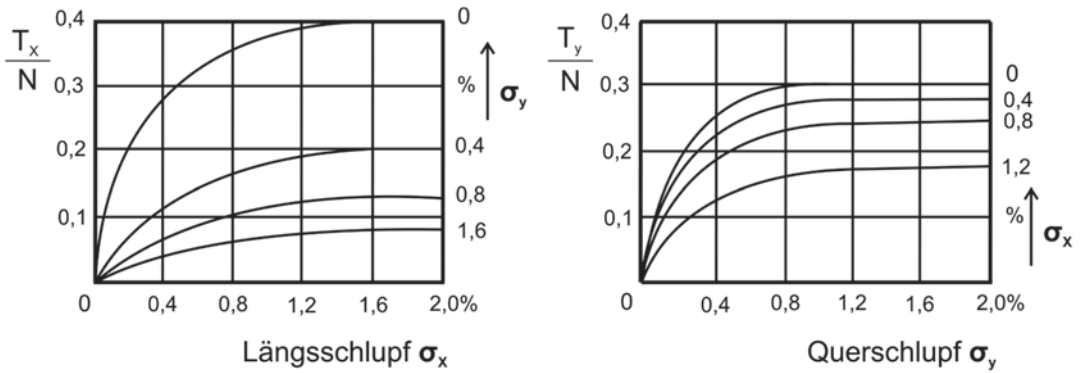


Abb. 1.6 Kraftschlussfunktionen nach FREDERICH

Abb. 1.7 Aufteilung der Berührfläche in Haft- und Gleitgebiete

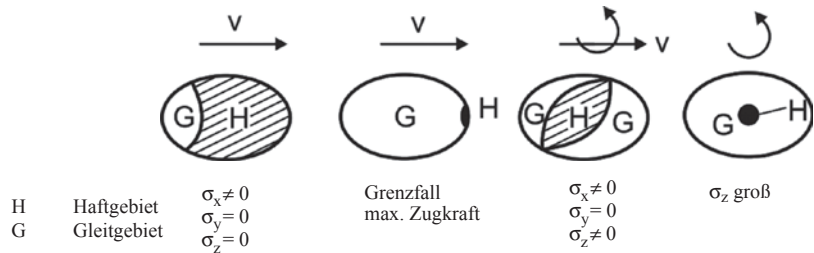
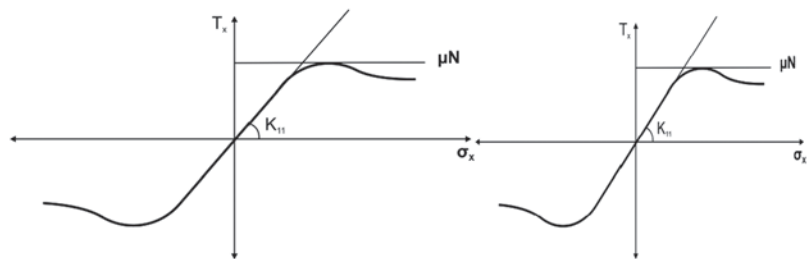


Abb. 1.8 Kraftschlussfunktionen, Linearisierung



beim Abrollen und seitlichem Radsatzversatz unterschiedliche Rollradien (Die Rollradiendifferenz Δr bezogen auf die Querverschiebung des Radsatzes im Gleis y wird als „Profilfunktion λ “ bezeichnet).

Gleichzeitig resultiert aus der Bewegung der Kontaktkraft senkrecht zur Kontaktfläche eine Kraft mit der Tendenz den Radsatz im Ausmaß von $(\tan \vartheta_1 - \tan \vartheta_2)$ („Profilfunktion Δ “) in die Mittellage des Gleises zurückzuführen.

Zusätzlich existiert eine Rotation um die Längsachse x , wobei diese weniger bedeutend ist („Profilfunktion Γ “).

Für jede Kombination von Radsatz und Schiene kann die $(\Delta r$ über y)-Funktion aus Messungen oder Berechnungen bestimmt werden. Sie ist grundsätzlich eine nichtlineare Funktion, die an manchen Stellen auch einen Sprung zur Folge des Wechsels der Berührungspunkte aufweisen kann. Wenn die Funktion eine lineare Abhängigkeit von Δr über y zeigt, kann dieses Verhalten durch die Konizität eines geraden Kegels („äquivalente Konizität“) beschrieben werden (Abb. 1.9).

Ein gerader doppelt-konischer Radsatz weist immer eine lineare Δr über y -Funktion auf, unabhängig von Spurweite, Schieneneinbauei-

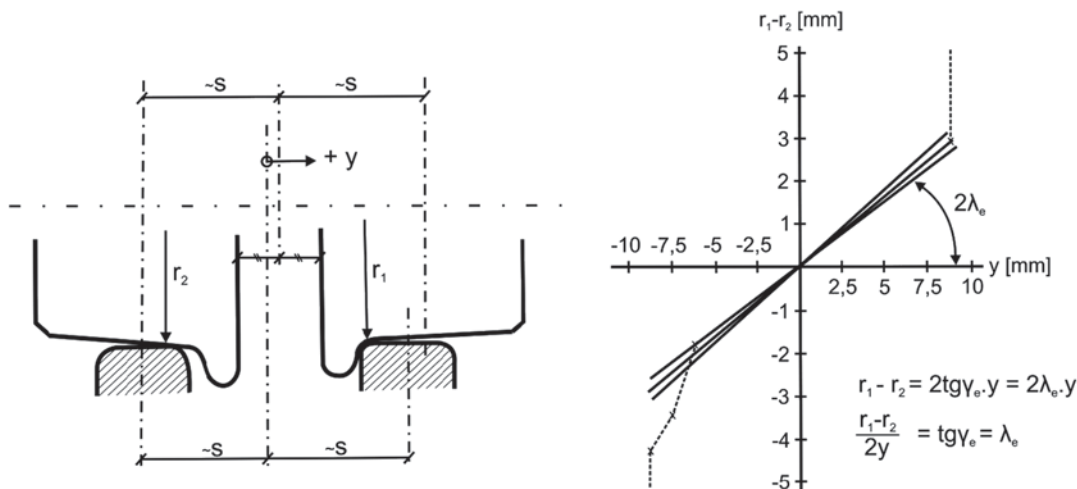


Abb. 1.9 Äquivalente Konizität

gung und Schienenquerprofil. Bei Hohlprofilen kommen weitere, später diskutierte Einflüsse zu tragen, die eine geringfügig andere Bestimmung der äquivalenten Konizität erfordern.

Die äquivalente Konizität λ_e ist der fahrzeugseitige Hauptparameter für die Fahrzeug-Gleisdynamik, der sowohl vom Radsatz als auch vom Gleis gleichzeitig beeinflusst wird. Dies ist in Abb. 1.10 mit Paarungen des Radprofils UIC S1002 und verschiedenen Oberbauarten gezeigt.

Eine Abschätzung der äquivalenten Konizität kann bei Berührung im flachen Bereich der Schienenoberfläche mit guter Näherung [5] auch wie in Abb. 1.11 vorgenommen werden. Dabei gilt:

- R_R = Krümmungsradius Rad [mm]
- R_S = Krümmungsradius Schiene [mm]
- g_R = Entfernung Krümmungsmittelpunkte Rad [mm]
- g_S = Entfernung Krümmungsmittelpunkte Schiene [mm]

R_1 und R_2 seien die Laufradien der beiden Räder, gemessen von der Achse zu den Berührungspunkten Rad-Schiene, R_1^* und R_2^* die Abstände dieser Berührungspunkte von der Verbindung der Krümmungsmittelpunkte der betrachteten Radprofile.

$$\lambda_e = \frac{R_2 - R_1}{2y} = -\frac{R_2^* - R_1^*}{2y}, \text{ daraus folgt}$$

$$\lambda_e = \frac{R_R(\sin \delta_1 - \sin \delta_2)}{2y} \text{ und nach einiger Umfor-}$$

mung und Vernachlässigung kleiner Größen erhält man

$$\lambda_e = \frac{R_R(g_R - g_S)}{2(R_R - R_S)^2}. \tag{1.12}$$

Für die Parameter $R_S = 300$ mm und $g_S - g_R = 6$ mm ergeben sich bei Variation der Laufflächen-Querradien R_R die Ergebnisse nach Abb. 1.11.

1.2.4 Rückstellsteifigkeit c_{yg}

Bei Hohlprofilen ändern sich die Berührebenen bei horizontalem Versatz des Radsatzes entsprechend der Funktion $(\tan \vartheta_1 - \tan \vartheta_2)$ über y . Die Rückstellkraft dividiert durch den Seitenversatz y wird als Rückstellsteifigkeit c_{yg} bezeichnet. Die Untersuchung zeigt, dass diese ausschließlich von der vertikalen Last abhängt. Analoge Abschätzungen zu Abb. 1.11 sind in Abb. 1.12 dargestellt.

$$c_{yg} = -\frac{2Q}{R_R - R_S} \tag{1.13}$$

mit $2Q$ Achslast [kN]

Bei geraden konischen Profilen wird die Rückstellsteifigkeit c_{yg} zu Null.

Abb. 1.10 Äquivalente Konizität entlang einer Versuchsstrecke

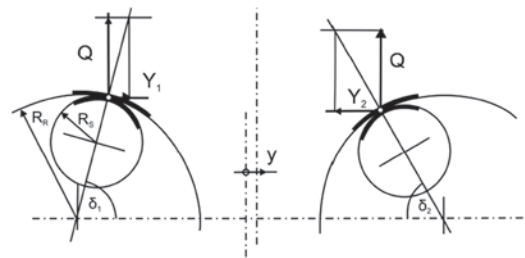
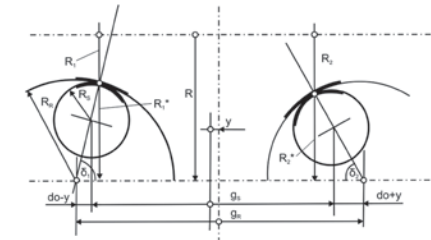
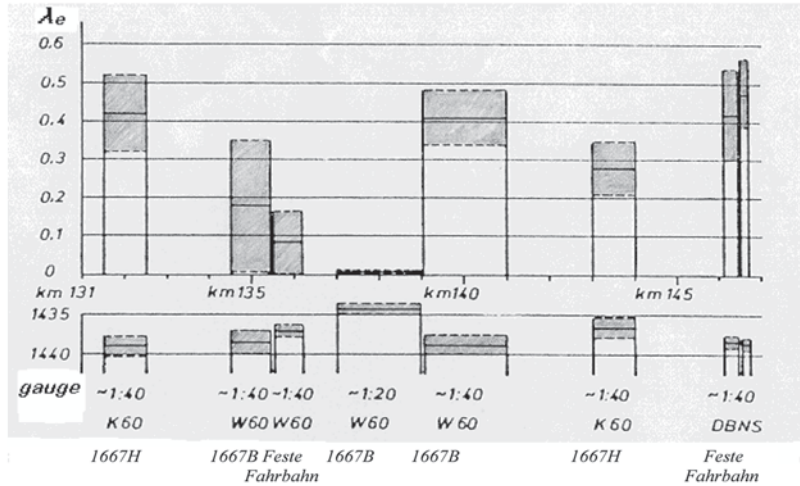


Abb. 1.12 Abschätzung der Rückstellsteifigkeit

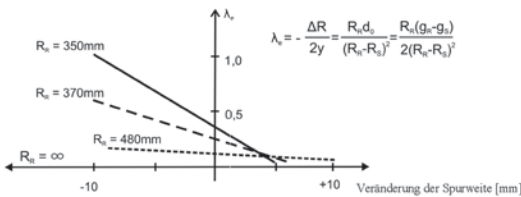


Abb. 1.11 Abschätzung der äquivalenten Konizität

1.2.5 Einfluss der Spurweite auf λ_e c_{yg}

Die Abhängigkeit

- der äquivalenten Konizität λ_e und
 - der Rückstellsteifigkeit c_{yg}
- von Spurweite, Schienenneigung und Schienenprofil sowie der Berührgeometrie ist offensichtlich. Grundsätzlich führen enge Spurweiten zu großen Berührungswinkeln ϑ . Dies bedeutet
- hohe äquivalente Konizität und
 - hohe Rückstellsteifigkeit,
- kombiniert mit reduzierter Möglichkeit zur Horizontalbewegung.

Gleichzeitig trägt der Bohrschlupf σ_z zum Schienenverschleiß an der Fahrkante und der Schienenflanke in Form von Head-Checks bei. Aus diesen Gründen wird eine gegenüber der Standardspurweite geringfügig erweiterte Spur empfohlen. Diese sollte für Hochgeschwindigkeitsstrecken 1437 bis 1440 mm betragen.

1.2.6 Möglichkeiten der Einflussnahme

Neben der Spurweite bieten auch

- Schienenneigung und
 - die Form des Schienen-Querprofiles im Berührungsbereich
- die Möglichkeit, das Zusammenwirken von Rad-satz und Gleis günstig zu beeinflussen. [9, 10, 11] Eine größere Schienenneigung (z. B. 1:20 statt 1:40) verschiebt den Berührungspunkt nach

gleisaußen und damit in den flachen Bereich des Radprofils. Dadurch wird die Fahrkante entlastet und die Radsatzdynamik weniger angeregt.

Die Zurücknahme der Fahrkante von etwa 0,5 bis 0,8 mm zur Schaffung eines größeren Ausrundungsradius durch Schienenschleifen vor Ort dient ebenso der Verschiebung des Radaufstandpunktes in einen Bereich flacher Berührkonturen und damit einer Verringerung der sehr hohen Berührungsspannungen (z. B. „ballige Schiene“). Eine entsprechende Pflege der Schienenprofile ist besonders bei Schwerlastbahnen seit langem üblich.

1.2.7 Anmerkungen zur Wahl eines Radprofils

Die vorstehenden Berechnungen und Darlegungen unterstreichen die zentrale Bedeutung der Profilform der Räder auf die lauftechnischen Eigenschaften von Schienenfahrzeugen. Über diese geometrischen Notwendigkeiten hinaus muss ein Radprofil aber weitergehende Eigenschaften besitzen, wie

- stabile Form im Laufe des Betriebes,
- breite Auflagerung des Rades auf der Schiene. Der Radaufstandpunkt ist kein „Punkt“, sondern stets mit einer Hertz'schen Fläche verbunden.
- „weicher“ Übergang von Kontakt an der Schienenoberseite zu einem solchen an der Schienenflanke,
- stetige, möglichst (quasi-)lineare Entwicklung von „ Δr über y “,
- Kompatibilität mit den verschiedenen Schienenarten und deren Verschleißzuständen im befahrenen Gleisnetz.

Es ist leicht einzusehen, dass ein einziges Radprofil nicht für alle Fahrzeuge bestgeeignet sein kann. Die vor einigen Jahrzehnten vehement verfolgte Idee eines generell gültigen idealen Radprofils hat sich als nicht zielführend erwiesen. Eine zu enge Standardisierung sollte daher unterbleiben.

Für die Abstimmung der Radprofile auf gegebene Gleiszustände ist eine sorgfältige Beobachtung der Entwicklung von Rad- und Schienenprofilen (z. B. bei U-Bahnen) notwendig. Solche

Beobachtungen werden in jüngster Zeit durch sehr praktikable Handgeräte zur Messung und Registrierung von Rad- und Schienenprofilen erleichtert.

Des Weiteren soll nachdrücklich auf den theoretischen Charakter einer „Punkt-Berührung“ hingewiesen werden. Jede Normalkraft führt zu Verformungen und zur Ausbildung einer „Hertz'schen Berührfläche“, in der sich recht verschiedene Schlupfarten (Abschn. 1.2.2.2) ausbilden können. Bei starker Neigung der Tangentialebene im Berührungspunkt ist der Bohrschlupf nicht mehr zu vernachlässigen.

Im Falle von hoch belasteten Rädern ist auch die Größe der Hertz'schen Fläche im Hinblick auf die resultierenden Pressungen und die Spannungsverteilung in die Tiefe der Berührkörper von Bedeutung. Um Materialversagen unterhalb der Oberfläche aufgrund der entstehenden Schubspannungen zu vermeiden muss auf eine möglichst weitgehende Anschmiebung der Oberflächen geachtet werden. Im Falle der Eisenbahnräder bleibt bei gegebenem Raddurchmesser als einzige geometrisch beeinflussbare Größe nur die Querkrümmung der Lauffläche. Dementsprechend kann auch eine anpassende Reprofilierung der Schiene hilfreich sein.

Festzuhalten bleibt, dass der durch Normen definierte Neuzustand der Profile von Rad und Schiene weder auf Dauer haltbar ist noch die Idealform des Zusammenwirkens darstellt, sondern dass sich formstabile Zustände erst nach einer Einlaufzeit einstellen und diese Formen auch wiederum vom Charakter und den gleisgeometrischen Gegebenheiten des befahrenen Netzes abhängen. Daher sollte sich die Erfahrung von Bahnbetreibern in angepassten Standards für die jeweilige Bahn niederschlagen.

1.2.8 Bewegungsgleichungen von Radsätzen

Basierend auf den Kalker-Gleichungen, werden alle Komponenten, die zu den Schlupfkraften beitragen, identifiziert und erfasst. [5, 7, 8, 10, 12] Die hochkomplexen Gleichungen können durch eine Reihe von Annahmen vereinfacht werden.

| | |
|------------------------------------|--------------------------------------|
| $\sin \vartheta_1 = \vartheta_1$ | Berührungswinkel |
| $\sigma_z = 0$ | kein Bohrschlupf |
| $\varphi_x = 0$ | kein „Rollen“ um die Längsachse |
| $K_{ij_{links}} = K_{ij_{rechts}}$ | gleiche Kalker-Koeffizienten |
| φ_z klein | Verdrehwinkel um die Hochachse klein |
| etc. | |

Die folgenden Gleichungen beschreiben die Bewegungen als Funktion von y horizontaler Versatz des Radsatzes und φ_z Verdrehwinkel um die Hochachse. Unter Annahme eines idealen Gleises nehmen sie folgende Form an:

$$\begin{bmatrix}
 m_{RS} D^2 + \left(\frac{2K_{22}}{v} + k_y \right) D + \\
 + \left\{ c_{gv} + \frac{1}{s} \left[\underbrace{W_{RS} + m_{RS} g}_{\text{Rückstellung}} - \frac{2K_{23}}{r_0} \right] \Delta \delta \right\} \\
 - \left(\frac{2K_{23}}{v} \right)_{\text{klein}} D + \frac{2K_{11}s}{r_0} \lambda_e \\
 \left(\frac{2K_{23}}{v} \right)_{\text{klein}} D - 2K_{22} \\
 J_{zzRS} D^2 + \left[\left(2K_{11} \frac{s^2}{v} \right) + k_{\varphi z} \right] D + \\
 + \left(c_{\varphi z} + 2K_{23} \right)_{\text{klein}}
 \end{bmatrix} * \begin{pmatrix} y \\ \varphi_z \end{pmatrix} = 0 \tag{1.14}$$

- mit
- D Differential
 - m_{RS} Radsatzmasse [kg]
 - I_{zzRS} Trägheitsmoment über die Vertikalachse [kgm²]
 - K_{ij} Kalker Koeffizienten [N]
 - W 2Q – Last auf der Achse [kN]
 - v Fahrgeschwindigkeit [m/sec]
 - r_0 nomineller Radsatzradius [m]
 - s halbe Spurweite [m]
 - $\Delta \delta$ $(\tan \delta_1 - \tan \delta_2)/2$
 - c Federkonstanten [N/m] oder [Nm/rad]
 - k Dämpfungskonstanten

$$\begin{bmatrix} \frac{2K}{v} D & -2K \\ 2 \frac{Ks}{r_0} \lambda & \frac{2Ks^2}{v} D \end{bmatrix} * \begin{pmatrix} y \\ \varphi_z \end{pmatrix} = 0 \text{ Lösungsansatz: } y(t) = Y e^{\alpha t}; \varphi_z(t) = \phi e^{\alpha t} \tag{1.15}$$

Es ergibt sich die charakteristische Gleichung zu

$$\alpha_{1,2} = \pm i v \sqrt{\frac{\lambda}{r_s}} = \pm i \omega, \tag{1.16}$$

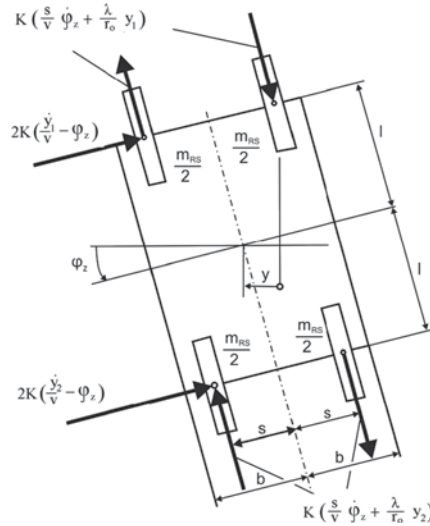
Gleichung (1.14) kann für einen freien Radsatz unter folgenden Annahmen weiter vereinfacht werden:

- sehr kleine Beschleunigungen $D^2=0$,
- $k_y = k_x = 0$; $c_y = c_x = 0$,
- keine Rückstellsteifigkeit $c_{yg} = 0$ (rein konische Profile).

die damit genau der KLINGEL-Lösung entspricht (Gl. (6)). Die Phasenverschiebung zwischen y und φ_z des frei rollenden Radsatzes ergibt sich zu $\frac{\pi}{2}$.

Die Untersuchungen zeigen weiterhin, dass bei frei rollendem Radsatz keine Schlupfkkräfte auftreten.

Abb. 1.13 Steifes Drehgestell – Schema



m_{RS} = Masse des Radsatzes [kg]
 $2b$ = Achslager-Querentfernung [m]
 $2l$ = Achsstand [m]

Auf Basis dieser Gleichung kann die Reaktion eines freien Radsatzes bei langsamer Bewegung auf eine Horizontalkraft untersucht werden:

$$\begin{bmatrix} 0 & -2K_{22} \\ 2K_{11}s\lambda & 0 \\ r_0 & 0 \end{bmatrix} * \begin{pmatrix} y \\ \phi_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} F_y \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad D = 0; D^2 = 0$$

$$\frac{2K_{11}s\lambda}{r_0} y + 0 = 0 \quad -2K_{22}\phi_z = F_y \quad (1.17)$$

Lösung: $y=0$ und $\phi_z = -F_y/2K_{22}$
 Eine Horizontalkraft auf einen frei rollenden Radsatz bewirkt daher eine Verdrehung des Radsatzes um die Hochachse. Die entstehenden Querschleupkräfte kompensieren die aufgebrachte Seitenkraft. Ein seitlicher Versatz entsteht nicht.

Analog bringt ein freies Giermoment den Radsatz ohne Rotation um die z-Achse in eine nicht zentrierte Position, wobei das Moment dem aus den horizontalen Schleupkräften entstehenden Moment zufolge der unterschiedlichen Laufweiten entspricht.

Fahrzeugkonstrukteure verwenden diese Gleichungen ohne die oben beschriebenen Vereinfachungen, was zusätzliche Abhängigkeiten aufzeigt und mehr Raum für Interpretation der Ergebnisse nach sich zieht.

1.3 Das Drehgestell am Gleis

1.3.1 „Steife“ Konstruktionen

Traditionelle Konstruktionen von Drehgestellen können durch in der Horizontalebene steif im Drehgestellrahmen fixierte Achsen modelliert werden. Derartige Drehgestelle können entsprechend ihren Freiheitsgraden mit nur zwei Gleichungen beschrieben werden (Abb. 1.13).

Gleiche Vereinfachungen wie für den freien Radsatz führen zu Resultaten entsprechend Gl. (18), aber die Eigenwerte ergeben sich zu:

$$\alpha_{1,2} = \pm i v \sqrt{\frac{s \cdot \lambda}{r_0} \frac{1}{(l^2 + s^2)}} \quad (1.18)$$

Diese können transformiert werden in

$$\omega = v \sqrt{\frac{\lambda}{r_0 \cdot s} \frac{1}{(1 + (\frac{l}{s})^2)}} \quad (1.19)$$

mit l als dem halben Achsstand [m].

Die „Frequenz“ der sinusförmigen Horizontalbewegung eines steifen Drehgestells ist kleiner und die Wellenlänge der Bewegung größer.

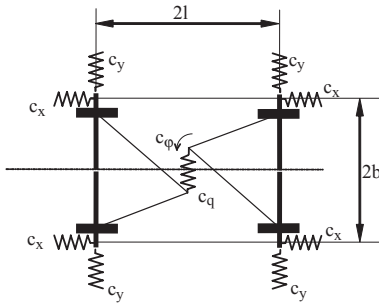


Abb. 1.14 Allgemeines Schema der Verbindung zweier Radsätze

Wird der Ausdruck $(1 + (l/s)^2)$ als „Verlängerungsfaktor E“ bezeichnet, verhält sich ein steifes Drehgestell wie ein freier Radsatz mit **entweder** einer reduzierten Konizität λ/E **oder** vergrößerter Spurweite $s \cdot E$ **oder** vergrößertem Radradius $r_0 \cdot E$ verglichen mit dem freien Radsatz mit λ , s und r_0 .

1.3.2 „Weiche“ Drehgestelle

Durch eine längs- und querweiche Ausführung der Verbindung von Achslagern und Drehgestellrahmen kann – unter bestimmten Umständen – eine Annäherung an die Radialstellung der Achsen erreicht werden. [5] Dieses Verhalten kann durch die Einführung von wirksamer

- Biegesteifigkeit c_B [N/m] und
 - Schubsteifigkeit c_S [Nm/rad]
- zwischen den Achsen beschrieben werden (Abb. 1.14).

mit

$2b$ Achslager-Querentfernung [m].

c_x, c_y Federkonstanten der Achslagerung im Drehgestellrahmen [N/m]

c_q Steifigkeit der Querverbindung [N/m]

c_ϕ Steifigkeit der Drehverbindung [Nm/rad]

Es kann gezeigt werden, [5] dass

$$c_B = \frac{M}{\phi} = b^2 \cdot c_x + c_\phi \quad (1.20)$$

und

$$c_S = \frac{P}{s} = \frac{b^2 \cdot c_x \cdot c_y}{b^2 \cdot c_x + a^2 \cdot c_y} + c_q \quad (1.21)$$

ist.

Bei **herkömmlichen Drehgestellen** nehmen c_ϕ und c_q den Wert 0 an womit folgt:

$$c_S = \frac{b^2 \cdot c_x \cdot c_y}{b^2 \cdot c_x + a^2 \cdot c_y} = c_B \frac{c_y}{b^2 c_x + a^2 c_y} \quad (1.22)$$

Dies zeigt einen nicht lösbaren Zusammenhang zwischen c_S und c_B . Hohe c_B -Werte sind für hohe Stabilitäten erforderlich, niedrige c_B -Werte unterstützen die Kurvenauffähigkeit. Diesen Anforderungen kann nur durch Kompromisse entsprochen werden.

1.3.3 „Selbstlenkende“ und „Zwangsgesteuerte“ Drehgestelle

Die Konstruktion eines „weichen“ Drehgestells öffnet eine Reihe von Möglichkeiten um den widersprechenden Anforderungen für einen guten Kurvenlauf und hohe Stabilität bei hohen Geschwindigkeiten zu entsprechen. Weiches c_x allein unterstützt nur Kurvenfahren bei langsamen Geschwindigkeiten (wenn ein ausreichender Horizontalversatz des Radsatzes eine freie Einstellung erlaubt), reduziert jedoch die Laufstabilität.

Einige Konstruktionen lösen diese Problematik durch Wechsel von „weichem“ zu „steifem“ Drehgestell in Abhängigkeit von Geschwindigkeit oder Einlenkwinkel.

Andere Lösungen reduzieren c_x und c_y bei gleichzeitigem Aufbau von c_q und $c_{\phi z}$. Ein Beispiel dafür ist das selbstlenkende Drehgestell nach Scheffel („Kreuzankerndrehgestell“) [5]. In Abb. 1.15 ist das Prinzip dieses Drehgestells dargestellt.

Durch Auflösen der longitudinalen Behinderungen (die durch die Verbindung mit dem Drehgestellrahmen entstehen) zeigt die Konstruktion eine hohe Schubsteifigkeit c_S zwischen den Achsen und sehr geringe Biegesteifigkeiten c_B . Dreh-

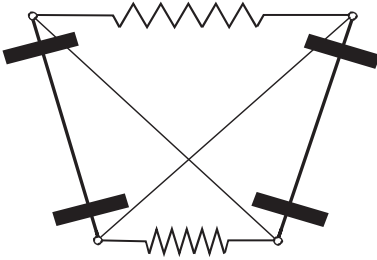


Abb. 1.15 Prinzip der Selbststeuerung nach SCHEFFEL

gestelle, bei denen die Achsen durch die sich im Bogenlauf aufbauenden Kräfte selbsttätig einlenken, werden als „selbstlenkende Drehgestelle“ bezeichnet.

Darüber hinaus sind seit Jahrzehnten „zwangsgelenkte Drehgestelle“ bekannt, bei denen die Radialeinstellung der Achsen durch Übertragung der Bewegung zwischen Drehgestellrahmen und Fahrzeugaufbau in eine Einstellbewegung zwischen den Achsen umgesetzt wird (z. B. Drehgestell nach LIECHTY).

Schließlich sind auch Lösungen vorstellbar, bei denen die Einstellung der Achsen unter Berücksichtigung der Gleisgeometrie und der aktuellen Position des Fahrzeugs elektronisch, sozusagen „von außen“, gesteuert wird. („mechatronische Drehgestelle“)

Alle Erfahrungen zeigen eine markante Reduktion des Verschleißes, besonders jener des Spurkranzes, was eine Reduktion der Spurkranzdicke erlaubt. Diese Reduktion wiederum erlaubt besseres freies Einstellen des Radsatzes, womit die Kurvenauffähigkeit weiter verbessert wird. Das Zulassen größerer Bewegungen führt zu geringeren Kräfte-niveaus, welche insgesamt den Vorteil der „weichen“ Drehgestelle darstellen.

1.3.4 Gleichungssysteme für Fahrzeuge

Mechanisch gesehen besteht ein Fahrzeug aus einer Vielzahl von steifen Körpern, die mit Federn und Dämpfern linear oder nicht linear miteinander verbunden sind. Abhängig von der Anzahl an Freiheitsgraden werden Differentialgleichungen zweiter Ordnung entwickelt, die die

Bewegungen der einzelnen Teile beschreiben. Zur Vereinfachung wird ein vertikal starres Gleis betrachtet (Abb. 1.16).

Traditioneller Weise werden die Gleichungen in vertikaler und horizontaler Ebene getrennt betrachtet. Während die Anregung in vertikaler Richtung ausschließlich vom Verlauf der Gleishöhenlage herrührt, führt in horizontaler Richtung das freie seitliche Spiel zwischen Radsatz und Schiene rasch zu einem nichtlinearen System.

Ein Beispiel für ein Modell mit 14 Freiheitsgraden ist in dem Gleichungssystem (24) in Abb. 1.17 gegeben. In der Untermatrix für die seitliche Verschiebung y_i und die Rotation φ_{zi} des Radsatzes können die schon bekannten Koeffizienten abgelesen werden. Ähnliche Gruppen von Koeffizienten bilden die Matrix als gesamtes.

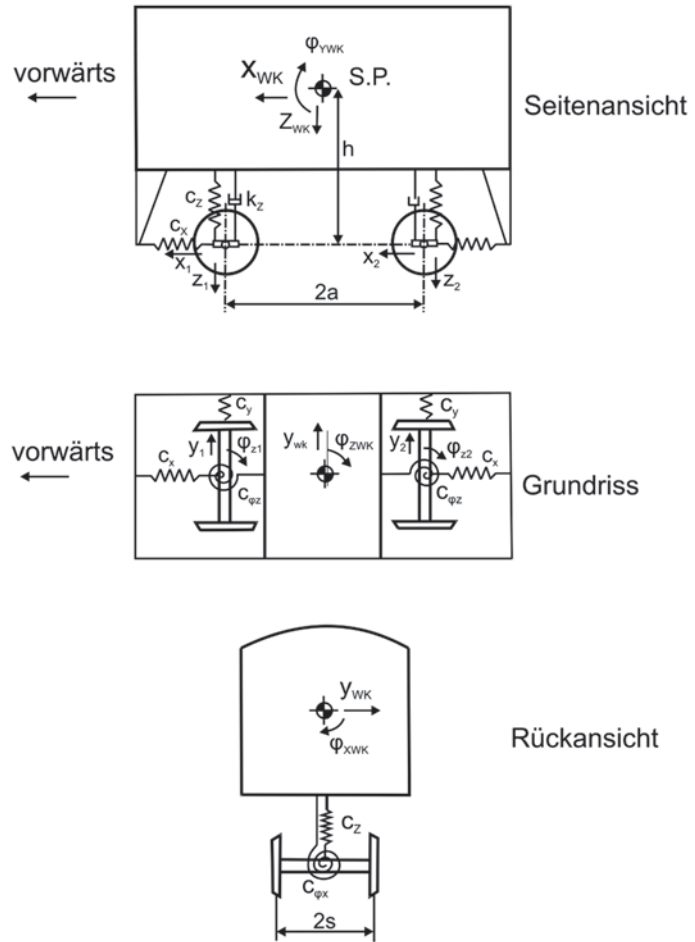
Die 2×2 -Untermatrix links oben beschreibt das Verhalten des Radsatzes 1 (in vereinfachter Form, s. Abschn. 1.2.7.) für sich. Die 6×6 Untermatrix links oben gilt für die beiden Achsen und den Fahrzeugrahmen, ausschließlich im Grundriss. Hierzu treten mit dem Wachsen der Matrix auf 11×11 Elemente die Dynamik in Hoch- und Längsrichtung. Schließlich tritt noch der Freiheitsgrad in Längsrichtung (Zucken, Rollen) hinzu, womit sich die Matrix auf 14×14 Elemente erweitert.

Die rechte Seite des Differentialgleichungssystems beschreibt die Unregelmäßigkeiten der Gleisgeometrie und muss in eine zeitabhängige Anregung, die den Einfluss der Fahrgeschwindigkeit widerspiegelt, transformiert werden.

Moderne Schienenfahrzeuge sind i. Allg. Fahrzeuge mit Drehgestellen. Ihre Berechnungsmatrizen weisen entsprechend der höheren Anzahl von Freiheitsgraden auch eine entsprechend größere Zahl von Gleichungen auf.

Für lineare Gleichungssysteme kann ein Standardlösungsansatz gewählt werden, der darauf abzielt, Eigenwerte des homogenen Systems charakteristischer Gleichungen zu finden. Diese nehmen die Form konjugiert komplexer Zahlen mit einem Real- und einem Imaginärteil an. Es existieren genauso viele Eigenwerte wie Freiheitsgrade, die symmetrische Punkte in der komplexen Ebene bilden. Der Realteil stellt die Dämpfung dar, er muss für das Abklingen der

Abb. 1.16 Modellierung eines 2-achsigen Schienenfahrzeugs



Störung einen negativen Wert aufweisen. Der Imaginärteil gibt die Kreisfrequenz der Bewegung an. Mit sich ändernder Geschwindigkeit bewegen sich diese Punkte entlang der Lösungskurven (Abb. 1.19). Die nicht triviale Zuordnung von Geschwindigkeit und Lösungspunkt auf der Raumkurve kann nur anhand von Plausibilitätsüberlegungen erfolgen.

Es ist möglich in dieser Matrix auch nicht-lineare Zusammenhänge darzustellen. Solche Nichtlinearitäten beinhalten beispielsweise markantes nichtlineares Verhalten der Federn und Dämpfer wie z. B. Eingriffe von Zusatzfedern.

Es ist offensichtlich, dass horizontale Bewegungen Einfluss auf das vertikale Verhalten des Fahrzeugs haben, wie zum Beispiel Änderungen der Radlastverteilung, und umgekehrt.

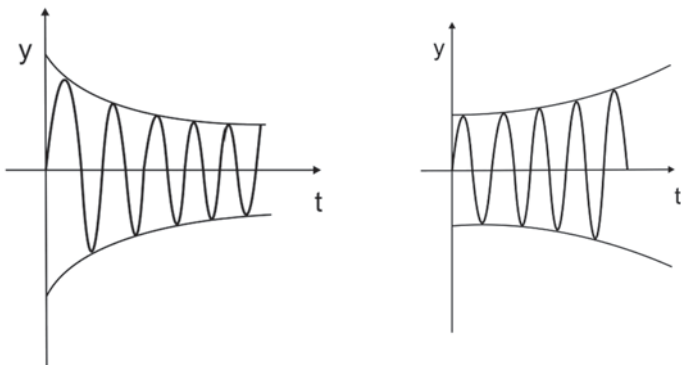
Bei nicht linearen Gleichungssystemen kann die Lösung nur durch Zeitschrittintegration erfolgen, die zwar keine generellen Abhängigkeiten beschreibt, jedoch für spezielle Randbedingungen spezifische Lösungen erlaubt.

1.4 Stabilität

1.4.1 Kritische Geschwindigkeit

Im Falle linearer Gleichungen und damit existierender Eigenwerte beschreiben die komplexen Zahlen das oszillierende Verhalten der verschiedenen Systemteile. Grundsätzlich beschreibt der Realteil das Dämpfungsverhalten über die Bewegungsspitzen, während der Imaginärteil die entsprechende Frequenz angibt.

Abb. 1.18 Realteil der charakteristischen Gleichung negativ (*links*) bzw. positiv (*rechts*)



$$\begin{aligned}
 y(t) &= Y \cdot e^{\alpha t} \\
 \phi_z(t) &= \varphi \cdot e^{\alpha t} \\
 e^{\alpha} &= e^{(\text{Re}+i\cdot\text{Im})t} = e^{\text{Re}t} \cdot e^{i\cdot\text{Im}t} \\
 \text{mit } \text{Im} &= \omega = 2\pi f \\
 \omega &\dots\text{Kreisfrequenz} \left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right] \\
 f &\dots\text{Frequenz} \left[\frac{\text{Zyklen}}{\text{sec}} \right] \quad (1.23)
 \end{aligned}$$

Abbildung 1.18 beschreibt links eine „stabile“ Bewegung, die nach diskreter Anregung abklingt, was einen negativen Realwert ergibt. Die rechte Seite von Abb. 1.18 hingegen zeigt eine Bewegung zufolge eines positiven Realwerts. Die oszillierenden Bewegungen bauen sich auf, bis sie schließlich durch den Spurkranz in ein nicht lineares Verhalten kippen.

Es ist nachvollziehbar, dass ein Realteil 0 genau jene Situation beschreibt, in der der Übergang vom „stabilen“ negativen in den „instabilen“ positiven Zustand stattfindet. Da die Lösungen der Eigenwerte von der Fahrgeschwindigkeit abhängen, muss eine bestimmte Geschwindigkeit existieren, bei der dieser Übergang stattfindet. Diese Geschwindigkeit wird als „kritische Geschwindigkeit“ bezeichnet.

Üblicherweise erreichen die Bewegungen der Radsätze den kritischen Zustand zuerst, es sind jedoch auch Fälle bekannt, in welchen Drehgestellrahmen oder andere Teile des Laufwerkes zuerst instabil wurden.

Abbildung 1.19 zeigt im rechten Teil die Lösungen für ein Fahrzeug mit eindeutiger kritischer Geschwindigkeit, während der linke Teil die Ergebnisse der Berechnung des ICE der DB-AG beschreibt und dabei die Laufstabilität unter allen Betriebsbedingungen nachweist.

Sollen spezielle Einflüsse der Gleislage untersucht werden, dann ist nur eine Zeitschrittintegration der (nicht-)linearen Gleichungen möglich. Unter diesen Randbedingungen können nur spezifische Reaktionen spezifischer Randbedingungen bzw. unterschiedliches Verhalten bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten beschrieben werden. Ein typisches Resultat dieser nichtlinearen Modellierung ist ein Grenzzyklus, wobei benachbarte Bewegungen in ein stabiles Bewegungsmuster übergehen. In manchen Fällen kann auch ein zweiter Grenzzyklus existieren und bei hohen Geschwindigkeiten dominant werden. Typischerweise wird der Grenzzyklus bei einer gewissen Geschwindigkeit erreicht, kann jedoch nur bei einer deutlich geringeren Geschwindigkeit wieder verlassen werden (Abb. 1.20).

Unter nichtlinearen Verhältnissen kann die kritische Geschwindigkeit nur durch wiederholte Berechnungen bestimmt werden, wobei nach einer Ausgangsabweichung die Entwicklung der nachfolgenden Bewegungen beobachtet wird.

Das seitliche Verschieben des Radsatzes gegen das Gleis wird durch den Spurkranz begrenzt. Instabilitäten des Radsatzes bedeuten nicht unbedingt Entgleisungsgefahr, verursachen jedoch hohe periodische Horizontalkräfte, die den Seitenverschiebewiderstand des Gleises

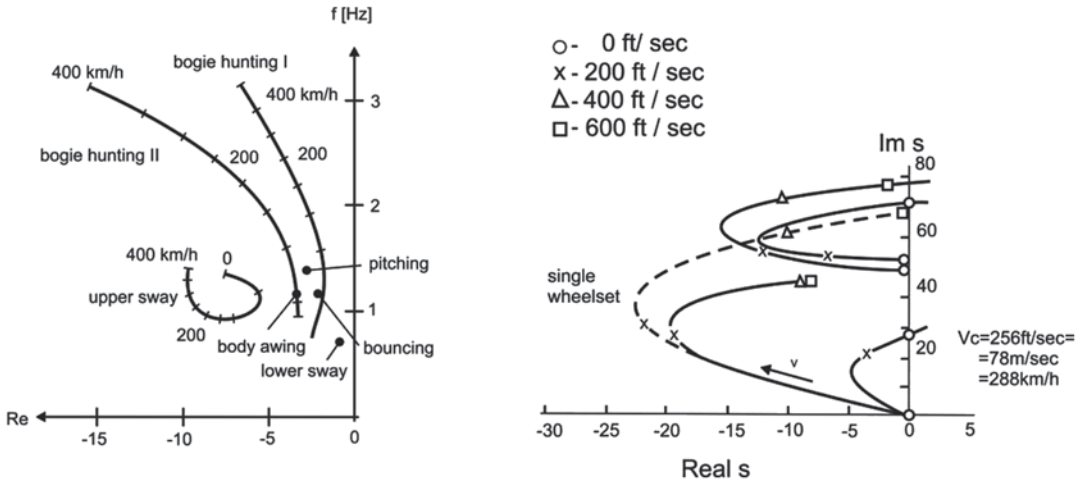


Abb. 1.19 Lösungen der Bewegungsgleichungen in der komplexen Zahlenebene

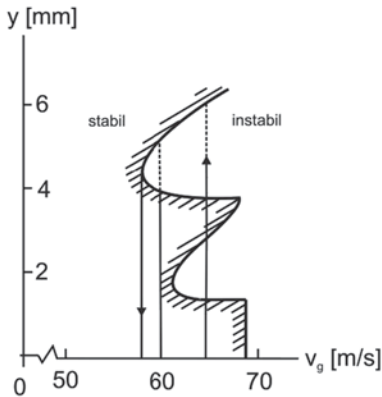


Abb. 1.20 Stabilitätskarte

$$\Sigma Y_{lim} = 1,0 * (10 + \frac{2Q_0}{3}) \text{ [kN]} \quad (1.24)$$

mit $2Q_0$ statische Achslast [kN].

Oszillierende Querbewegungen des Laufwerkes bzw. der Achsen bedingen Kräfte, die durch Reduktion der bewegten Massen, z. B. der Radsatzmasse, verringert werden können. Für Hochgeschwindigkeitsfahrzeuge ist daher eine Reduktion der ungefederten Radsatzmassen einschließlich der Bremscheiben und gegebenenfalls des Getriebes ein wesentliches Konstruktionsziel.

überwinden können und damit zu einer beschleunigten Verschlechterung der horizontalen Gleislage beitragen.

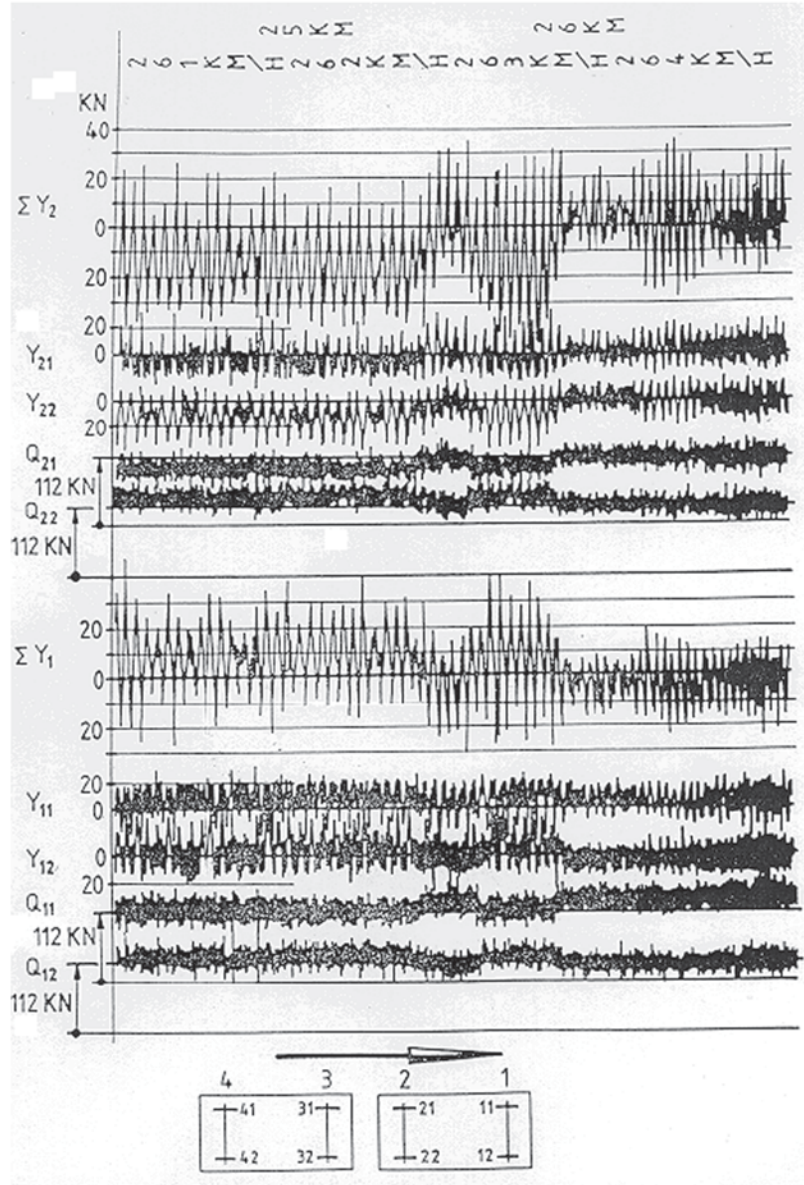
Zur Veranschaulichung nachfolgend zwei Beispiele:

1. Die Horizontalkräfte einer schnell laufenden elektrischen Lokomotive (Typ 120 der DB AG) zeigen eindeutige Zeichen von Instabilität bei einer Geschwindigkeit von 265 km/h (Abb. 1.21). Die Spitzenwerte überschreiten aber die aus der Prud'homme'schen Formel ableitbaren Grenzwerte der Horizontalkräfte ΣY_{lim} nicht.

2. Nichtlineare Berechnungen der Bewegungen der vorlaufenden Achse eines Drehgestells auf einem perfekten Gleis [8] zeigen die Wechselwirkungen von horizontalem Versatz y und der Rotation ϕ_{zi} . Bei niedrigen Geschwindigkeiten werden die Horizontal- und Rotationsbewegungen der Achsen von Gleisirregularitäten stark beeinflusst.

Mit wachsender Geschwindigkeit nehmen die Bewegungen zu, bis der Spurkranz eingreift und die Bewegung nichtlinear wird. Dabei ergibt sich eine Kombination von maximalem horizontalem Versatz und maximaler Rotation, bekannt als Zick-Zack-Lauf (Abb. 1.22). Unter realen Gleis-

Abb. 1.21 Messschieb der Radkräfte bei sehr hohen Geschwindigkeiten



bedingungen bleibt dieses Verhalten bestehen und dominiert sogar über die Einflüsse der Gleisirregularitäten (Abb. 1.23). Die Instabilität verschwindet entweder durch markante Verringerung der Fahrgeschwindigkeit oder durch eine Änderung der geometrischen Bedingungen des Gleises.

1.4.2 Einflüsse auf die Laufstabilität

Das Gleichungssystem (Gl. (25)) enthält einige Parameter in komplexer Art und Weise, die das Laufverhalten stark beeinflussen.

Folgende Abhängigkeiten sind festgestellt worden:

- Je geringer die äquivalente Konizität, umso höher die kritische Geschwindigkeit. Daher hat die SNCF für den TGV ein Radprofil mit

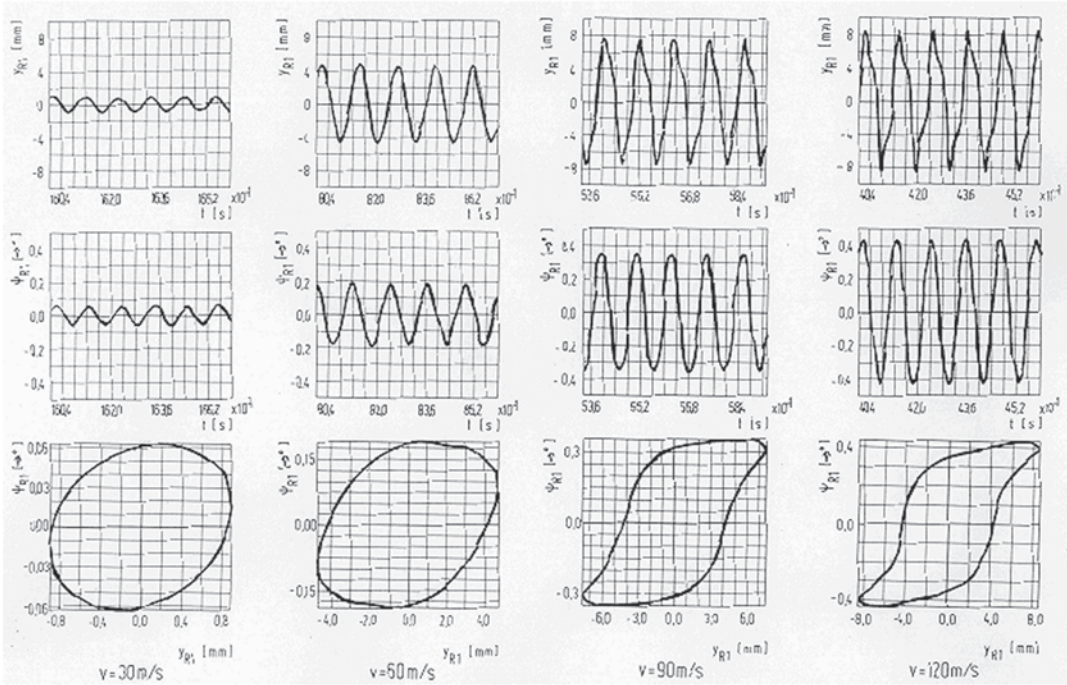


Abb. 1.22 Radsatzbewegung auf idealem Gleis

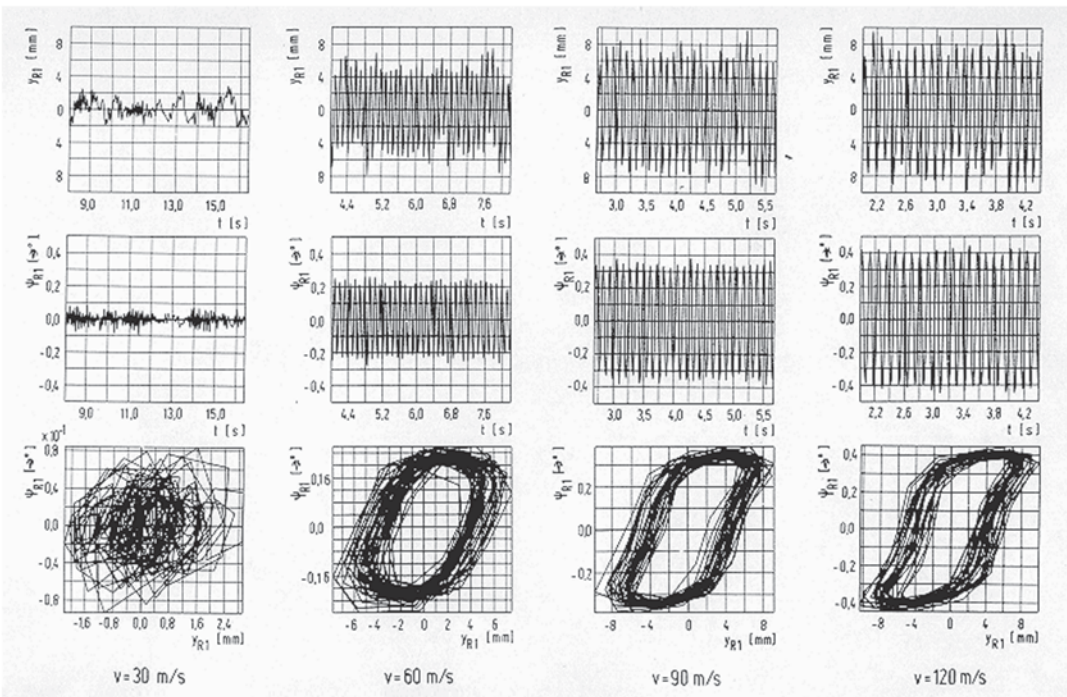


Abb. 1.23 Radsatzbewegung auf reellem Gleis

einer Neigung 1:40 und eine Einbauneigung der Schienen von 1:20 gewählt, womit sich eine äquivalente Konizität von (nur) $\lambda = 0,025$ ergibt (Abb. 1.10).

- Verschleiß an Rad und Schiene ändert die äquivalente Konizität λ_e und die Rückstellsteifigkeit c_g . Aktuelle Entwicklungen versuchen die Laufstabilität auch bei sich ändernden Profilen sicher zu stellen und somit die Zyklen für die Reprofilierung von Radsätzen zu verlängern.
- Eine „große“ Spurweite von 1440–1445 mm erlaubt eine freie selbstzentrierende Oszillation des Radsatzes. Beispiele dafür finden sich in Frankreich und in Südafrika.
- Bei engen Spurweiten (z. B. 1435 mm) gewinnt die Rückstellsteifigkeit aus der Rad-Schiene-Geometrie an Einfluss.
- Ein großer Radstand $2a^+$ im Drehgestell ist für hohe kritische Geschwindigkeit günstig (TGV. $2a^+ = 3,00$ m).
- Die günstige Wahl von Steifigkeit und Dämpfung der Federn und anderer Verbindungselemente ist bedeutsam.
- Nichtlineares Dämpfen der Drehgestellrotation wird oft zum Anheben der kritischen Geschwindigkeit verwendet. (z. B. durch die Verwendung von speziellen Schlingerdämpfern)
- Der Gleisbau kann auf vielfältige Weise die Laufstabilität von Fahrzeugen unterstützen:
 - durch die Wahl einer größeren Spurweite,
 - durch eine größere Schieneneinbauneigung,
 - durch Schleifen des Schienenprofils, um den Fahrspiegel schmal zu halten (12–14 mm),
 - Bei Schwerlastbahnen stellen die hohen Achslasten zusätzliche Anforderungen dar:
 - Die Fahrspiegelbreite muss die Übertragung hoher Hertz'scher Spannungen erlauben, vorzugsweise
 - im Zentrum der Schiene über dem Schienensteg, um Biegespannungen im Schienenkopf zu verhindern (z. B. durch „ballig geschliffene Schiene“).

1.5 Bogenlauf

Der Bogenlauf erweckte schon früh das Interesse der Forschung. HEUMANN hat bereits 1913 ein graphisches Verfahren zur Ermittlung der Bogenlaufkräfte vorgestellt, das zusammen mit später entwickelten Erweiterungen den Entwicklungen der Laufwerke in den Jahren 1920–1940 zugrunde gelegt wurde. [4] Obwohl dabei zahlreiche Vereinfachungen wie z. B. zylindrische Räder und konstanter Reibschluss, vorgenommen werden, ist diese Methode noch immer sehr aktuell, vor allem zur Überprüfung der Plausibilität von Ergebnissen der rechentechnischen Simulationen. Die Heumann-Methode ist besonders für sehr enge Bögen gut geeignet, weil dabei von der Sättigung des Haftschlusses ausgegangen werden kann. Eine Kurzdarstellung dieses historischen Verfahrens wird im Anhang zu diesem Kapitel gegeben.

Neben der Selbstzentrierung im geraden Gleis ist das kräftefreie Einlenken in Gleisbögen der große Vorteil des doppelt-konischen Radsatzes. Wird dieser horizontal versetzt, ergeben sich Differenzen in den Rollradien, die den Radsatz ohne Spurkranzkontakt einlenken.

Der für das unbehinderte Durchfahren eines Gleisbogens mit dem Radius R erforderliche seitliche Versatz y_0 (Abb. 1.24) hängt von folgenden Parametern ab:

- der äquivalenten Konizität λ_e ,
- der Spurweite $2s$ und
- dem Rollradius r_0 .

Spurkranzkontakt begrenzt den seitlichen Versatz des Radsatzes (Abb. 1.25). Dadurch kann sich die erforderliche Differenz der Rollradien nicht mehr weiter aufbauen und der Spurkranz beginnt eine Rotation gegen die äußere Schiene, die aus den Differenzen der Schienenlänge und der Radumfanglänge resultiert.

Diese Bewegung wird durch Federn behindert, und zwar sowohl jener des Fahrgestells als auch jener im Drehgestell, womit Schlupfkräfte und damit nicht auflösbar verbunden Verschleiß wresultieren. Erfahrungen bestätigen die Abhängigkeit des Verschleißes von diesem Mechanismus.

Abb. 1.24 Seitenversatz in Kurvenfahrten

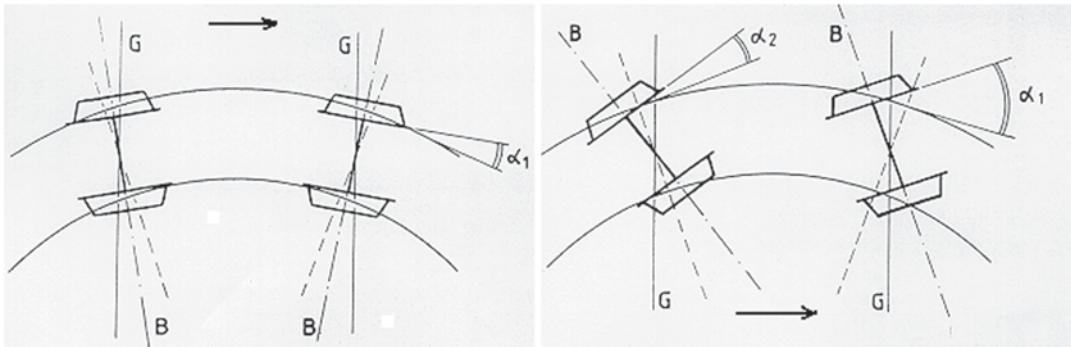
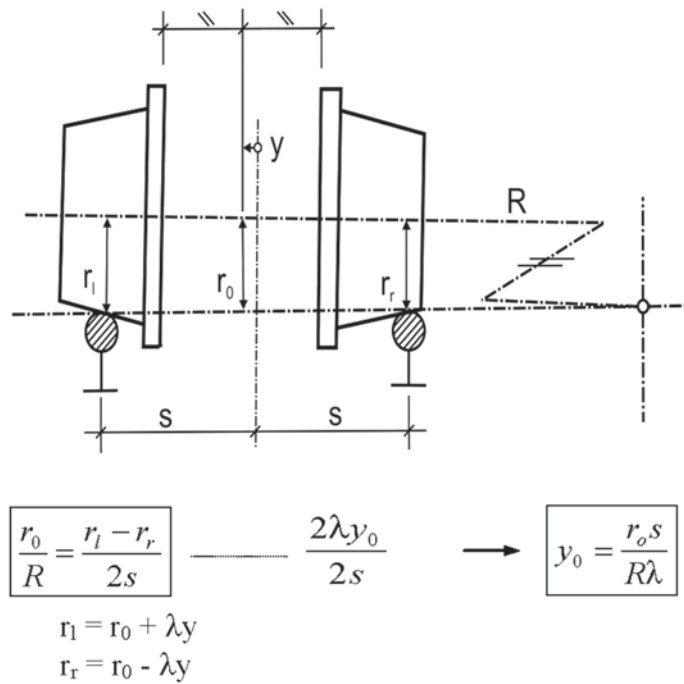


Abb. 1.25 Einstellung freier Radsätze. *links* bei ausreichendem Spurnspiel, *rechts* nach Anschlag der Spurkränze

Die Kurvenlauffähigkeit kann durch folgende Maßnahmen verbessert werden:

- Ermöglichen des Aufbaus einer großen Rollradiendifferenz, z. B. durch „asymmetrisches Schienenschleifen“ (Abb. 1.26). In diesem Fall werden die Schienen so geschliffen, dass ein Kontakt des Radsatzes auf der Innenseite beider Schienen erfolgt. Einige Eisenbahnen haben diese Art des Schienenschleifens als Standard eingeführt.

- Hohe äquivalente Konizität λ_e unterstützt den Kurvenlauf. Dies kann durch eine enge Spurweite unterstützt werden. Dabei ist zu beachten, dass diese Anforderung jener für hohe Geschwindigkeiten widerspricht. Gleichzeitig widerspricht diese Anforderung der bis heute üblichen Praxis der Spurerweiterung in engen Kurven, die noch aus Zeiten der Dampflokomotiven herrührt und ein Resultat der Steifigkeiten der damaligen Fahrzeugkonstruktionen war.

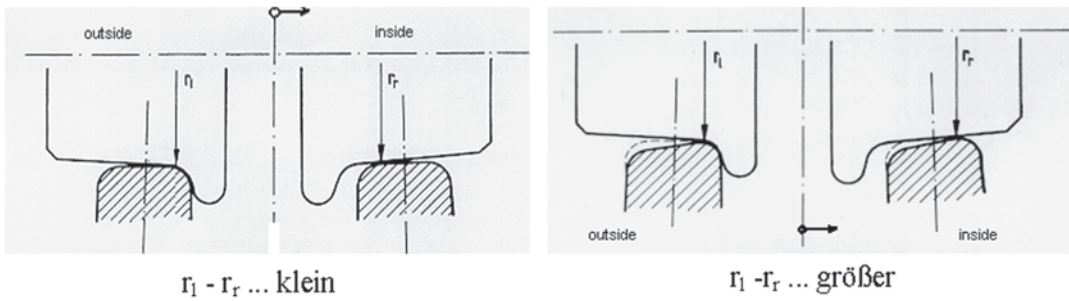


Abb. 1.26 „Asymmetrisches Schienenschleifen“

Konstruktionsprinzipien von Drehgestellen wurden bereits in Abschn. 1.3 diskutiert. Grundsätzlich sind „steife“ Drehgestelle ungünstig für den Kurvenlauf. Auf Infrastrukturen, die aus geraden Abschnitten und weiten Kurven bestehen (Hochgeschwindigkeitsstrecken) wird der Radverschleiß gering sein, auf Strecken mit engen Kurven wird Abnutzung sowohl von Rad als auch von der Schiene angestrebt. Zu beachten ist hierbei, dass der „Verlängerungsfaktor“ (Gl. (21)) den positiven Einfluss hoher Konizitäten auf die Kurvenfahrt reduziert.

1.6 Maßnahmen zur Unterstützung guter Rad-Schiene-Interaktion

Die Anforderung an den Fahrzeugbau ist es, ein Drehgestell mit der richtigen Auswahl der Dimensionen und Dämpfungsparameter zu konstruieren. Auch das Radprofil sollte als Entwurfsparameter gesehen werden; das UIC Merk-Blatt 510-2 erlaubt die Anpassung der Lauffläche an die Anforderungen. [10, 11, 12, 13, 14]

Der Gleisbau hat eine große Anzahl an Möglichkeiten, eine günstige Interaktion zu unterstützen, alle in Zusammenhang mit der richtigen Abstimmung des Schienenprofils bzw. der Profilierung der Schienen.

Einige Gleismesswagen europäischer Bahnen erlauben die Messung des Schienenquerprofils und damit die Verfolgung des Verschleißes der Schienen. Weitere Entwicklungen sollten in Zukunft die permanente Messung der äquivalenten Konizität λ_e und der Rückstellsteifigkeit c_{gy} er-

möglichen, beides wichtige Parameter für eine gute Interaktion zwischen Radsatz und Gleis. Bis dahin bleibt die Beobachtung des Fahrspiegels auf der Schiene die einzige Möglichkeit, eine erforderliche Profilkorrektur, zumeist durch Schienenschleifen, festzustellen.

Profilierendes Schienenschleifen wird mittels rotierender Schleifscheiben, die das gewünschte Schienenquerprofil herstellen, ausgeführt. Gewöhnlich ist der Materialabtrag mit rund 0,05–0,08 mm je Übergang limitiert, eigens entwickelte Maschinen für größere Reprofilierungsarbeiten wie Hobel- und Fräsmaschinen können bis zu 2 mm pro Übergang abtragen.

Schleifarbeiten für Hochgeschwindigkeitsstrecken erfordern spezielle Spezifikationen.

Auch Vorschläge für neuartige Schienenprofile sollten hier erwähnt werden. Diese erlauben durch geringe Adaptionen die optimale Berührgeometrie für den jeweiligen Streckenabschnitt, Gerade oder Kurve, sicherzustellen. Diese Vorschläge sind ein interessanter Ansatz, die Berührgeometrie zwischen Rad und Schiene zu optimieren.

1.7 Beispiele und Erfahrungen

Um die bisherigen Überlegungen zu illustrieren, werden im Folgenden einige Ergebnisse aus der angegebenen Literatur diskutiert.

Abbildung 1.27 [14] zeigt die Entwicklung einer von Radverschleiß und theoretischer Schienengeometrie abhängigen Δr -Funktion. Unterschiede sind klar erkennbar. Der Vergleich der

Abb. 1.27 Entwicklung der Δr -Funktion am Beispiel des Reisezugwagens mit starr geführten Radsätzen

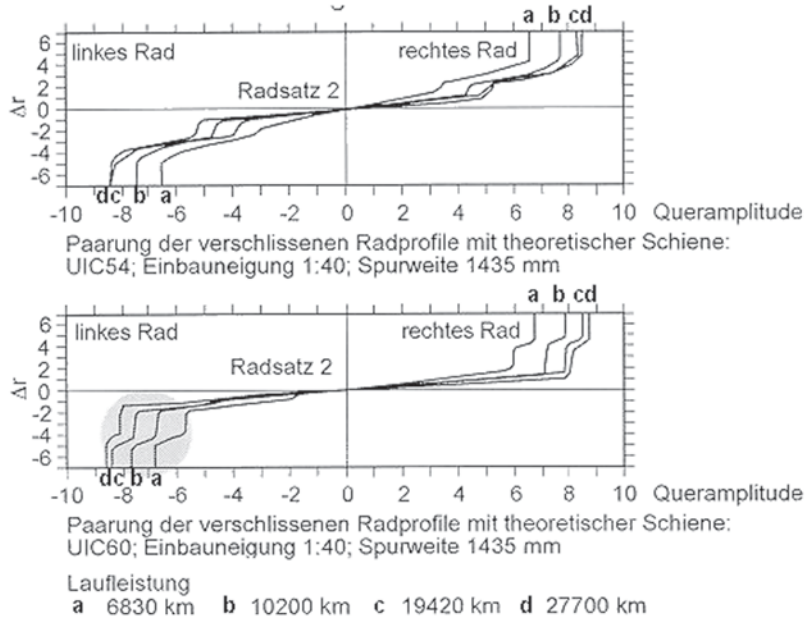
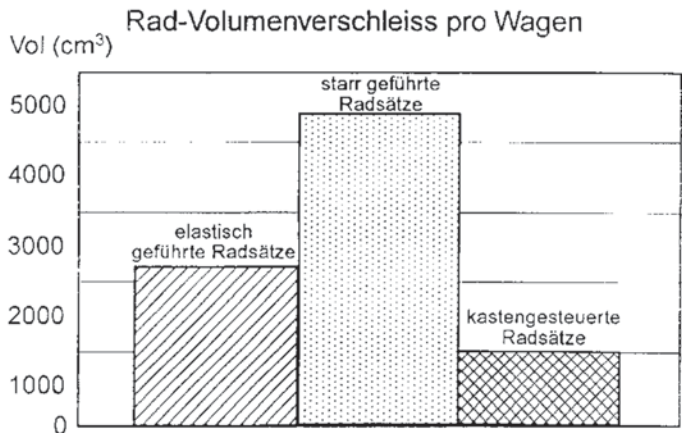


Abb. 1.28 Verschleißmessungen mit Reisezugwagen, Gotthard-Südseite



Schienen UIC 60 und UIC 54 zeigt bei erstgenannter einen über die seitliche Verschiebung moderaten Anstieg von Δr mit einem abrupten Wechsel zu höheren Werten als Folge des Spurkranzkontakts.

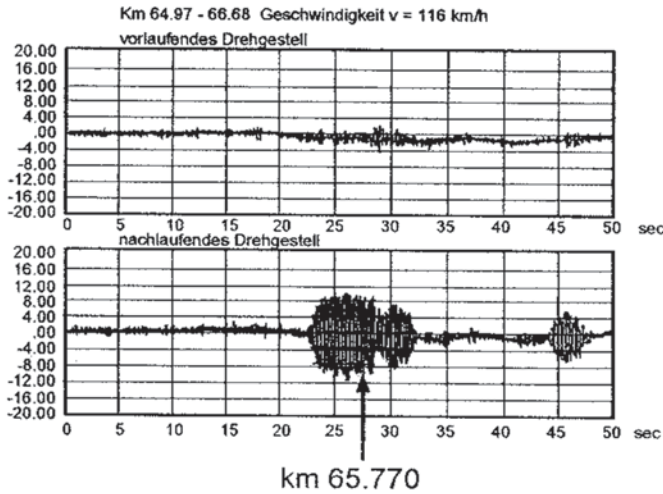
Drehgestelle mit lenkenden Achsen führen zu deutlich reduziertem Verschleiß, wie in Abb. 1.28 gezeigt wird.

Die Funktionen „ Δr über y “ und „ $\Delta \tan \delta$ über y “ beeinflussen die Laufstabilität gleichzeitig. Abbildung 1.29 zeigt die seitlichen Beschleunigungen am Drehgestellrahmen. Die Instabilität

des Drehgestells führt zu deutlichen Amplituden, die sich jedoch nach rund 8 s durch Änderung der Berührgeometrie selbst auslöchen. Der Grund dafür wird aus den in Abb. 1.29 unten gezeigten Darstellungen der beiden maßgeblichen Funktionen klar, wobei die $\tan \delta$ -Funktion vergrößert dargestellt ist, um die Unterschiede besser erkennen zu können.

Auf der linken Seite (km 65,770) behindert das Zusammenwirken von enger Spurweite und der gegebenen Kombination des Rad- und des Schienenprofils die seitliche Verschiebung des

Querbeschleunigung am Drehgestellrahmen



Paarung der realen Schiene mit Radprofil ORE S1002 bei km 65.770

Sollpaarung Schiene UIC 60/1:40/Spurweite 1430 mm mit Radprofil ORE S1002

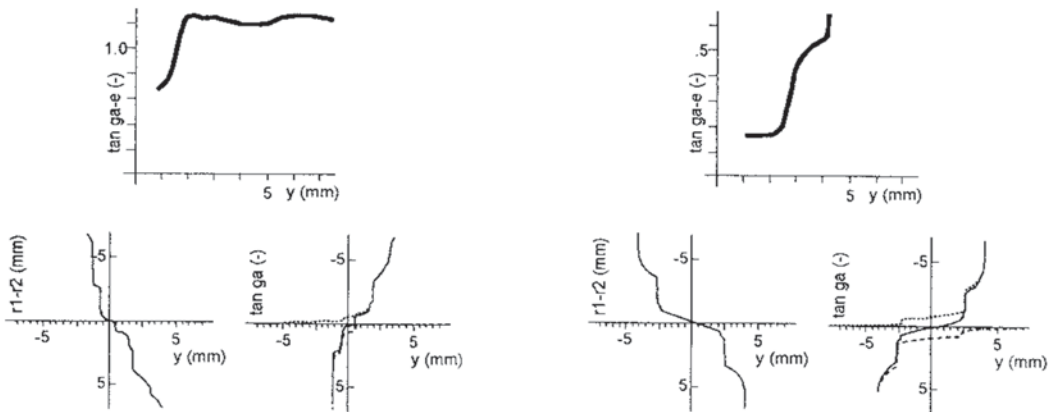


Abb. 1.29 Instabilität des nachlaufenden Drehgestells eines Reisezugwagens auf der SBB-Strecke Lausanne-Biel bei $V = 116 \text{ km/h}$

Radsatzes, was zu einer steilen „ Δr - y “-Funktion führt, die wiederum die schnelle Querbewegung des Radsatzes im Spurkanal erklärt. Die rechte Seite zeigt, bei immer noch enger Spurweite von 1430 mm, eine Standardsituation mit moderateren Funktionen für Δr und $\Delta \tan \delta$ als Resultat der Profilkombination.

Die Abb. 1.30 und 1.31 zeigen unterschiedliche Beobachtungen. Während im Abschn. 1

ein ruhiger Fahrzeuglauf aufgenommen wurde, zeigt Abschn. 2 große Ausschläge der seitlichen Beschleunigung der Drehgestelle unter der Lokomotive und den drei mit unterschiedlichen Drehgestellen und Radprofilen ausgerüsteten Personenwagen. Untersuchungen haben ergeben, dass Radprofile unregelmäßig verschleifen, wobei eine enge Spurweite diesen Effekt wiederum in hohem Maß beeinflusst. Auch die

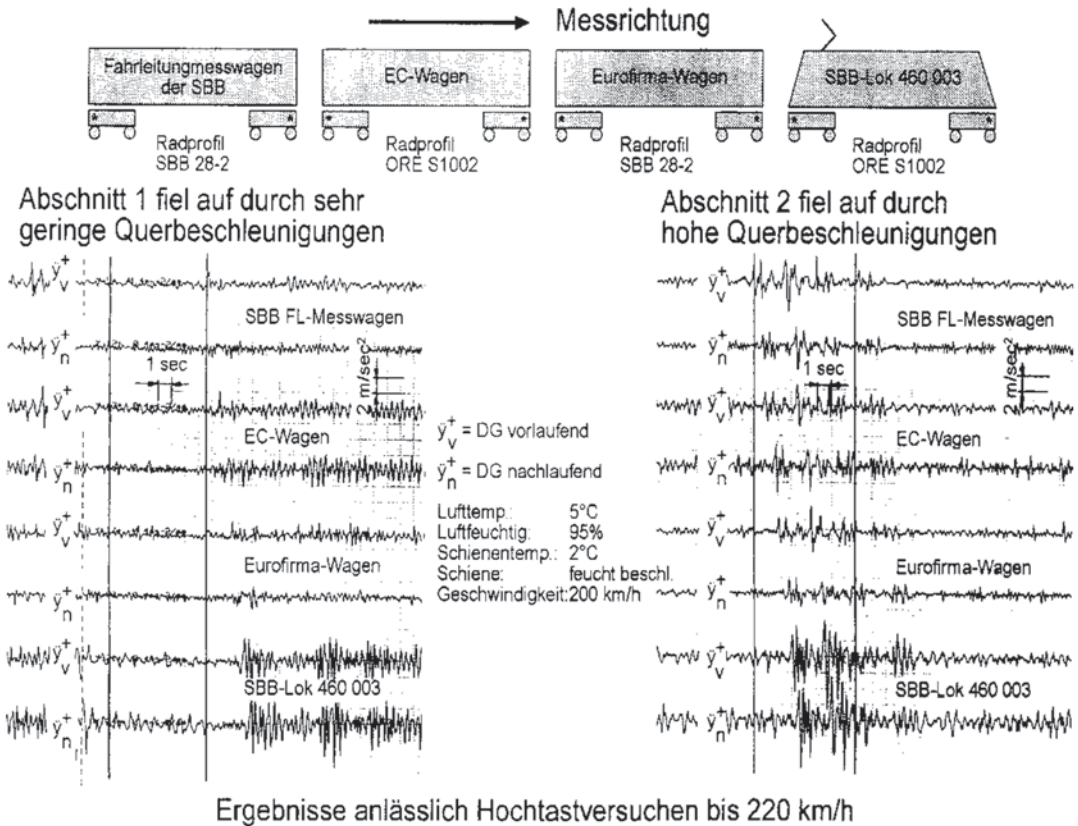


Abb. 1.30 Hochgeschwindigkeitsfahrten auf der Strecke Martigny-Ardon

Δr - und $\Delta \tan \delta$ -Funktionen bestätigen dies, vor allem bei näherer Betrachtung der Abbildung der $\tan \delta$ -Funktion. Die gezeigten Unterschiede sind eindeutig die Ursache für die Beobachtungen aus Abb. 1.30.

Abbildung 1.32 ist ein gutes Beispiel für den Einfluss des Rad-Schiene-Kontaktes. Es werden die Ausdrehwinkel zweier frei lenkender Achsen in einem zweiachsigen Güterwagendrehgestells zusammen mit den entsprechenden Kräften in der Durchfahrt eines Bogens mit $R=300$ m gezeigt. Klar erkenntlich zeigt sich eine plötzliche Änderung der Kräfte und der Radsatzposition, gefolgt von der Rückkehr zum kräftefreien Lauf. Die Erklärung liegt in der Δr -Funktion, die in der abgebildeten Situation moderat mit der seitlichen Verschiebung des Radsatzes steigt, was auf eine ausreichende Radiendifferenz für eine perfekte

Kurvenfahrt schließen lässt. An Orten mit hohen Kräfteniveaus und Fehlausrichtung der Achse führt die seitliche Verschiebung zu einem Spurrkranzkontakt ohne die notwendige Rollradiendifferenz. Dieser Vorgang bringt den Radsatz schrittweise in eine falsche Position und der daraus resultierende Ausdrehwinkel führt über den seitlichen Schlupf zu den beobachteten Kräften, die notwendigerweise gleich groß, jedoch entgegengerichtet sind.

Die Interaktion von Rad- und Schienenprofil wird auch in den Referenzgrafiken am unteren Bildrand erklärt. Die günstige Situation (links) zeigt die schrittweise Änderung des Kontaktpunktes, während in der eher ungünstigen Situation (rechts) der Kontaktpunkt abrupt bei etwa 9 mm seitlicher Radsatzverschiebung springt.

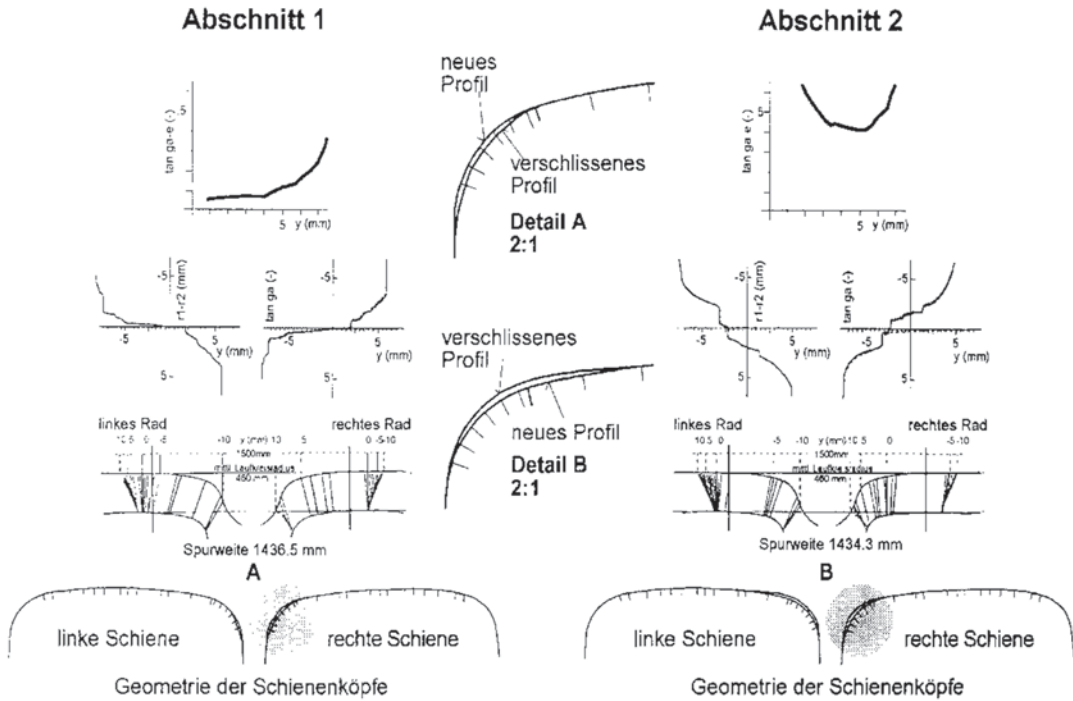


Abb. 1.31 Ergebnisse der Schienenkopfabzeichnung und Berührungsgeometrie Rad/Schiene auf der SBB-Strecke Martigny-Ardon (zu Abb. 1.30)

1.8 Entgleisungen

1.8.1 Entgleisungsursachen

Entgleisungen sind seltene Ereignisse und erfahrungsgemäß meist von einem Versagen eines Bauelements des Fahrzeuges, wie z. B. Federbruch, Radbruch, Achslagerschaden, oder des Gleises, wie Schienenbruch, Bruch einer Weichenzunge, Gleisverwerfung bei hohen Temperaturen, verursacht. Auch Seitenwind kann bei sehr ungünstigen Verhältnissen als Ursache einer Entgleisung in Frage kommen, insbesondere bei Schmalspurbahnen.

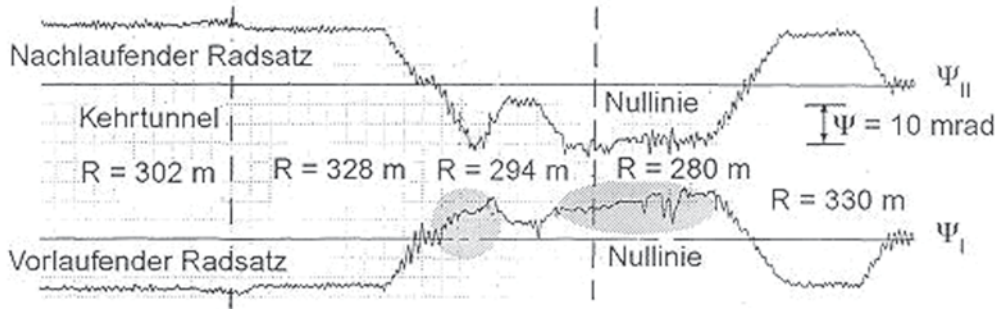
Aufgrund spurführungstechnischer Zusammenhänge können Schienenfahrzeuge aus drei Gründen entgleisen:

1. Massiv überschrittene Geschwindigkeitsgrenzen im Gleisbogen: Bei Normalspur kann eine freie Seitenbeschleunigung von etwa $a_q \geq 4,0 \text{ m/sec}^2$, die über eine für das Umkippen ausreichende Zeit wirkt, zu einem seitli-

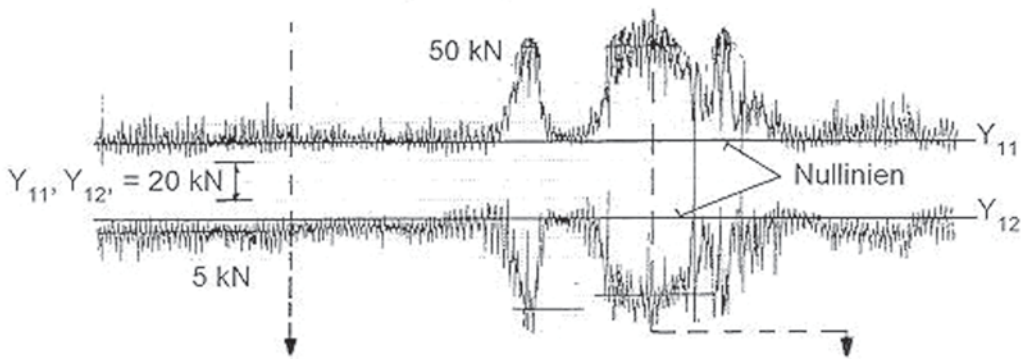
chen Umstürzen der Fahrzeuge führen. Dieser Wert ändert sich naturgemäß mit der Spurweite und der Höhenlage des Schwerpunktes.

2. Bei erhöhten seitlichen Gleiskräften, etwa bedingt durch Übergeschwindigkeit im Bogen oder instabilen Radsatzlauf, kann es zu anwachsenden periodischen Gleisverschiebungen oder zu einem seitlichen Wegrutschen des Gleisrostes im Schotterbett kommen. Dies ist insbesondere in Phasen der Schwächung der Verankerung im Schotter (z. B. während Arbeiten am Oberbau) und/oder bei temperaturbedingten hohen Schienendruckspannungen möglich. Das Gleisverschiebekriterium (Gl. (26)) gibt Grenzwerte für die größten Kräfte an, die vom Fahrzeug auf das Gleis in seitlicher Richtung ausgeübt werden dürfen um eine progressive Gleisverschiebung hinten zu halten.
3. Die mit Abstand häufigsten Entgleisungen aus spurführungstechnischen Gründen finden in „Gleisverwindungen“ statt, in denen sich die

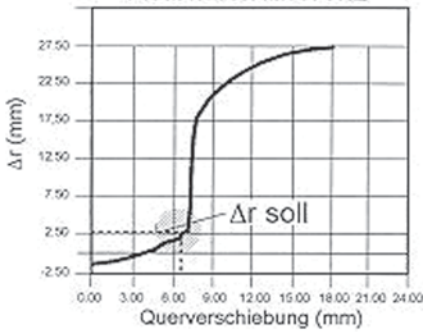
Ausdrehwinkel Ψ zwischen Fahrzeugkasten und den beiden Radsätzen



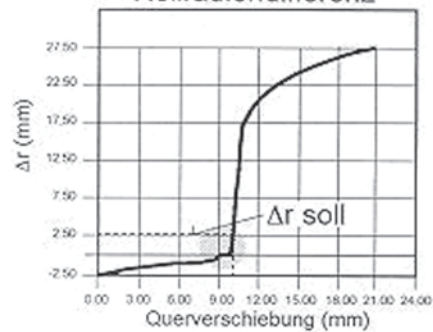
Einzelradkräfte waagrecht/quer am vorlaufendem Radsatz



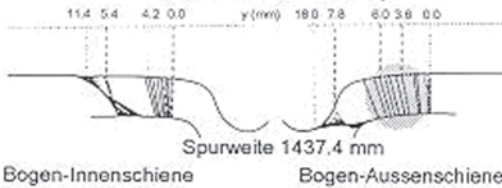
Rollradiendifferenz



Rollradiendifferenz



Berührungspunktszuordnung



Berührungspunktszuordnung

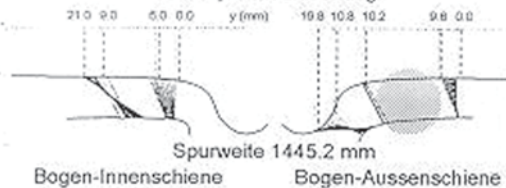


Abb. 1.32 Bogenfahrt eines 2-achsigen Güterwagens

gegenseitige Höhenlage der Schienen verändert. Abgesehen von Gleisverformungen, die während des Betriebes eingetreten sind, sind es besonders die Überhöhungsrampen in den Übergangsbögen, die vor allem in historischen Eisenbahnstrecken nachträglich eingefügt wurden und meist kurz und steil ausgeführt sind. Diese Gleisgeometrien werden mit erheblichen Radlaständerungen befahren. Während beim Einfahren in eine Überhöhung das führende Rad belastet wird und damit eine erhöhte Entgleisungssicherheit resultiert, wird bei der abfallenden Rampe dieses Rad entlastet. Gleichzeitig muss die über den Spurkranz wirkende Horizontalkraft die erhöhte Reibung am inneren Rad überwinden und steigt daher an. Dazu tritt eine zusätzliche Radlastverlagerung durch die Schrägstellung des Fahrzeuges nach bogeninnen. Diese wird bei Stillstand des Fahrzeuges am größten. Bei steilen, abfallenden Überhöhungsrampen kann sehr langsame Fahrt rasch an die Entgleisungsgrenze führen. Andererseits belastet eine nach außen wirkende Fliehkraft durch höhere Geschwindigkeit die Außenräder zusätzlich und erhöht dadurch die Entgleisungssicherheit. Die Tatsache, dass höhere Fahrgeschwindigkeit zu höherer Entgleisungssicherheit führt, wird auch als „spurführungstechnisches Paradoxon“ bezeichnet.

1.8.2 Entgleisungskriterien

Das zu einer Entgleisung führende Kräftespiel ist sehr komplex und unübersichtlich. Das stark vereinfachte Modell nach NADAL verschiebt alle Kräftewirkungen in die Meridianebene eines einzigen betrachteten Rades und nimmt zusätzlich die volle Wirkung der Reibungskräfte in vertikaler Richtung entlang der Spurkranzflanke an.

Für das zulässige Verhältnis Y/Q der horizontalen Führungskraft Y und der vertikalen Radlast Q sind aufgrund von Reihenuntersuchungen folgende Kriterien festgelegt:

- für Güterzüge (und quasistatische Nachweisrechnungen):

$$Y/Q_{\text{lim}} = \tan(\beta - \rho_{\text{Sp}}) = 1,2 \text{ für } \beta = 70^\circ \text{ und } \mu_{\text{Sp}} = 0,35 \rightarrow \rho_{\text{Sp}} = 19^\circ \quad (1.25)$$

$$Y/Q_{\text{lim}} = 0,85 \text{ für } \beta = 60^\circ \text{ und } \rho_{\text{Sp}} = 19^\circ$$

(früher Mitteleuropa)

- für schnellfahrende Züge (und bei solchen Fahrten gemessene Kräfte):

$$Y/Q_{\text{lim}} = 0,8 \quad (1.26)$$

Beurteilt wird ein über die Entfernung von 2 m gemittelter Messwert, wobei aber keine Differenzierung nach der Zeitdauer des Überschreitens oder dem Anlaufwinkel gemacht wird.

Die japanischen Bahnen wenden dagegen ein Entgleisungskriterium an, welches eine Zeitabhängigkeit aufweist. Kurzzeitig deutlich höhere Y/Q -Werte von der Dauer zwischen 0 und 0,05 s sind demnach zulässig.

1.9 Zusammenfassung

Die Interaktion von Radsatz und Gleis ist bei moderaten Fahrgeschwindigkeiten zunächst von den „klassischen“ Gleisfehlern, wie Längshöhenfehler, Seitenfehler und Verwindung, dominiert. Bei der Fahrt durch enge Bögen können bereits geringe Veränderungen von Parametern völlig konträre Reaktionen auslösen. Bei höheren Geschwindigkeiten gewinnt die Kontaktgeometrie zwischen Gleis, charakterisiert durch Spurweite und Schienenprofil mit Schieneneneinbauneigung, und Radsatz, ausgedrückt durch Radprofil und entsprechende Entfernungen, an Bedeutung und schließlich Dominanz. Sehr kleine Abweichungen können zu unverhältnismäßig großen Reaktionen führen. In allen diesen Fällen kann die Ursache in der Rad-Schiene-Kontaktgeometrie gefunden werden.

Eine Verfolgung der geometrischen Verhältnisse zwischen Rad und Schiene sollte in Zukunft, anstatt wie bisher manuell und lokal, mit Messwagen über die gesamte Gleislänge möglich sein. Die äquivalenten Konizitäten und die Rückstellsteifigkeiten, genauer die Δr - und $\Delta \tan \delta$ -

Funktionen, sollten kontinuierlich aufgenommen werden können.

Abschließend wird der Hoffnung Ausdruck gegeben, dass dieser Beitrag die Wichtigkeit eines guten Zusammenwirkens von Radsatz und Gleis für alle Sparten des Eisenbahnwesens deutlich gemacht hat. Im Gegensatz zu der manchmal geäußerten Ansicht, dass sich der Radaufstandspunkt jeweils am „äußersten Rand“ der Wissensgebiete Gleisbau und Fahrzeugbau befindet, kommt ihm für ein problemloses, kostengünstiges und störungsfreies Funktionieren der Eisenbahn die entscheidende Bedeutung zu.

Verwendete Formelzeichen

| | |
|---------------|--|
| x | Koordinate in Gleislängsrichtung [m] |
| y | Koordinate in Gleisquerrichtung [m] |
| z | Koordinate in Vertikalrichtung [m] |
| φ_x | Winkellage um x-Achse [rad] |
| φ_y | Winkellage um y-Achse [rad] |
| φ_z | Winkellage um z-Achse [rad] |
| v, V | Fahrgeschwindigkeit [m/sec] [km/h] |
| t | Zeit [sec] |
| a | halber Achsstand [m] |
| s | halbe Entfernung der Radaufstandspunkte quer zum Gleis \approx halbe Spurweite [m] |
| b | halbe Federbasis [m] |
| r | Radius des Rades [m] |
| Δr | Differenz der Rollradien [m] |
| R | Radius des Gleisbogens [m] |
| ρ | Radius der Bahnkurve [m] |
| h | Höhe des Schwerpunktes über Achsmittelpunkt [m] |
| m_{RS} | Masse des Radsatzes [kg] |
| m_{WK} | Masse des Wagenkastens [kg] |
| $I_{ZZ_{RS}}$ | Trägheitsmoment des Radsatzes um die z-Achse [kgm ²] |
| $I_{ZZ_{WK}}$ | Trägheitsmoment des Wagenkastens um die z-Achse [kgm ²] |
| g | Erdbeschleunigung [9,81 m/sec ²] |
| c | Federkonstante [N/m] |
| k | Dämpfungskonstante [Nsec/m] |
| Q | vertikale Kraft [N] |
| T | tangentiale Kraft [N] |
| Y | horizontale Führungskraft [N] |
| α | Schräglaufwinkel [rad] |
| β | Spurkranzwinkel [°] |
| ε | Winkel [rad] |

| | |
|-------------|--|
| δ | Neigung der Tangentialebene im Berührungspunkt [rad] |
| Δ | Differenz |
| λ | Neigung der Lauffläche gegen Horizontale [rad] |
| λ_e | äquivalente Konizität [rad] |
| μ | Reibungsbeiwert [1] |
| μ_{Sp} | Reibungsbeiwert an der Spurkranzflanke [1] |
| ρ_{Sp} | Reibungswinkel an der Spurkranzflanke [°] |
| ω | Winkelgeschwindigkeit der Achsrotation [rad/sec] |
| Ω | Winkelgeschwindigkeit [rad/sec] |
| Λ | Profilfunktion Rollradiusänderung aufgrund der Seitenverschiebung [1] |
| Δ | Profilfunktion Berührungswinkeldifferenz aufgrund Seitenverschiebung [1] |
| Γ | Profilfunktion Rollen um x-Achse aufgrund Seitenverschiebung |
| σ_x | Schlupf in x-Richtung [1] |
| σ_y | Schlupf in y-Richtung [1] |
| σ_z | Schlupf um die z-Achse [rad/m] |
| K_{ij} | Kalker-Faktoren |
| c_{yg} | Rückstellsteifigkeit [N/m] |
| R_R | Radius des Rades in Querrichtung [m] |
| R_S | Radius der Schiene in Querrichtung [m] |
| g_R, g_S | Hilfsgrößen [m] |
| Re | Realteil |
| Im | Imaginärteil |
| i | $\sqrt{-1}$ |
| D | Differentialoperator |
| + | Index bezeichnet „Drehgestell“ |
| * | Index bezeichnet „Wagenkasten“ bzw. „Drehzapfenabstand“ |

Anhang 1

Die Abschätzung der Spurführungskräfte nach Heumann

Die spurführenden Kräfte bei der Bogenfahrt von Eisenbahn-Fahrzeugen lassen sich nach einer von Prof. Dr.-Ing. Hermann Heumann (ehemals RWTH Aachen) angegebenen Methode in vereinfachter und anschaulicher Art angeben.

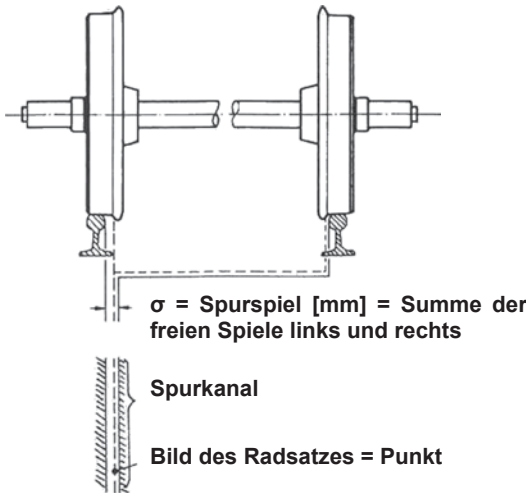


Abb. 1.33 Schrumpfung des Radsatzes, Spurkanal

Dabei werden vielfach grobe Annäherungen an die tatsächlichen und wesentlich komplizierteren Verhältnisse vorgenommen. Der große Wert der Heumann-Methode im Zeitalter der komplexen Programm-Pakete besteht in der Möglichkeit deren Ergebnisse rasch auf Plausibilität prüfen zu können.

A1.1 Die Stellung des Radsatzes im Gleis (Vogel-Plan) [4]

A1.1.1 Die „Schrumpfung“ des Radsatzes

Ein Radsatz steht im Gleis, dessen Schienen ausreichend voneinander entfernt sind. Notwendigerweise besteht ein freies Spiel auf jeder Seite des Spurkranzes, dessen Größe etwa einige Millimeter beträgt.

Wenn die beiden Rad-Schiene-Kombinationen jeder Seite virtuell solange zusammen geschoben werden, bis die möglichen Rad-Schiene-Kontaktpunkte zusammenfallen (Abb. A 1.33), dann

- wurde der Radsatz auf einen einzigen Punkt reduziert und
- es bestehen freie Spiele zu den Schienen auf beiden Seiten.

Die Summe der beiden freien Spiele bildet den „Spurkanal“ mit der Breite σ [mm]. Der Radsatz kann sich in diesem Kanal frei bewegen.

Ein Radberührung auf der linken Seite des Spurkanals bedeutet „Anlauf des Radsatzes an der linken Schiene“ usw.

A1.1.2 Darstellung des Kreisbogens durch eine Parabel

Der Radius jedes Bogens einer Eisenbahntrassierung ist um vieles größer als das seitliche Spiel des Radsatzes in der Spur. Dies erlaubt für das betrachtete Problem den Ersatz des Kreisbogens durch eine Parabel (Abb. A 1.34).

1. Formel der Parabel

$$y = \frac{x^2}{2R} 1000$$

mit

- x Längskoordinate [m]
- y Querkoordinate [mm]
- R Radius [m]

2. Die Dimensionen in Längsrichtung des Gleises werden im Maßstab 1:100 aufgetragen.
3. Die Dimensionen in Querrichtung werden im Maßstab 1:1 aufgetragen.

Auf diese Weise wird die Kante der Außenschiene dargestellt. Die Kante der Innenschiene wird durch Parallel-Verschiebung dieser Kontur nach um das „Spurspiel“ σ nach „innen“ erhalten.

| Beispiel: Berechnung von y [mm] (R=350 m, $\sigma=18$ mm) | | | | |
|--|----------------------------------|--------|--------|-------------|
| x [m] | x ² [m ²] | y [m] | y [mm] | y+ σ |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 18,0 |
| 1 | 1 | 0,0014 | 1,4 | 19,4 |
| 2 | 4 | 0,0057 | 5,7 | 23,7 |
| 3 | 9 | 0,0128 | 12,8 | 30,8 |
| 4 | 16 | 0,0228 | 22,8 | 40,8 |
| 5 | 25 | 0,0356 | 35,6 | 53,6 |
| 6 | 36 | 0,0514 | 51,4 | 69,4 |
| 7 | 49 | 0,0700 | 70,0 | 88,0 |
| etc. | | | | |

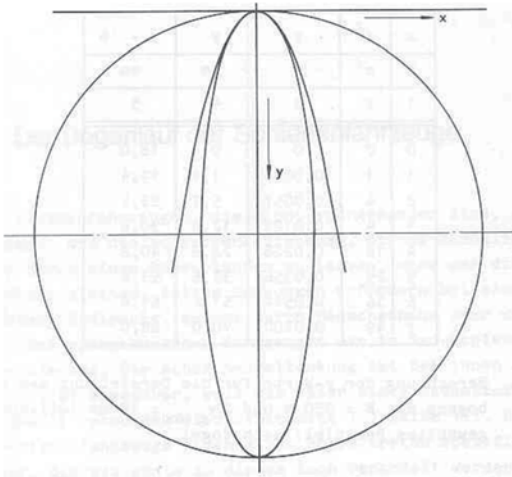


Abb. A 1.34 Umwandlung eines Kreisbogens in eine Parabel

A1.1.3 Situierung eines Laufwerkes im Spurkanal

Das Laufwerk wird auf seine Achsanordnung reduziert, dabei berührt erfahrungsgemäß die in Fahrtrichtung vordere, führende Achse die äußere Schiene.

Die weiteren Achsen können wie folgt verschiedene Positionen einnehmen:

- Wenn die Achsen in einem Rahmen (z. B. Drehgestell) fest geführt sind, dann müssen alle Punkte (welche ja die einzelnen Achsen repräsentieren) auf einer Linie liegen.
- Wenn Achsen seitlich verschiebbar ausgeführt sind, dann kann dies im Vogel-Plan durch eine (scheinbare) Verbreiterung des Spurkanals berücksichtigt werden.

Alle Achsen müssen innerhalb des Spurkanals zu liegen kommen. Ist dies nicht der Fall, was bei mehr-als-2-achsigen Laufwerken oder bei Anschlag an Begrenzungen der Drehgestell-Verdrehung unter dem Wagenkasten der Fall sein kann, dann wird dadurch eine Unverträglichkeit angezeigt. Bei kleinen Überschreitungen kann ein Durchfahren des Gleisbogens durch Aufspreizen der Spur noch möglich sein, bei größeren Werten ist eine Entgleisung unvermeidlich.

Die hintere Achse wird nun (gedanklich) seitlich um den durch die Berührung der vorderen

Achse gegebenen Drehpunkt geschwenkt. Drei Situationen sind möglich:

1. Die hintere Achse berührt die innere Schiene mit einem Berührungswinkel, der bei Weiterlaufen ein Ablösen der hinteren Achse von der inneren Schiene in Richtung zum Spurkanal angibt. Diese Situation wird in Wirklichkeit nicht eintreten, sondern die hintere Achse wird in einer Position zwischen den Schienen verbleiben. Dieser Zustand wird „Freilauf“ genannt.
2. Die hintere Achse berührt die innere Schiene mit einem Berührungswinkel, der ein Weiterlaufen der Achse in die Bogen-Innenseite nahe legt. Diese Situation wird „Spießgang“ genannt. Bei mehrachsigen Laufwerken kann es vorkommen, dass eine mittlere Achse zuerst die innere Schiene berührt und damit die Führung (zusammen mit der vorderen Achse) übernimmt. Dies zeigt ungünstige Führungsverhältnisse mit hohen Spurrückkräften an.
3. Bei sehr hohen, seitlich auf das Fahrzeug wirkenden Kräften (Fliehkräfte bei Fahrt mit überhöhter Geschwindigkeit, Windkräfte etc.) kann die hintere Achse auch an die Außenschiene gepresst werden. Dies wird als „Außenanlauf“ oder „Tangentialstellung“ bezeichnet.

Die Grenze zwischen „Freilauf“ und „Spießgang“ wird durch jene Fahrzeugstellung definiert, bei welcher die hintere Achse das Gleis tangential berührt. Für ein zwei-achsigen Laufwerk gilt hierfür:

$$\sigma_{\text{limit}} = \frac{(2a)^2}{2R}; \text{ wenn } \sigma > \sigma_{\text{limit}} \text{ dann } \\ \text{„Freilauf“}, \text{ wenn } \sigma < \sigma_{\text{limit}} \text{ dann } \\ \text{„Spießgang“}$$

Der Vogel-Plan (Abb. A 1.35) ist eine rein geometrische Untersuchung. Er erlaubt die geometrischen Bedingungen der Bogenfahrt zu beurteilen, doch ist zunächst noch nichts über die beteiligten Kräfte ausgesagt.

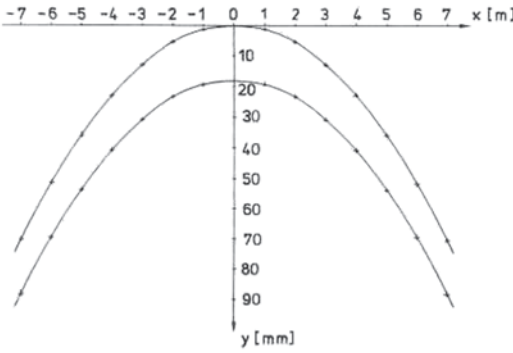


Abb. A 1.35 Vogel-Plan eines Gleisbogens ($R=350$ m, $\sigma=18$ mm)

A1.2 Berechnung der Bogenlauf-Kräfte

Die nachfolgenden Überlegungen setzen eine Reihe von Vereinfachungen voraus:

- Die Achsen sind spielfrei im Laufwerksrahmen gelagert.
- Alle Räder weisen gleiche Aufstandskräfte auf.
- Alle Räder haben den gleichen Durchmesser.
- Alle Räder haben zylindrisches Radprofil.
- Die Reibungskräfte F sind konstant und unabhängig vom Schlupf, damit gilt:
- $F = \mu \cdot Q$, wobei diese Reibungskräfte der Relativbewegung entgegengesetzt wirken (siehe dazu auch die Anmerkungen am Ende des Abschnitts).

A1.2.1 Zerlegung der Bogenfahrt in zwei gleichzeitige Teilbewegungen

Die Bogenfahrt wird (gedanklich) in zwei Bewegungen zerlegt (Abb. A 1.36):

1. Drehung um jenen Punkt auf der Mittelachse des Laufwerkes, von welchem eine Senkrechte zur Laufwerksachse den Mittelpunkt des Gleisbogens schneidet. Dieser Punkt wird „Reibungsmittelpunkt M “ genannt. Jede Drehung um M aktiviert Reibungskräfte in den Radaufstandspunkten. Daher genügt es, zur Bestimmung der bei der Bogenfahrt auftretenden Kräfte nur die Drehung um den Reibungsmittelpunkt zu betrachten.
2. Geradlinige Verschiebung in Richtung der Laufwerksachse bis zur Berührung der vorderen Achse mit der Außenschiene – dies erfolgt durch geradliniges Rollen ohne die Wirkung

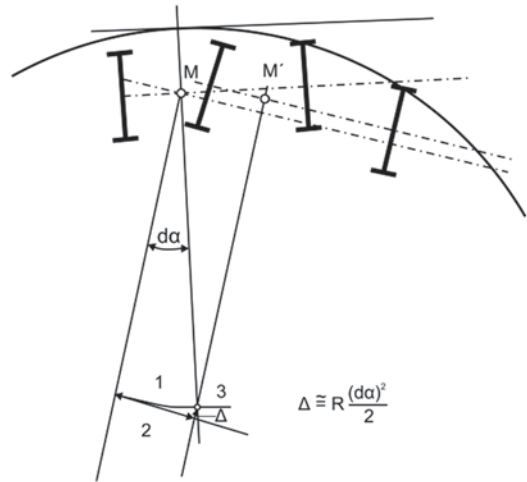


Abb. A 1.36 Freilauf eines 2-achsigen Fahrzeugs bei der Bogenfahrt

von Rad/Schiene-Zwangskräften. (Die zur Rückführung auf den Bogenmittelpunkt nötige Seitenverschiebung ist „klein von zweiter Ordnung“ und wird vernachlässigt.)

A1.2.2 Das Moment der Reibungskräfte

Im nächsten Schritt wird die „Linie des Momentes M der Reibungskräfte“ ermittelt. Dazu wird ein Grundriss des Laufwerkes maßstabsgerecht gezeichnet.

Durch Annahme des „Reibungsmittelpunktes M “ auf verschiedenen Positionen entlang der Laufwerksachse kann das „Reibungsmoment M “ durch das Aufsummieren aller Produkte „Reibungskraft mal Reibungsarm“ ermittelt werden.

$$M = \sum \mu \cdot Q \cdot q_i$$

mit

- Q Radkraft [kN]
- μ Reibungskoeffizient [1]
- q_i Entfernung der Radaufstandspunkte i zum Reibungsmittelpunkt [m]

Da die Laufwerke symmetrisch um die Längsachse ausgeführt sind, genügt es die Summation der Richtstrahlen für eine einzige Seite auszuführen. Das „Reibungsmoment M “ wird dann zu

$$M = 2 \cdot \sum \mu \cdot Q \cdot q_i \text{ oder } \sum q_i = M / 2 \cdot \mu \cdot Q$$

mit den gleichen Bedeutungen wie vor.

Mit den folgenden Bezeichnungen

- 2a_i Entfernung der Achse i zur vordersten Achse [m]
 2s Spurweite [m]
 q_i Abstand des Aufstandspunktes des Rades i vom Reibungsmittelpunkt M [m]
 ζ_i Winkel zwischen Laufwerksachse und dem Richtstrahl q_i
 x Entfernung des Reibungsmittelpunktes M von der ersten Achse [m] gelten die nachfolgenden Gleichungen:

$$q_i = \sqrt{(2a_i - x_i)^2 + s^2}$$

$$\operatorname{tg} \zeta_i = \frac{s}{2a_i - x_i}$$

$$\cos \zeta_i = \frac{2a_i - x_i}{q_i}$$

Die genaue Position x des Reibungsmittelpunktes hängt von der Stellung des Laufwerkes in der Spur, wie sie im Vogel-Plan ermittelt wurde, ab.

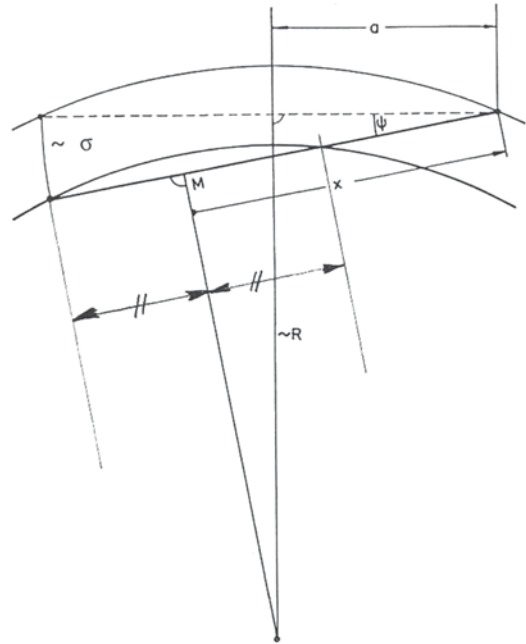


Abb. A 1.37 Lage des Reibungsmittelpunktes bei „Spießgang“

A1.2.3 Ermittlung der Bogenlaufkräfte bei Spießgang

Die Lage des Reibungsmittelpunktes M ist

- **bekannt**, wenn durch den Vogel-Plan „Spießgang“ festgestellt wurde. Dann halbiert der Reibungsmittelpunkt den Abstand der Laufwerksachse zwischen den Schnittpunkten mit derselben (inneren oder äußeren) Schiene. Das Ergebnis ist „x“, der gesuchte Abstand zwischen der ersten Achse und dem Reibungsmittelpunkt M (Abb. A 1.37)

Die **M-Linie** wird an dieser Position geschnitten (Punkt M'') und eine Tangente im Schnittpunkt angelegt:

- Diese schneidet die Vertikale über Achse 1 im Punkt E. Man verbindet diesen Punkt mit dem Fußpunkt 3 (in Abb. A 1.6 ist ein 3-achsiges Laufwerk gewählt)
- Der von den beiden Strahlen eingeschlossene Winkel bei E gibt die am führenden Spurkranz wirkende Kraft an.
- Ebenso erhält man die am inneren Spurkranz der Achse 3 wirkende Kraft durch den Winkel bei 3.
- Die Winkel stellen die Kräfte dar, weil das Moment **M** (Ordinate) durch eine Distanz x

dividiert wird. Die vertikale Ordinate (Summe von q_i) ist gleich **M/(2μQ)**, während x die horizontale Entfernung darstellt. Division der vertikalen Entfernung (Moment) durch die horizontale Entfernung und Multiplikation mit 2·μ·Q ergibt die gesuchten Richtkräfte P₁ und P₃ (Abb. A 1.38).

$$P_1 = \frac{BD}{x} \cdot 2\mu Q$$

$$P_3 = \frac{DM}{(2a_3 + x)} \cdot 2\mu Q$$

A1.2.4 Ermittlung der Bogenlaufkräfte bei Freilauf

Wenn die Lage des Reibungsmittelpunktes **unbekannt** ist, da die hintere Achse die innere Schiene nicht berührt oder von dieser abläuft, dann liegt „Freilauf“ vor. Für diesen Fall gab Heumann das „Minimum-Verfahren“ an. Es besagt:

Bei Freilauf liegt der Reibungsmittelpunkt so, dass die Richtkraft P₁ am führenden Rad ein Minimum wird.

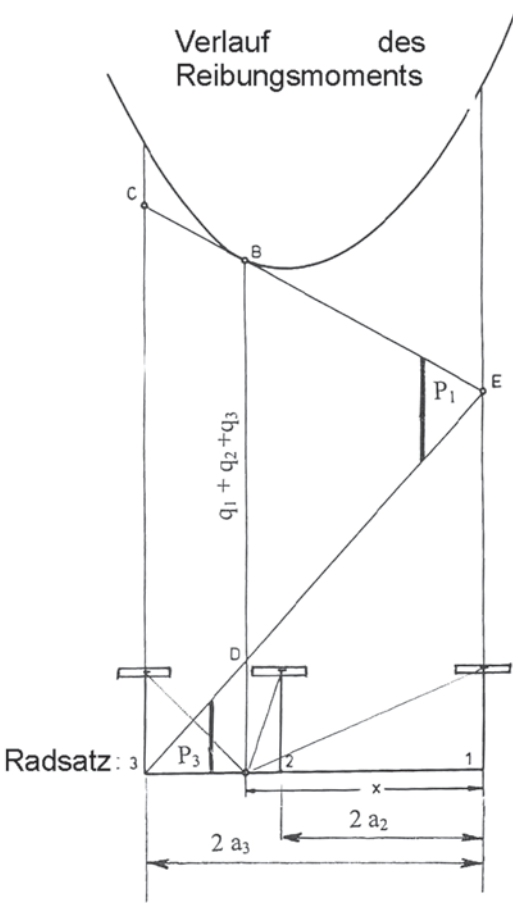


Abb. A 1.38 Ermittlung der Bogenlaufkräfte bei „Spießgang“

In diesem Falle wird der Reibungsmittelpunkt M wie folgt gefunden (Abb. A 1.39):

- Vom Fußpunkt der Achse 1 wird eine Tangente an die $M/2\mu Q$ -Linie gezogen.
- Der Berührungspunkt B gibt die Lage des Reibungsmittelpunktes an.

Die auf den Spurkranz des führenden Rades wirkende Richtkraft ergibt sich wieder aus der Division des Momentes BM durch den Abstand x und Multiplikation mit $2\mu Q$.

A1.2.5 Ermittlung der wirkenden Summenkräfte

Damit hat man über die Situation Klarheit erhalten und kann die Einflüsse von

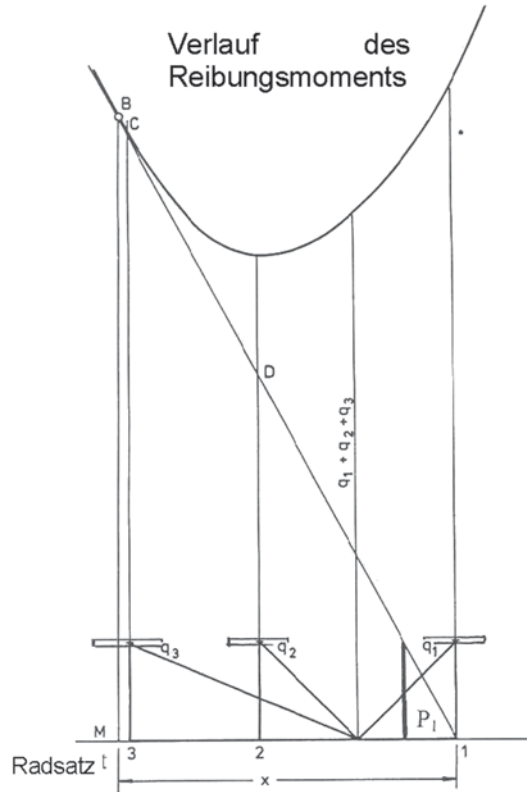


Abb. A 1.39 Ermittlung der Bogenlaufkräfte bei Freilauf

- Achsanordnung
 - Bogenradius
 - freiem Seitenspiel (Spurweite minus Radsatzabmessungen)
 - Reibungsverhältnissen
- verfolgen.

Abschließend sollen noch die wirkenden Kräfte klargestellt werden.

Grundsätzlich müssen die Spurkranzkräfte P den Reibungskräften $\mu \cdot Q$ das Gleichgewicht halten.

An den Rädern *ohne Spurkranzanlauf* kann die Reibungskraft $\mu \cdot Q$ aufgeteilt werden in

- Längsschlupfkkräfte $+\mu \cdot Q \cdot \sin \xi$, was zu einem nach außen nicht wirksamen Torsionsmoment in den Achsen führt („Blindmoment“), und
- Querschlupfkkräfte $+\mu \cdot Q \cdot \cos \xi$ zwischen Rädern und Schienen.

An den Rädern *mit Spurkranzanlauf* wirken die Richtkraft P und die Reibungskraft $\mu \cdot Q \cdot \cos \xi$ gegeneinander, d. h. in entgegengesetzter Richtung. Werden Bogenlaufkräfte mit Messradsätzen gemessen, so können diese beiden Kräfte nicht unterschieden werden, da nur deren Summe Y registriert werden kann. Es gilt:

Führungskraft = Richtkraft – Eigenreibung

$$Y = P - \mu \cdot Q \cdot \cos \xi$$

Anmerkung Wird das Rad unmittelbar vor einer Entgleisung angehoben, so wird $Y = P$ (Allerdings gelten dann die auf dauerndem Rad/Schiene-Kontakt beruhenden Überlegungen nicht mehr.)

A1.3 Beispiel einer Kräfteermittlung nach Heumann

Es sollen die Bogenlaufkräfte eines angenommenen Fahrzeuges ermittelt werden, welches vorlaufend ein 3-achsiges Drehgestell mit größeren Achsabständen, nachlaufend ein 2-achsiges Drehgestell mit geringem Achsstand aufweist. Die Abmessungen sind in Abb. A 1.40 ersichtlich. Dieses Fahrzeug habe Radlasten von 70 kN und soll einen Gleisbogen mit $R=250$ m und einem Spurspiel von 10 mm durchfahren. Der Reibungskoeffizient betrage 0,3.

Welche (mittleren) Bogenlaufkräfte treten auf?

Laufwerk 1 Achsen 1,2,3 – „Spießgang“ aus Vogel-Plan, daher halbiert der Reibungsmittelpunkt den Sehnenabschnitt, der durch die Laufwerks-Längsachse gebildet wird.

Tangente an Momenten-Linie, Schlusslinie von E nach Fußpunkt P_3 .

Die Richtkräfte P entsprechen den eingeschlossenen Winkeln (wie in Abb. A 1.40 eingezeichnet).

Es ergeben sich folgende Führungskräfte:

$$Y_{11} = P_1 - \mu \cdot Q \cdot \cos \xi_1 = 67,0 - 20,4 = +46,6 \text{ kN}$$

$$Y_{12} = -\mu \cdot Q \cdot \cos \xi_1 = -20,4 \text{ kN}$$

$$Y_{21} = -\mu \cdot Q \cdot \cos \xi_2 = -13,5 \text{ kN}$$

$$Y_{22} = -\mu \cdot Q \cdot \cos \xi_2 = -13,5 \text{ kN}$$

$$Y_{31} = \mu \cdot Q \cdot \cos \xi_3 = +19,5 \text{ kN}$$

$$Y_{32} = -P_3 + \mu \cdot Q \cdot \cos \xi_3 = -37,8 + 19,5 = -18,3 \text{ kN}$$

Positive Führungskräfte drücken das Rad nach bogeninnen, negative nach bogenaußen. Man beachte die entgegengesetzten Vorzeichen bei den Rädern der ersten und dritten Achse, die sich im Gleis als Spreizkräfte bemerkbar machen.

Der Vogel-Plan zeigt auch, dass der mittleren Achse des dreiachsigen Drehgestells eine freie Seitenverschieblichkeit von (zumindest) 8 mm gegeben werden muss, um ein zwangungsfreies Durchfahren des Bogens sicherzustellen. Die Achse 2 trägt dann nur zur Vergrößerung des zu überwindenden Reibungsmomentes bei. Dies gilt, solange sie nicht an die Außenschiene anläuft. In diesem Falle werden die von ihr verursachten seitlichen Kräfte direkt auf die Schiene abgetragen. Die Achse 2 trägt dann nur mehr über die längs gerichteten Komponenten zum gesamten Reibungsmoment bei. (Hier nicht dargestellt)

Als weitere Untersuchung wird eine seitlich auf den Drehpunkt D_1 wirkende Kraft W_1 angenommen. Sie hat die gleiche Richtung wie P_3 , was am gleichen Richtungssinn des Auftrags von der Schlusslinie weg erkannt wird, und verändert die Führungskräfte wie folgt:

P_1 wird vergrößert, P_3 wird verringert.

Die Stellung des Laufwerks in der Spur verändert sich bei der angenommenen Kraft W_1 (noch) nicht.

Laufwerk 2 Achsen 4,5 – „Freilauf“ aus Vogel-Plan, Reibungsmittelpunkt ergibt sich durch Anlegen einer Tangente an die Momentenkurve entsprechend dem Minimumverfahren. Es ergeben sich folgende Führungskräfte:

$$Y_{41} = P_4 - \mu \cdot Q \cdot \cos \xi_4 = 75,0 - 20,2 \text{ kN}$$

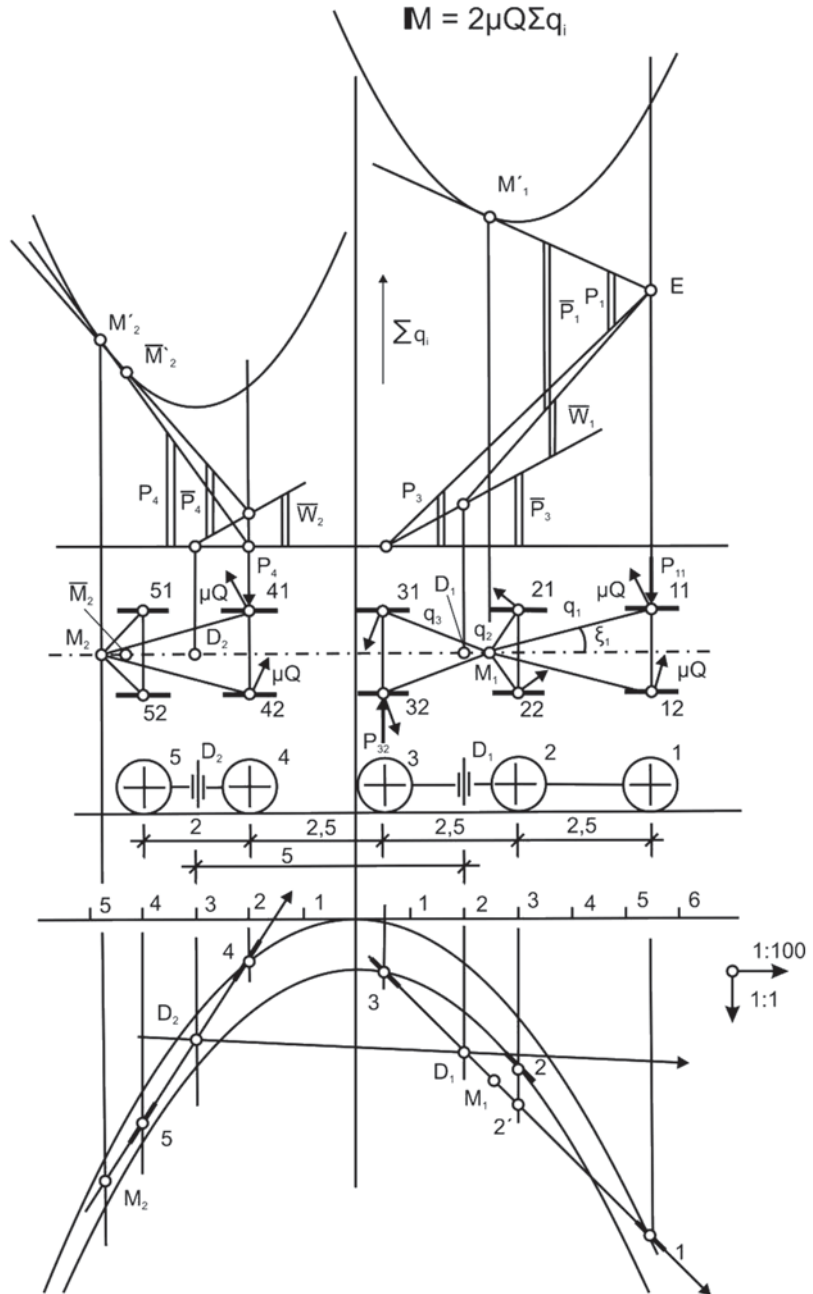
$$Y_{42} = -\mu \cdot Q \cdot \cos \xi_4 = -20,2 \text{ kN}$$

$$Y_{51} = -\mu \cdot Q \cdot \cos \xi_5 = -17,3 \text{ kN}$$

$$Y_{52} = -\mu \cdot Q \cdot \cos \xi_5 = -17,3 \text{ kN}$$

Wie oben wird zusätzlich die Wirkung einer seitlich auf den Drehpunkt D_2 nach bogenaußen wirkenden Kraft untersucht. Diese verändert die Fahrzeugstellung (M_2' wird zu M_2'') und vergrößert die Richtkraft P_4 .

Abb. A 1.40 Bogen-
laufuntersuchung nach
Heumann



Der Vogel-Plan zeigt, dass die Verdrehung des nachlaufenden Laufwerkes gegen die Fahrzeug-Achse deutlich größer ist als jene des vorlaufenden Laufwerkes. Für die Ermittlung der tatsächlichen Verdrehungswerte sind die unter-

schiedlichen Maßstäbe für Längs- und Querrichtung zu beachten. Dies gilt im Übrigen für alle Abmessungen, die aus dem Vogel-Plan entnommen werden.

A1.4 Zusammenfassung

Die Heumann-Methode zur Ermittlung der Bogenlaufkräfte wird im Vorstehenden nur mit ihren wesentlichen Aussagen dargestellt. Sie wurde in den Jahren 1920 bis 1940 mit vielen Details entwickelt und diente als Handwerkszeug für die Entwicklung der damals modernsten Dampf- und Elektrolokomotiven. Sie wurde auf die Behandlung von

- Seitenkräften durch Wind oder unausgeglichen beschleunigte Beschleunigung,
- Reibmomenten in der Verbindung von Drehgestellen und Wagenkasten,
- Zug- und Bremskräften sowie
- unterschiedlichen Kopplungs- und Rückstellmechanismen

ausgedehnt.

Mit dem Erscheinen der modernen Rechenprogramme, wie Medyna, Simpack, Nucars, schien sich der Wert der Heumann-Methode zu verringern. Doch gerade diese einfache Vorgangsweise ist ein hervorragendes Mittel, Rechenergebnisse zu interpretieren und zu verstehen. Dafür sollten stets die Voraussetzungen der Heumann-Methode im Auge behalten werden, insbesondere jene der konstanten, schlupf-unabhängigen Reibung und der zylindrischen Räder.

Die Kalker-Gleichungen und die experimentellen Untersuchungen von Johnson und Frederich zeigen die Abhängigkeit der Reibungskräfte von den auftretenden Längs-, Quer- und Bohrschlupfen. Dennoch ist die Heumann-Methode für die Überprüfung von Plausibilitäten sehr gut geeignet.

Für einen Bogen mit $R=150$ m kann ein $\mu=0,35$ angesetzt werden.

Da die Kraftschluss-Koeffizienten bei größeren Radien ihre Sättigung in der Regel nicht erreichen, ist eine Abminderung des (fiktiven) Reibungsbeiwertes bei größeren Radien angebracht. Dafür wurde folgende Formel vorgeschlagen:

$$\mu = \frac{25}{R} + 0,20$$

| μ | R |
|-------|------|
| 0,365 | 150 |
| 0,263 | 400 |
| 0,225 | 1000 |

Anmerkung In den vorstehenden Ausführungen werden alle Kräfte als „auf das Laufwerk wirkend“ angesetzt, entsprechend der „Kraftwirkung gegen die Bewegungsrichtung der Radaufstandspunkte“, die als Teil des Laufwerkes verstanden werden. Von der Gleisseite her betrachtet sind sowohl die Bewegungen wie auch die Kräfte in der Orientierung umgekehrt. Dies erklärt z. B. warum Metallverschiebungen an der Schienenoberseite in Richtung zur Bogenmitte hin beobachtet werden. Während an der Außenschiene das nach innen verdrückte Material durch die Spurkränze abgetragen wird, tritt dieser Effekt an der bogeninneren Seite der Innenschiene gelegentlich sehr deutlich in Erscheinung („Pilz-Bildung“).

Literatur

1. Frederich F (1970) Kraftschlussbeanspruchung am schrägrollenden Schienenfahrzeugrad. Glasers Annalen 94(2/3): 86–94
2. Frederich F (1990) Aspekte zur Spurführung. ZEV Glasers Annalen 114 (1/2): 24–29
3. Kalker J (1973) On the rolling contact of two elastic bodies in the presence of dry friction. Delft, University of Technology WTHD No 52 August 1973
4. Krugmann, H.-L. (1982) Lauf der Schienenfahrzeuge im Gleis. Verlag Oldenbourg, 1982, ISBN 3-486-26101-0
5. Scheffel H. (1974) Die Schlingerstabilität und Bogenläufigkeit der Eisenbahnfahrzeuge. Schienen der Welt, April 1974, Seite 309
6. Scheffel H. (1986) Konstruktion der Kreuzanker-Drehgestelle der Südafrikanischen Eisenbahn. ZEV Glasers Annalen 110 (1986) 6/7, 203–208
7. Joly R. (1972) Untersuchungen der Querstabilität eines Eisenbahnfahrzeuges bei hohen Geschwindigkeiten. Schienen der Welt 3/1972, Seite 168
8. Nikolin J., Nöthen J. and Krettek O. (1984) Neue Erkenntnisse zum Radsatz- und Fahrzeuglauf aus der Sicht der nichtlinearen Rechnung. ZEV Glas. Ann. 108, April 1984, Seite 101
9. Nefzger A. (1974) Geometrie der Berührung zwischen Radsatz und Gleis. Eisenbahntechnische Rundschau ETR Nr. 3, 1974, Seite 113
10. Nefzger A., Bergander B. (1985) Das Zusammenwirken von Rad und Schiene. Eisenbahntechnische Rundschau ETR 34 (1985) Heft 1/2 Seite 93
11. Frederich F. (1985) Unbekannte und ungenutzte Möglichkeiten der Rad/Schiene Spurführung. ZEV Glas. Ann. 1985 Nr. 2/3 Feb./März

-
12. Gerdsmeyer H., Michels W. and Budde U. (1982) Lauftechnische Auslegung von Hochgeschwindigkeits-Schienenfahrzeugen. Archiv für Eisenbahntechnik AET 37 (1982) Seite 5
 13. Nefzger A. (1991) Laufdynamik beim grenzüberschreitenden Hochgeschwindigkeitsverkehr. Eisenbahningenieur 42 (1991) Seite 106
 14. Moreau A. (1992) Characteristics of wheel/rail contact. Rail Engineering International, Edition 1992, No 3 Seite 15
 15. Müller R. (1995) Die Problematik der Berührungsgeometrie Rad/Schiene. ZEV Glas. Ann.119, Nr.3 März 1995 Seite 86

Ulf Gerber

Von den Gesamtkosten der Eisenbahninfrastruktur beansprucht der Eisenbahnoberbau etwa die Hälfte. Der optimale Oberbau ist derjenige, welcher die geringsten Lebenszykluskosten erzeugt. Setzt man eine einheitliche Belastung voraus, ergibt sich nur ein einziger optimaler Oberbau. Allerdings ist die Belastung der Eisenbahninfrastruktur nicht einheitlich. So wird eine hohe Belastung einen „schweren Oberbau“ und eine geringe Belastung einen „leichten Oberbau“ erfordern. Diese Anpassung des Oberbaus an die tatsächliche Belastung entspricht der Oberbauauslegung.

Die Auslegung des Oberbaus setzt die Kenntnis der äußeren Belastung voraus (siehe Abschn. 2.1). Durch die äußere Belastung wird eine innere Belastung der einzelnen Konstruktionselemente induziert (siehe Abschn. 2.2). Der Belastung der einzelnen Konstruktionselemente steht eine Belastbarkeit gegenüber (siehe Abschn. 2.3). Die Auslegung des Oberbaus entspricht der Festlegung seiner Belastbarkeit unter dem Kriterium der geringsten Lebenszykluskosten bei Einhaltung der erforderlichen Sicherheit. Diese durch ökonomische und sicherheitsrelevante Betrachtungen gestützte Auslegung wird i. d. R. in Form eines Ausrüstungsstandards zusammengefasst. (siehe Abschn. 2.4).

Das vorliegende Kapitel erläutert die kausale Kette Belastung – Belastbarkeit – Auslegung am Beispiel des Ausrüstungsstandards der DB AG.

U. Gerber (✉)
TU Dresden, 01069 Dresden, Deutschland
E-Mail: ulf.gerber@tu-dresden.de

2.1 Äußere Belastung

Unter der äußeren Belastung wird die über den Kontakt Rad–Schiene in das Gleis eingeleitete Radkraft verstanden, welche hinsichtlich ihrer drei Komponenten (vertikal, seitlich, längs) getrennt betrachtet wird.

2.1.1 Äußere Vertikalbelastung

Dynamische Radkraft in Abhängigkeit von der Stahlfestigkeit Bei Betrachtung der in Abb. 2.1 dargestellten historischen Entwicklung der statischen Radkraft und der Geschwindigkeit der mitteleuropäischen Eisenbahnen [6, S. 22] stellt sich die Frage, inwiefern der Eisenbahnoberbau an dieser Entwicklung beteiligt war.

Die dynamische Radkraft setzt sich aus der statischen Radkraft F_0 und einer dynamischen Zusatzkraft ΔF zusammen. Letztere ergibt sich aus den nutzungsbedingten Welligkeiten der Fahrzeugräder sowie der Schienenoberfläche und steigt damit proportional zum Quadrat der Geschwindigkeit an. Damit ist die dynamische Radkraft sowohl von der statischen Radkraft F_0 als auch von der Geschwindigkeit v abhängig. Für einen mittleren Instandhaltungszustand gilt näherungsweise der empirische Zusammenhang:

$$F = F_0 \cdot \left[1 + \left(\frac{v}{300} \right)^2 \right], v [\text{km/h}] \quad (2.1)$$

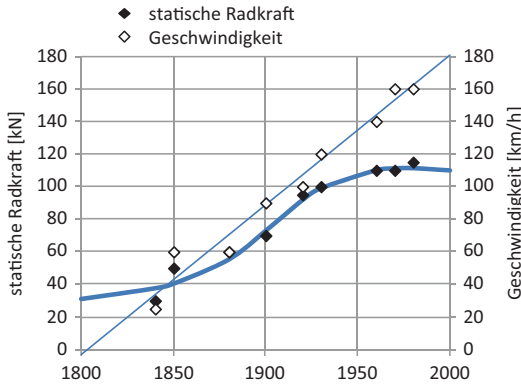


Abb. 2.1 Historische Entwicklung von statischer Radkraft und Geschwindigkeit

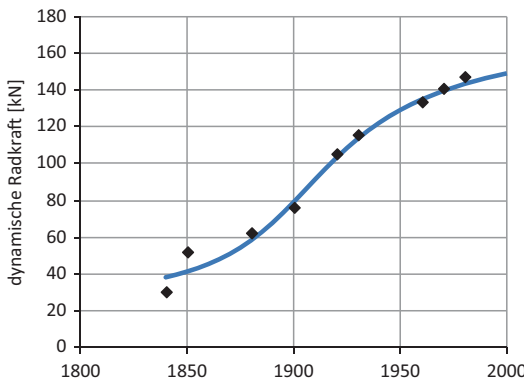


Abb. 2.2 Historische Entwicklung der dynamischen Radkraft

Die Verknüpfung der historischen Entwicklung von statischer Radkraft und Geschwindigkeit über Gl. 1 ergibt die historische Entwicklung der dynamischen Radkraft in Form der Datenpunkte in Abb. 2.2.

Die Ursache für den historischen Anstieg der zulässigen dynamischen Radkraft ist in der historischen Entwicklung der zulässigen Kontaktspannung zwischen Rad und Schiene zu suchen. Betrachtet man die Kontaktspannung als den Quotienten aus Radkraft und der Kontaktfläche Rad-Schiene, so stellt sich heraus, dass diese Kontaktfläche infolge der Abplattung von Rad und Schiene mit zunehmender Radkraft größer wird. Dies wiederum bedeutet, dass die Kontaktspannung σ_K weniger stark ansteigt als die Radkraft F . Diesen Zusammenhang hat der Physiker HEINRICH HERTZ (1857–1894) allgemein gelöst. Für die Eisenbahn gilt näherungsweise:

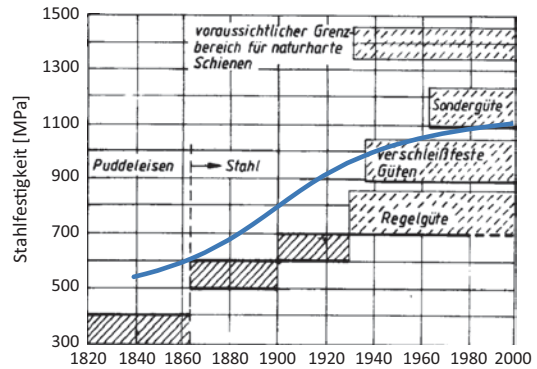


Abb. 2.3 Historische Entwicklung der Stahlfestigkeit

$$\sigma_K = 90 \cdot \sqrt{F}, \sigma_K [\text{MPa}], F [\text{kN}] \quad (2.2)$$

Wenn die Kontaktspannung σ_K die zulässige Kontaktspannung überschreitet, beginnt eine schnelle Zerstörung der Oberfläche von Rad und Schiene. Da die zulässige Kontaktspannung näherungsweise der Stahlfestigkeit von Rad und Schiene σ_B entspricht, folgt, dass die Kontaktspannung nicht größer als die Stahlfestigkeit sein darf. Aus dieser Bedingung folgt nach Gl. 2.2 die zulässige dynamische Radkraft F in Abhängigkeit von der Stahlfestigkeit σ_B :

$$F \leq \frac{\sigma_B^2}{8100}, F [\text{kN}], \sigma_B [\text{MPa}] \quad (2.3)$$

Die historische Entwicklung der dynamischen Radkraft entsprechend der Datenpunkte in Abb. 2.2 legt unter Berücksichtigung von Gl. 2.3 den Schluss nahe, dass sich diese aus der historischen Entwicklung der Stahlfestigkeit ableiten lässt. Da die dynamische Radkraft durch die Stahlfestigkeit begrenzt wird, folgt, dass für die Rad- und Schienenstähle i. d. R. die zu ihrer Zeit jeweils größten Stahlfestigkeiten benutzt wurden. Einen Überblick über die historische Entwicklung der Stahlfestigkeit gibt [2, S. 25]. Diese kann als funktionaler Zusammenhang beschrieben (Gl. 2.4) und dargestellt (Abb. 2.3) werden.

$$\sigma_B = 400 + 800 \cdot \left\{ 0,5 + \frac{1}{\pi} \cdot \left[\frac{6}{250} \cdot (T - 1900) \right] \right\}, \sigma_B [\text{MPa}] \quad (2.4)$$

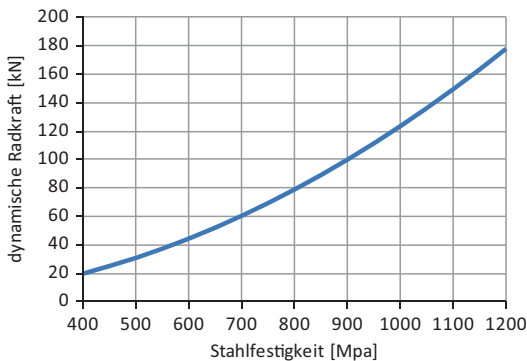


Abb. 2.4 Dynamische Radkraft in Abhängigkeit von der Stahlfestigkeit

Setzt man die funktionale historische Abhängigkeit der Stahlfestigkeit in Form von Gl. 2.4 in Gl. 2.3 ein, erhält man die funktionale zeitliche Abhängigkeit der dynamischen Radkraft. Diese ist in Abb. 2.2 als Linie eingezeichnet. Die historische Entwicklung der dynamischen Radkraft (summarische Radkraft aus statischer Radkraft und dynamischer Zusatzkraft) lässt sich damit aus der historischen Entwicklung der Stahlfestigkeit erklären. Diese durch Gl. 2.3 formulierte Abhängigkeit ist in Abb. 2.4 graphisch dargestellt.

Statische Radkraft in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit Da die dynamische Radkraft die Summe aus statischer Radkraft und geschwindigkeitsabhängiger dynamischer Zusatzkraft darstellt, ergeben sich unterschiedliche mögliche Kombinationen aus statischer Radkraft und Geschwindigkeit, die jeweils die gleiche dynamische Radkraft erzeugen. Generell gilt, dass die zulässige statische Radkraft mit zunehmender Geschwindigkeit immer kleiner wird. Dies wird deutlich, wenn man Gl. 2.1 nach der statischen Radkraft umstellt.

$$F_0 = \frac{F}{\left[1 + \left(\frac{v}{300}\right)^2\right]}, v[\text{km/h}] \quad (2.5)$$

Die zulässige dynamische Radkraft in Gl. 2.5 ist von der Stahlfestigkeit entsprechend Gl. 2.3 abhängig. Durch Einsetzen von Gl. 2.3 in Gl. 2.5 ergibt sich die zulässige statische Radkraft sowohl in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit als auch in Abhängigkeit von der Stahlfestigkeit.

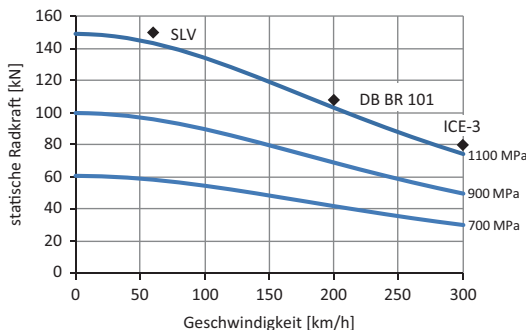


Abb. 2.5 Zulässige statische Radkraft in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit und Stahlfestigkeit

Die entsprechende graphische Darstellung enthält Abb. 2.5, und zwar für Stahlfestigkeits von 700 MPa, 900 MPa und 1100 MPa. Hieraus wird deutlich, dass eine Geschwindigkeitserhöhung durch eine Verringerung der statischen Radkräfte erkauft werden muss. Beispiele hierfür sind unterschiedliche ausgelegte Fahrzeuge einer Generation: Der ICE-3 der DB für den Hochgeschwindigkeitsverkehr bis 300 km/h, die Lokomotive der Baureihe 101 der DB für den konventionellen Verkehr bis 200 km/h oder der Schwerkraftverkehr bis 80 km/h. Für die Schiene bleibt entscheidend, dass die genannten Fahrzeuge die gleiche dynamische Radkraft erzeugen.

Streng genommen setzt sich dynamische Radkraft nicht nur aus der statischen Radkraft und der dynamischen Zusatzkraft (infolge der Welligkeit der Fahrzeugräder und der Schienenoberfläche) zusammen, sondern auch noch aus einer quasistatischen Zusatzkraft, welche sich aus der Trassierung im Aufriss bzw. aus vertikalen Gleislagefehlern ergibt. Die maximale quasistatische Zusatzkraft ergibt sich aus dem Komfortgrenzkriterium der Eisenbahn, welches besagt, dass die Beschleunigung im Wagenkasten den Grenzwert von 1 m/s² nicht überschreiten darf. Bei der Erdbeschleunigung von knapp 10 m/s² lässt das Komfortgrenzkriterium somit eine Erhöhung der statischen Radkraft um maximal 10% zu. Dies ist im Vergleich zur dynamischen Zusatzkraft gering, welche im Falle des ICE-3 entsprechend Abb. 2.5 nahezu 100% annehmen kann.

Die Bedeutung der dynamischen Zusatzkraft wirft die Frage nach Möglichkeiten zu ihrer Begrenzung auf. Dazu ist aber zunächst die

Kenntnis der quantitativen Abhängigkeit der dynamischen Zusatzkraft von den wesentlichen Einflussparametern erforderlich. Der Schwerpunkt der vorliegenden Betrachtungen ist das Gleis, so dass sich die vorliegenden Betrachtungen auf die Beeinflussung der dynamischen Zusatzkraft über die Gleiseigenschaften konzentrieren. Die Einflussparameter hierfür sind, wie im Folgenden gezeigt wird, die Geschwindigkeit, die nutzungsabhängige Wellengeometrie und die Gleissteifigkeit. Zur Verdeutlichung der Abhängigkeit der dynamischen Zusatzkraft von diesen Einflussparametern wird die relative dynamische Zusatzkraft eingeführt als Quotient der dynamischen Zusatzkraft und der dynamischen Zusatzkraft im „Normalzustand“. Unter „Normalzustand“ wird folgende Konstellation verstanden: Geschwindigkeit 160 km/h, Gleisgeometriefehler (d. h. Wellengeometrie) $0,0036 \text{ m}^{-1}$ (siehe Gl. 2.8 und 2.9), Gleissteifigkeit 100 kN/mm. Die Abhängigkeit der relativen dynamischen Zusatzkraft von den Einflussparametern wird im Folgenden in den technisch vertretbaren Grenzen variiert. Auf diese Weise werden die Möglichkeiten und Grenzen einer gleisseitigen Einflussnahme auf die dynamische Zusatzkraft deutlich.

Dynamische Zusatzkraft in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit Gleichung 2.1 unterstellt, dass die dynamische Zusatzkraft mit dem Quadrat der Geschwindigkeit anwächst. Unter Zugrundelegung einer statischen Radkraft von 100 kN folgt aus Gl. 2.1 die Geschwindigkeitsabhängigkeit der dynamischen Zusatzkraft in Form von Gl. 2.6.

$$\Delta F = 0,0011 \cdot v^2, \Delta F [\text{kN}], v [\text{km/h}] \quad (2.6)$$

Die Normierung der dynamischen Zusatzkraft auf eine Geschwindigkeit von 160 km/h liefert entsprechend Gl. 2.6 die relative Änderung der dynamischen Zusatzkraft in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit. Diese ist in Abb. 2.6 graphisch dargestellt.

$$\frac{\Delta F}{(\Delta F)_0} = \left(\frac{v}{160} \right)^2, v [\text{km/h}] \quad (2.7)$$

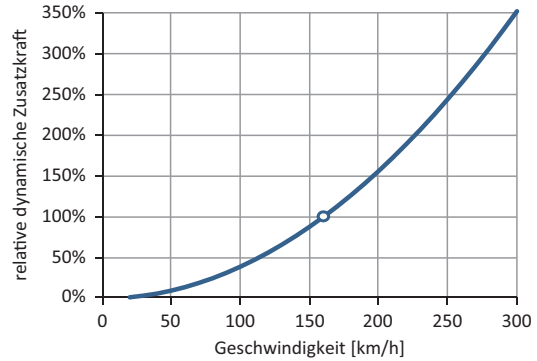


Abb. 2.6 Relative dynamische Zusatzkraft in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit

Dynamische Zusatzkraft in Abhängigkeit von der Wellengeometrie Ursache für diese Geschwindigkeitsabhängigkeit der dynamischen Zusatzkraft ist die Welligkeit der Schiene (und des Rades). Diese Welligkeit wird entsprechend Abb. 2.7 in Form einer Sinuswelle beschrieben, welche durch die beiden Parameter Wellenlänge und Wellentiefe vollständig definiert ist.

Die Wellengeometrie verursacht im Zusammenhang mit der Längsbewegung des Rades gegenüber der Schiene bei der Geschwindigkeit v eine zusätzliche Vertikalbewegung, welche eine maximale vertikale Beschleunigung \ddot{z} zwischen Rad und Gleis zur Folge hat (siehe Abb. 2.7). Das Produkt dieser Beschleunigung mit der Rad-Gleis-Ersatzmasse¹ m_{RG} ergibt wiederum eine mit dem Quadrat der Geschwindigkeit ansteigende dynamische Zusatzkraft (Gl. 2.8).

$$\Delta F = 4\pi^2 \cdot m_{\text{RG}} \cdot \left(\frac{z_{\text{A,max}}}{\lambda^2} \right) \cdot v^2 \quad (2.8)$$

Unter Zugrundelegung einer mittleren Rad-Gleis-Ersatzmasse von 100 kg folgt aus einem Koeffizientenvergleich von Gl. 2.6 und Gl. 2.7 die mittlere Wellengeometrie in Form von Gl. 2.8. Bei dieser Wellengeometrie stellt sich der empirische Zusammenhang gemäß (Gl. 2.1) ein.

$$\left(\frac{z_{\text{A,max}}}{\lambda^2} \right) \leq 0,0036 \quad (2.9)$$

¹ Die Rad-Gleis-Ersatzmasse erzeugt dieselbe Trägheitskraft wie die Gesamtheit aus vertikal beschleunigtem Rad und Gleis.

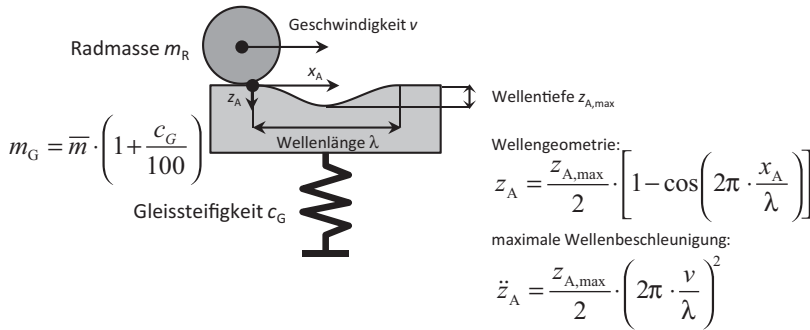


Abb. 2.7 Kinematik Rad-Schiene

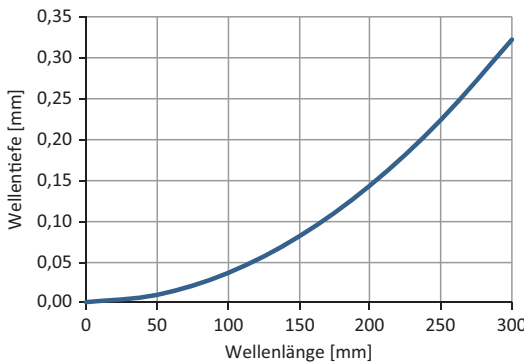


Abb. 2.8 Wellengeometrie

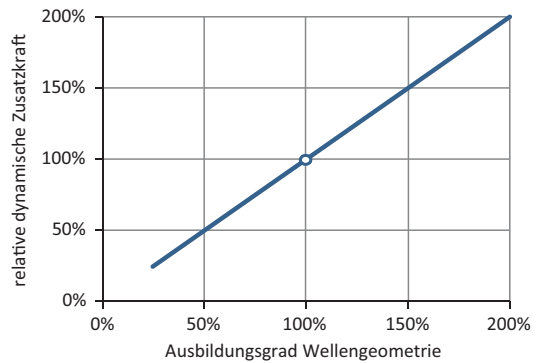


Abb. 2.9 Relative dynamische Zusatzkraft in Abhängigkeit von der Wellengeometrie

Die Wellen setzen sich aus Riffeln und Schlupfwellen zusammen. Riffeln sind das Ergebnis hoher Antriebs- und Bremsmomente, ihre Wellenlänge verhält sich proportional zur Geschwindigkeit. Schlupfwellen sind das Ergebnis von Torsionsschwingungen der Radsätze in Gleisbögen, ihre Wellenlänge verhält sich proportional zum Bogenradius. Da Geschwindigkeit und Bogenradius ständig wechseln, treten die Wellen über einem breiten Wellenlängenbereich bis zu einer Wellenlänge von etwa 300 mm auf. Aus Gl. 2.8 wird aber deutlich, dass die Wirkung der Wellentiefe nur in Abhängigkeit von der Wellenlänge beurteilbar ist. Dies macht die graphische Darstellung von Gl. 2.8 in Abb. 2.8 deutlich. Die eingetragene Linie verbindet alle Riffeln und Schlupfwellen mit der gleichen dynamischen Wirkung bis zu einer Wellenlänge von 300 mm für den durchschnittlichen Wellenausbildungsgrad.

Die Wellentiefe nimmt mit zunehmender akkumulierter Verkehrsmasse zu und wird nach Überschreitung des Grenzwertes $z_{A,max}$ durch das Schleifen der Schienen bzw. das Abdrehen der Radsätze beseitigt. Eine Verkleinerung bzw. Vergrößerung dieses Grenzwertes verkleinert bzw. vergrößert linear dazu die dynamische Zusatzkraft. Der Bezug einer beliebigen Wellengeometrie auf die mittlere Wellengeometrie nach Gl. 2.8 liefert den Einfluss der Wellengeometrie (die durch das Schleifregime bestimmt wird) auf die relative dynamische Zusatzkraft (Gl. 2.9). Dieser ist in Abb. 2.9 graphisch dargestellt.

$$\frac{\Delta F}{(\Delta F)_0} = \frac{\left(\frac{z_{A,max}}{\lambda^2} \right)}{0,0036} \quad (2.10)$$

Dynamische Zusatzkraft in Abhängigkeit von der Gleissteifigkeit Aus Gl. 2.8 wird deutlich,

dass die dynamische Zusatzkraft nicht nur von der Geschwindigkeit und der Wellengeometrie, sondern auch von der Rad-Gleis-Ersatzmasse m_{RG} abhängig ist. Das Rad-Schiene-System ermöglicht durch den direkten Kontakt Stahl-Stahl im Vergleich zum Rad-Straße-System eine große statische Radkraft und einen geringen Rollwiderstand, allerdings zum Preis einer vergleichsweise hohen dynamischen Zusatzkraft. Mit der Einführung des Hochgeschwindigkeitsverkehrs rückte die Begrenzung der dynamischen Zusatzkraft stärker in den Mittelpunkt der Betrachtungen, da diese entsprechend Gl. 2.7 mit dem Quadrat der Geschwindigkeit ansteigt. Ihre Begrenzung ist ebenfalls entsprechend Gl. 2.7 durch eine Begrenzung der Wellengeometrie oder eine Begrenzung der Rad-Gleis-Ersatzmasse möglich.

Die dynamische Zusatzkraft entspricht in erster Näherung der Massenträgheitskraft, welche sich durch die gegenseitige Beschleunigung \ddot{z}_A der ungedehnten Masse des Fahrzeuges (Radmasse m_R) und des Fahrweges (Gleismasse m_G) infolge der Welligkeit der Schiene und des Rades ergibt. Aus der Impulsbilanz folgt entsprechend Abb. 2.7 die Rad-Gleis-Ersatzmasse m_{RG} in Abhängigkeit von der Radmasse und der Gleismasse. Durch Einsetzen in Gl. 2.7 ergibt sich die dynamische Zusatzkraft in Abhängigkeit von der beschleunigten Rad- und Gleismasse, der Wellengeometrie und der Geschwindigkeit (Gl. 10).

$$\Delta F = 4\pi^2 \cdot \frac{m_G \cdot m_R}{m_G + m_R} \cdot \left(\frac{z_{A,\max}}{\lambda^2} \right) \cdot v^2 \quad (2.11)$$

Die beschleunigte Gleismasse wird vereinfacht in Abhängigkeit von der Gleissteifigkeit c_G formuliert. Nimmt die Gleissteifigkeit sehr hohe Werte an, so strebt die beschleunigte Gleismasse ebenfalls sehr hohen Werten zu. Im Ergebnis wird dem Radsatz nahezu die gesamte Bewegung übertragen und die Rad-Gleis-Ersatzmasse strebt der Radmasse m_R (genauer: der halben Radsatzmasse) zu. Nimmt die Gleissteifigkeit sehr kleine Werte an, verringert sich die beschleunigte Gleismasse zunehmend und strebt einem Grenzwert zu. Dieser Grenzwert kann in erster Näherung als die Masse von einem Meter Schiene angenommen werden. Unter Zugrundelegung eines linearen Zusammenhangs zwischen diesen beiden Ex-

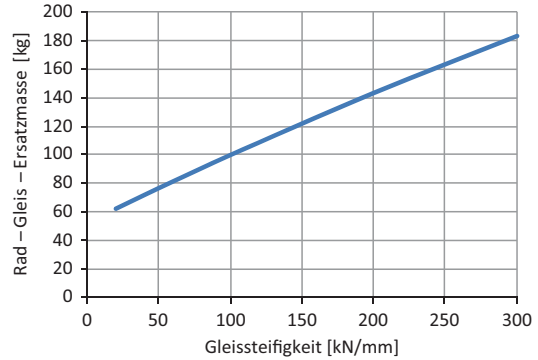


Abb. 2.10 Rad-Gleis-Ersatzmasse in Abhängigkeit von der Gleissteifigkeit

tremwerten ergibt sich die beschleunigte Gleismasse in Abhängigkeit von dem Metergewicht \bar{m} sowie der Gleissteifigkeit c_G nach Gl. 2.12.

$$m_G = \bar{m} \cdot \left(1 + \frac{c_G}{100} \right), \quad m_G [\text{kg}], \quad c_G \left[\frac{\text{kN}}{\text{mm}} \right] \quad (2.12)$$

Abbildung 2.10 zeigt unter Berücksichtigung der Gln. 2.8, 2.11 und 2.12 die Rad-Gleis-Ersatzmasse m_{RG} eines Gleises mit der Schiene S 49 (mit einem Metergewicht von 49 kg/m) in Abhängigkeit von der Gleissteifigkeit c_G .

Einsetzen von Gl. 2.12 in Gl. 2.11 und Normierung der dynamischen Zusatzkraft (auf eine dynamische Zusatzkraft bei einer Gleissteifigkeit von 100 kN/mm) liefert die relative dynamische Zusatzkraft in Abhängigkeit von der Gleissteifigkeit entsprechend Gl. 2.13.

$$\frac{\Delta F}{(\Delta F)_0} = \frac{m_G(c_G) \cdot m_R}{m_G(c_G) + m_R} \cdot \frac{1}{91}, \quad m_G [\text{kg}] \quad (2.13)$$

Abbildung 2.11 ist die graphische Darstellung von Gl. 2.13 für eine Radmasse von 1000 kg und ein Schienenmetergewicht von 50 kg/m. Sie macht die enorme Bedeutung der Gleissteifigkeit für die dynamische Belastung des Gleises deutlich.

Linienlast Die Dimensionierung des Eisenbahnoberbaus unterhalb der Schiene erfolgt auf der Grundlage der statischen Radkraft, da die dynamische Zusatzkraft infolge ihrer hohen Fre-

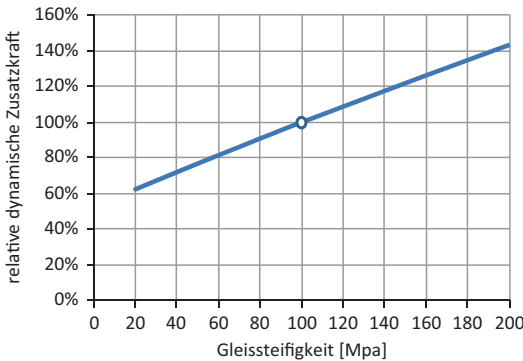


Abb. 2.11 Relative dynamische Zusatzkraft in Abhängigkeit von der Gleissteifigkeit

quenz (mehr als 50 Hz) über die Schienenmasse von der übrigen Tragkonstruktion dynamisch entkoppelt wird. Dies trifft erst recht auf tragende Bauwerke unterhalb des Eisenbahnoberbaus zu, insbesondere auf Brücken. Zur Vereinfachung der Brückenberechnungen kann die statische Radkraft F_0 in eine Linienlast q_0 umgerechnet, welche die statische Belastung durch einen Zug charakterisiert. Mit dem mittleren Achsabstand l_a innerhalb eines Zuges ergibt sich die Linienlast entsprechend Gl. 2.14:

$$q_0 = \frac{2 \cdot F_0}{l_a} \quad (2.14)$$

Der mittlere Achsabstand eines Zuges beträgt etwa 6 m (die Länge eines 2-achsigen Wagens beträgt etwa 12, die eines 4-achsigen Wagens etwa 24 m).

2.1.2 Äußere Längsbelastung

Interpretiert man die äußere Längsbelastung als jene Belastung, welche innere Schienenlängskräfte hervorruft, so besteht diese nach Abb. 2.12 aus der Schientemperatur und den Antriebskräften der Räder des beschleunigenden bzw. den Bremskräften der Räder des bremsenden Zuges.

Die Schientemperatur kann nicht kleiner als die kleinste Lufttemperatur werden, infolge der Sonnenstrahlung jedoch größer als die größte Lufttemperatur. Die Differenz zwischen der

größten und kleinsten Lufttemperatur ist bei kontinentalem Klima (bis zu 110 K in Sibirien) höher als bei maritimen Klima.

Die Bremskräfte sind vom Bremsentyp abhängig. Bei Radbremsen entspricht die durch ein Rad übertragbare Bremskraft der COULOMBSchen Reibungskraft. Diese beträgt bei einer Radkraft von 100 kN und einem Reibkoeffizienten Rad-Schiene von $\mu=0,3$ genau 30 kN. Sie wird alle 6 m (mittlerer Achsabstand eines Zuges) in Bewegungsrichtung des bremsenden Zuges in die Schiene eingeleitet. Bei den von der Radkraft unabhängigen Schienenbremsen (Magnetschienenbremse oder Wirbelstrombremse) ist die theoretisch mögliche Bremskraft noch größer. Im Normalfall wird allerdings die zulässige Bremskraft durch das Komfortkriterium der Eisenbahn, einer zulässigen Wagenkastenbeschleunigung von $a_{zul}=1 \text{ m/s}^2$, bestimmt (dies entspricht einem Zehntel der Erdbeschleunigung). Die Erfüllung des Komfortkriteriums erfordert damit die Begrenzung der zulässigen Bremskraft von Radbremsen auf ein Zehntel der Radkraft: $F_B \leq 0,1 \cdot F$. Dadurch wird nur ein Reibkoeffizient Rad-Schiene von $\mu=0,1$ in Anspruch genommen. Bei einer Radkraft von 100 kN ergibt sich eine zulässige Bremskraft von 10 kN. Bei Notbremsungen gilt diese Beschränkung nicht.

2.1.3 Äußere Seitenbelastung

Die äußere Seitenbelastung besteht aus 3 Komponenten:

1. Statische Seitenbelastung. Wesentliche Ursache der statischen Seitenbelastung ist die starre Verbindung der Räder im Radsatz. Die statische Seitenbelastung steigt mit kleiner werdendem Bogenradius an (unabhängig von der Geschwindigkeit) und erreicht bei trockener Schiene bis zu 40% der vertikalen Radkraft. Allerdings ist die Seitenkraftbilanz des Gleises ausgeglichen, d. h. die seitlichen Radkräfte der linken und rechten Schiene kompensieren sich zu Null.
2. Quasistatische Seitenbelastung. Sie ergibt sich aus der Kompensation der Zentrifugalkraft des Fahrzeuges. Hier gilt in Analogie das

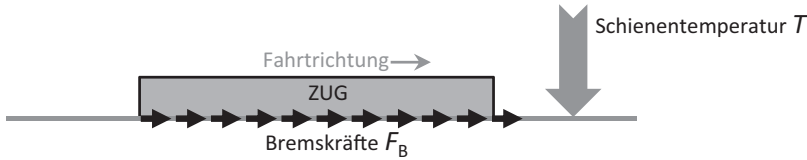


Abb. 2.12 Äußere Längsbelastung beim Bremsen

zu den Bremskräften Gesagte (Abschn. 2.1.2): Die Einhaltung des Komfortgrenzkriteriums von 1 m/s^2 Seitenbeschleunigung hat eine Beschränkung der seitlichen Radsatzkräfte auf 10% der vertikalen Radsatzkräfte zur Folge.

3. Dynamische Seitenbelastung. Der Wellenlauf der Radsätze bzw. Drehgestelle hat eine dynamische Seitenbelastung zur Folge. Unterhalb der sog. „kritischen Geschwindigkeit“ entspricht der Wellenlauf angenähert einem Sinuslauf. Die dabei auftretende dynamische Seitenbelastung ist geringer als die quasistatische Seitenbelastung. Oberhalb der kritischen Geschwindigkeit geht der Sinuslauf in einen Zickzacklauf über. Die dynamische Seitenbelastung steigt dabei beträchtlich an und übersteigt die quasistatische Seitenbelastung.

Wird die äußere Seitenbelastung zu groß, kommt es zu einer Entgleisung. Sehr stark vereinfacht kann man sagen, dass eine Entgleisung dann eintritt, wenn die seitliche Radkraft 100% der vertikalen Radkraft erreicht hat [5, S. 106 ff.]. Damit ist die Obergrenze der möglichen Seitenbelastung bekannt.

2.2 Innere Belastung

Unter der inneren Belastung wird die Belastung der einzelnen Konstruktionselemente (Schiene, Schwelle, Schienenbefestigung, Schotter) verstanden. Die innere Belastung wird durch die äußere Belastung hervorgerufen.

2.2.1 Innere Vertikalbelastung

Das Schienenbiegemoment und sein Einfluss auf das Metergewicht der Schiene In Abschn. 2.1.1 wird der Kontakt Rad–Schiene als

äußere Belastung eingeführt. Die zulässige Radkraft wird durch die zulässige Kontaktspannung Rad – Schiene begrenzt und steigt demnach mit dem Quadrat der Stahlfestigkeit von Rad und Schiene an. Die auf den Schienenstützpunkten elastisch gelagerte Schiene erfährt durch die Wirkung der Radkraft ein Biegemoment, welches Biegespannungen hervorruft. Diese Biegespannung ist das Maß für die innere Belastung der Schiene. Die Biegespannung σ ergibt sich aus dem Biegemoment M und dem Widerstandsmoment der Schiene W (Gl. 2.15).

$$\sigma = \frac{M}{W} \quad (2.15)$$

Das Widerstandsmoment der Schiene ist eine geometrische Querschnittsgröße der Schiene und für alle verfügbaren Schienenprofile bekannt. Die Berechnung des Biegemomentes erfolgt auf der Grundlage des in Abb. 2.13 dargestellten Lastabtragungsmodells.

Setzt man an Stelle des diskret elastisch gelagerten Balkens nach Abb. 2.13 zunächst einen kontinuierlich elastisch gelagerten Balken voraus (ZIMMERMANN-Balken), so erzeugt die Radkraft F in der Schiene ein „globales“ Biegemoment M , welches unter Nutzung der sog. charakteristischen Länge L des ZIMMERMANN-Balkens in Form von Gl. 2.16 beschrieben werden kann.

$$M = \frac{F \cdot L}{4} \quad (2.16)$$

Wird die Schiene hingegen lokal, d. h. zwischen den Stützpunkten betrachtet, so erzeugt die Radkraft F in der Schiene ein „lokales“ Biegemoment M_L , welches sich unter Annahme der Brückenwirkung der Schiene zwischen den Stützpunkten mit dem Stützpunktabstand a vereinfacht nach Gl. 2.17 ergibt.

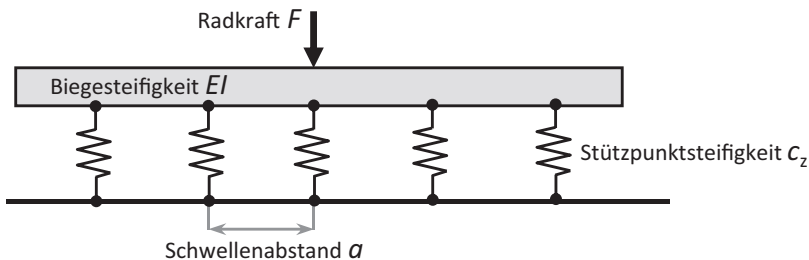


Abb. 2.13 Vertikales Lastabtragungsmodell

$$M_L = \frac{F \cdot a}{4} \tag{2.17}$$

Im Sinne einer bestmöglichen Ausnutzung der Schiene wird nun gefordert, dass das „globale“ und das „lokale“ Biegemoment gleich groß sind. Diese Forderung ist gleichbedeutend mit der Forderung, dass die charakteristische Länge des ZIMMERMANN-Balkens L gleich dem Stützpunkt- a sein soll.

Zur Vermeidung eines Schienenbruchs darf die vorhandene Biegespannung der Schiene nach Gl. 2.15 nicht größer als die zulässige Biegespannung σ_{zul} sein. Damit ergibt sich das erforderliche Widerstandsmoment der Schiene in Form von Gl. 2.18.

$$W \geq \frac{F \cdot a}{4 \cdot \sigma_{zul}} \tag{2.18}$$

Man kann voraussetzen, dass die zulässige Biegespannung σ_{zul} proportional zur Schienenfestigkeit σ_B anwächst. Des Weiteren steigt die Radkraft F entsprechend Gl. 2.3 mit dem Quadrat der Schienenfestigkeit an. Dies hat entsprechend Gl. 2.18 zur Folge, dass das erforderliche Widerstandsmoment linear mit der Schienenfestigkeit ansteigt. Gewöhnlich werden die Schienen über ihre Metermasse charakterisiert. Das Widerstandsmoment W kann in Abhängigkeit von der Metermasse \bar{m} formuliert werden: $W \sim \bar{m}^{1.5}$ [3]. Unter Berücksichtigung von Gl. 2.18 und Zugrundelegung einer maximalen Metermasse von 65 kg/m bei einer maximalen Schienenfestigkeit von 1200 MPa lässt sich die erforderliche Metermasse der Schiene in Abhängigkeit der Schienenfestigkeit in Form von Gl. 2.19 ausdrücken.

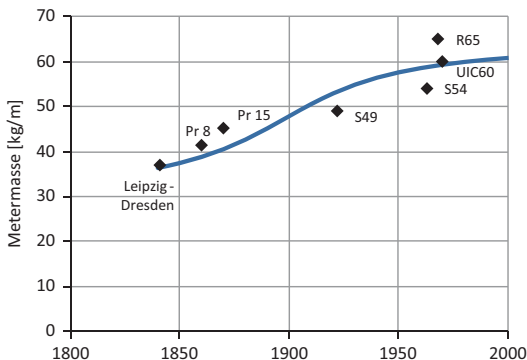


Abb. 2.14 Historische Entwicklung des Metergewichtes

$$\bar{m} \geq 65 \cdot \left(\frac{\sigma_B}{1200} \right)^{0.75}, \bar{m} \text{ in [kg/m], } \sigma_B \text{ in [MPa]} \tag{2.19}$$

Gleichung 2.19 zeigt, dass die historische Entwicklung der Metermasse der Schienen an die historische Entwicklung der Schienenfestigkeit gebunden ist. Legt man die historische Entwicklung der Schienenfestigkeit nach Gl. 2.4 zugrunde, ergibt sich die in Abb. 2.14 als Kurve dargestellte historische Entwicklung des Metergewichtes. Es wird dabei vorausgesetzt, dass die über die Stahlfestigkeit begrenzte Radkraft voll ausgeschöpft ist. Einige Beispiele von Schienenprofilen unterstreichen diesen Zusammenhang [2, S. 18].

Die Stützpunktkraft Aus dem vertikalen Lastabtragungsmodell in Abb. 2.13 ergibt sich entsprechend Gl. 2.20 die Stützpunktkraft F_S aus der Stützpunktsteifigkeit c_z und der Schieneneinsenkung z_0 .

$$F_S = c_z \cdot z_0 \tag{2.20}$$

Die Einsenkung des ZIMMERMANN-Balkens beschreibt Gl. 2.21.

$$z_0 = \frac{a \cdot F}{2 \cdot c_z \cdot L} \quad (2.21)$$

Einsetzen von Gl. 2.21 in Gl. 2.20 liefert in Form von Gl. 2.22 die Stützpunktkraft F_S in Abhängigkeit von der Radkraft F sowie dem Stützpunktabstand a und der charakteristischen Länge L .

$$F_S = \frac{a}{2 \cdot L} \cdot F \quad (2.22)$$

Die Definition der charakteristischen Länge L gibt Gl. 2.23 an. Das Produkt aus dem Elastizitätsmodul der Schiene E sowie dem Flächenträgheitsmoment der Schiene I wird als Biegesteifigkeit der Schiene EI bezeichnet. Das Flächenträgheitsmoment ist, wie das Widerstandsmoment der Schiene auch, eine geometrische Querschnittsgröße der Schiene und für alle verfügbaren Schienenprofile bekannt.

$$L = \sqrt[4]{\frac{4 \cdot E \cdot I \cdot a}{c_z}} \quad (2.23)$$

Die erforderliche Stützpunktsteifigkeit c_z ergibt sich aus der erforderlichen Gleissteifigkeit. Wie in Abschn. 2.1.1 gezeigt, hat die Gleissteifigkeit einen Einfluss auf die dynamische Zusatzkraft. Die Gleissteifigkeit c_G ist als der Quotient aus der Radkraft F und der durch sie verursachten Einsenkung des ZIMMERMANN-Balkens z_0 definiert.

$$c_G = \frac{F}{z_0} \quad (2.24)$$

Die Zusammenfassung von Gl. 2.24 und Gl. 2.21 ergibt die erforderliche Stützpunktsteifigkeit c_z in Abhängigkeit von der geforderten Gleissteifigkeit c_G in Form von Gl. 2.25.

$$c_z = \frac{c_G \cdot a}{2 \cdot L} \quad (2.25)$$

Substituiert man die charakteristische Länge in Gl. 2.25 durch Gl. 2.23, ergibt sich schließlich

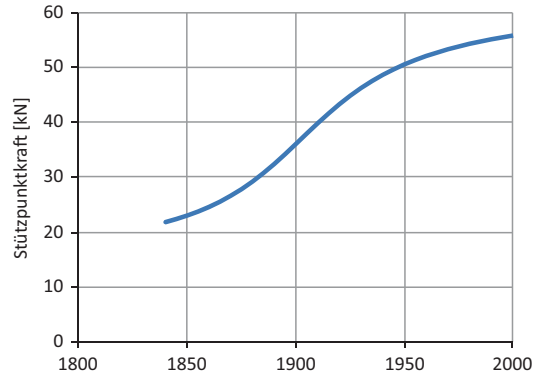


Abb. 2.15 Historische Entwicklung der Stützpunktkraft

die erforderliche Stützpunktsteifigkeit c_z in Abhängigkeit von der geforderten Gleissteifigkeit c_G in Form von Gl. 2.26. Hierbei ist zu beachten, dass die Kombination aus Schienenstahlfestigkeit und Schienenprofil bereits über das erforderliche Widerstandsmoment W zur Vermeidung eines Schienenbruchs nach Gl. 2.18 festliegt.

$$c_z = \sqrt[3]{\frac{c_G^4 \cdot a^3}{64 \cdot E \cdot I}} \quad (2.26)$$

Einsetzen von Gl. 2.26 in Gl. 2.23 liefert die charakteristische Länge in Abhängigkeit von der Biegesteifigkeit der Schiene EI und der Gleissteifigkeit c_G (Gl. 2.27).

$$L = \sqrt[3]{\frac{8 \cdot E \cdot I}{c_G}} \quad (2.27)$$

Einsetzen von Gl. 2.27 in Gl. 2.22 liefert die Stützpunktkraft F_S (Gl. 2.28).

$$F_S = \frac{F \cdot a}{4} \cdot \sqrt[3]{\frac{c_G}{E \cdot I}} \quad (2.28)$$

Das Flächenträgheitsmoment I kann über das Metergewicht formuliert werden: $I \sim m^{2,5}$, wobei die historische Entwicklung des Metergewichtes mit Gl. 2.19 bekannt ist. Die historische Entwicklung der Radkraft ist aus Abb. 2.2 ebenfalls bekannt. Abbildung 2.15 zeigt die historische Entwicklung der Stützpunktkraft nach Gl. 2.23 unter Annahme einer konstanten Gleissteifigkeit von 100 kN/mm.

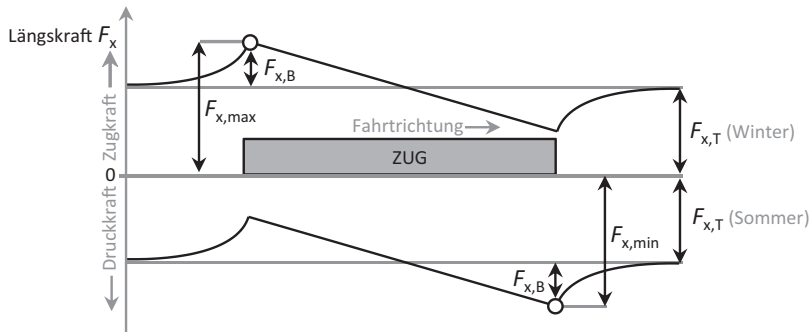


Abb. 2.16 Innere Längsbelastung

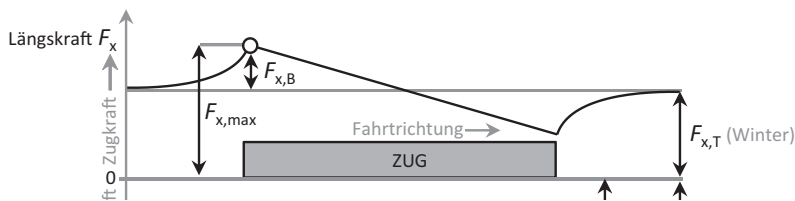


Abb. 2.17 Horizontales Lastabtragungsmodell

2.2.2 Innere Längsbelastung

Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf das lückenlose Gleis, welches seit den 1950er Jahren das Stoßlückengleis immer weiter verdrängt hat. Durch die Stoßlücken wurde gewährleistet, dass die äußere Längsbelastung eine vergleichsweise geringe innere Längsbelastung (Schienenlängskraft) erzeugt, allerdings zu Lasten einer vertikalen dynamischen Zusatzbelastung am Schienenstoß, die hohe Instandhaltungsaufwendungen zur Folge hat. Beim lückenlosen Gleis tritt die vertikale dynamische Zusatzbelastung nicht mehr auf, allerdings erzeugt die äußere Längsbelastung (Abb. 2.12) nun eine höhere Schienenlängskraft (Abb. 2.16). Die Schienenlängskraft setzt sich im Wesentlichen aus einer temperaturbedingten Längskraft $F_{x,T}$ und einer kurzzeitig örtlich wirksamen bremsbedingten Längskraft $F_{x,B}$ zusammen.

Temperaturbedingte Schienenlängskraft Die temperaturbedingte Längskraft ergibt sich aus dem Wärmeausdehnungskoeffizienten des Schienenstahls α , dem Elastizitätsmodul des Schienenstahls E sowie der Temperaturdifferenz

ΔT zwischen der vorliegenden Schienentemperatur T und der Neutraltemperatur T_0 , bei der die temperaturbedingte Schienenlängskraft Null wird (Gl. 2.29).

$$F_{x,T} = \alpha \cdot EA \cdot \Delta T \quad (2.29)$$

Bei einer Temperaturdifferenz von 90 K (Minimaltemperatur -30°C , Maximaltemperatur 60°C , Neutraltemperatur 23°C) ergibt dies bei einer Schiene 60 E2 im Winter eine Schienenzugkraft von $F_{x,T}=943\text{ kN}$ und im Sommer eine Schienen-druckkraft von $F_{x,T}=658\text{ kN}$ (Abb. 2.16).

Bremsbedingte Schienenlängskraft und Stützpunkt-kraft So wie das ZIMMERMANN-Modell (Abb. 2.13) aus der äußeren Vertikalbelastung die innere Vertikalbelastung berechnet, kann über ein analoges Modell (Abb. 2.17) aus der äußeren Längsbelastung (genauer: der äußeren Bremskräfte²) die innere Längsbelastung (bremsbe-

² Da die Antriebskräfte nicht größer als die Bremskräfte werden können, wird die Betrachtung auf die Bremskräfte beschränkt.

dingte Schienenlängskraft sowie bremsbedingte Stützpunktkraft) berechnet werden [3].

Die äußere Längsbelastung setzt sich aus den einzelnen Bremskräften F_B zusammen (Abb. 2.12). Die größte bremsbedingte Schienenzugkraft $F_{x,B}$ tritt unmittelbar hinter dem bremsenden Zug auf, die größte bremsbedingte Schienendruckkraft $F_{x,B}$ unmittelbar vor dem bremsenden Zug. Durch die Überlagerung der temperatur- und bremsbedingten Längskraft ergibt sich die größte Schienenzugkraft $F_{x,T}+F_{x,B}$ im Winter hinter dem bremsenden Zug und die größte Schienendruckkraft $F_{x,T}+F_{x,B}$ im Sommer vor dem bremsenden Zug (Abb. 2.16).

Je größer die Zuglänge l_Z , desto größer die bremsbedingte Schienenlängskraft $F_{x,B}$. Näherungsweise gilt Gl. 2.30.

$$F_{x,B} = 0,25 \cdot l_Z, F_{x,B} [\text{kN}], l_Z [\text{m}] \quad (2.30)$$

Bei einer Zuglänge von 700 m ergibt sich eine bremsbedingte Schienenlängskraft von 175 kN. Die Überlagerung mit der temperaturbedingten Schienenlängskraft von 533 kN liefert eine Schienenlängskraft von etwa 700 kN.

Die temperaturbedingte Schienenlängskraft hat bei einwandfreiem Oberbau keine Längsverformungen der Schiene zur Folge, so dass auch keine temperaturbedingten Stützpunktkräfte auftreten. Die bremsbedingte Stützpunktkraft $F_{x,S,B}$ ergibt sich auf der Grundlage des Modells nach Abb. 2.17 näherungsweise in Form von Gl. 2.31.

$$F_{x,S} = 0,015 \cdot F_{x,B} \quad (2.31)$$

Bei einer Zuglänge von 700 m ergibt sich eine bremsbedingte Schienenstützpunktkraft von 2,6 kN.

Schienenlängskräfte und Stützpunktkräfte auf Brücken Durch die Verlegung lückenloser Gleise auf Brücken entstehen infolge der temperatur- und belastungsabhängigen Brückenverformung neben den temperatur- und bremskraftbedingten Längs- und Stützpunktkräften zusätzliche Längs- und Stützpunktkräfte. Diese werden bei langen Brücken durch den Einbau von Schienenauszugsvorrichtungen auf das

zulässige Maß begrenzt. Die DB AG begrenzt die zulässige zusätzliche Schienenlängsspannung auf Brücken auf 92 MPa. Dies ergibt bei einer Schiene 60 E2 eine zusätzliche brückenbedingte Schienenlängskraft von 150 kN sowie eine zusätzliche brückenbedingte Stützpunktkraft von 2,2 kN entsprechend Gl. 22. In der Summe beträgt die bremsbedingte und brückenbedingte Stützpunktkraft 4,8 kN.

Stützpunktkraft bei Schienenbruch im Winter

Wenn im Winter ein Schienenbruch entsteht, darf zur Erhaltung der Befahrbarkeit die dabei entstehende Stoßlücke einen bestimmten Betrag nicht überschreiten. Tritt ein Schienenbruch ein, ziehen sich die beiden nunmehr freien Schienenenden um die jeweils halbe Stoßlückenlänge Δl über der sog. „atmenden Länge“ l zurück. Die atmende Länge der beiden Schienen wird durch die Forderung begrenzt, dass die Summe der Bewegungen der beiden Schienenenden nicht größer als die zulässige Stoßlückenlänge Δl werden darf. Mit dem Ausdehnungskoeffizienten α und der Temperaturdifferenz ΔT folgt die zulässige atmende Länge in Form von Gl. 2.32.

$$l \leq \frac{\Delta l}{\alpha \cdot \Delta T} \quad (2.32)$$

Die temperaturbedingte Schienenlängskraft $F_{x,T}$ (Gl. 2.29) muss an jedem Schienenende über der atmenden Länge abgebaut werden. Die Anzahl der hieran beteiligten Stützpunkte ist bei bekanntem Stützpunktstand ebenfalls bekannt. Damit ergibt sich die minimale Stützpunktkraft nach Gl. 2.33.

$$F_{x,S} \leq F_{x,T} \cdot \frac{a}{l} \quad (2.33)$$

Es wird davon ausgegangen, dass die Stoßlücke nicht größer als 19 mm werden darf. [1], S. 66. Bei einer temperaturbedingten Schienenlängskraft von 533 kN (Gl. 2.29) ergibt sich nach Gl. 2.32 eine freie atmende Länge von beidseitig jeweils 58 m. Damit entfällt auf jeden Stützpunkt eine Stützpunktkraft von 5,6 kN.

Die Überlagerung brems- und brückenbedingten Stützpunktkraft von 4,8 kN und der schienen-

bruchbedingten Längskraft von 5,6 kN liefert eine maximale Stützpunktkraft von 10,4 kN.

2.2.3 Innere Seitenbelastung

Hinsichtlich der inneren Seitenbelastung gilt Analoges wie zur inneren Vertikalbelastung. Das vertikale Lastabtragungsmodell (Abb. 2.13) lässt sich formal auf die Seitenbelastung übertragen. Allerdings ist die charakteristische Länge der seitlichen Lastabtragung (in Analogie zu Gl. 2.23) wegen der größeren Nachgiebigkeit der Schienen in Querrichtung bedeutend kleiner als die der vertikalen Lastabtragung. Dabei ist die Biegetragwirkung der Schiene vernachlässigbar. Dies hat zur Folge, dass die Querbelastung nicht in Gleislängsrichtung verteilt wird und dass deshalb einerseits das seitliche Schienenbiegemoment sehr klein ist und andererseits die seitliche Stützpunktkraft nahezu der seitlichen Radkraft entspricht.

2.3 Belastung und Belastbarkeit

2.3.1 Vertikale Belastung und Belastbarkeit

Die äußere Belastung in Form der Radkraft F tritt zyklisch auf. Jeder Zug erzeugt mit seiner Zugmasse m_{ZUG} eine bestimmte Anzahl von Lastzyklen n_{Last} (siehe Gl. 2.34).

$$n_{\text{Last}} = \frac{m_{\text{ZUG}} \cdot g}{2 \cdot F} \quad (2.34)$$

Aus der Proportionalität der Anzahl der Lastzyklen und der Zugmasse in Gl. 2.34 folgt, dass die Zugmasse als Maß für die Häufigkeit der Belastung verwendet werden kann. Es üblich, die zyklische Belastung über das Jahr normiert anzugeben. Damit ist die jährlich akkumulierte Belastung des Gleises (d. h. die Summe der Zugmassen eines Jahres) ebenfalls Ausdruck des zyklischen Charakters der Belastung. Mit anderen Worten: Die vollständige äußere Belastung setzt sich aus der Radkraft F und ihrer Häufigkeit in Form der jährlich akkumulierten Belastung B_J

zusammen. Diese Häufigkeit gilt ebenso für die innere Belastung, d. h. die Belastung der einzelnen Konstruktionsteile.

Ein Konstruktionselement unter Einwirkung einer statischen Last hält stand oder versagt. Dieser Fall hat für das Gleis mit seiner zyklischen Belastung keine Bedeutung.

Ein Konstruktionselement unter Einwirkung einer zyklischen Belastung hält stand oder versagt nach einer bestimmten Anzahl von Lastzyklen.

Auf der Grundlage von Gl. 2.34 können die jährlich akkumulierten Lastzyklen über die jährlich akkumulierte Verkehrsmasse B_J ausgedrückt werden. Die maximale ertragbare Anzahl von Lastzyklen kann damit auch über die maximal akkumulierbare Verkehrsmasse B_{max} beschrieben werden. Insbesondere in der Ökonomie wird mit dem Begriff der Lebensdauer LD operiert. Sie ergibt sich aus der jährlich akkumulierten Verkehrsmasse B_J und der maximal akkumulierbaren Verkehrsmasse B_{max} (Gl. 2.35).

$$LD = \frac{B_{\text{max}}}{B_J} \cdot LD[a], B_{\text{max}} [\text{Mt}], B_J [\text{Mt/a}] \quad (2.35)$$

Das Gleis besteht aus einer Vielzahl sich wiederholender Konstruktionselemente. Lokale Unterschiede in der Belastung und/oder Belastbarkeit führen zu lokalen Unterschieden in der Lebensdauer. Demzufolge erscheint auch der Ausfall des Gleises bzw. seiner einzelnen Konstruktionselemente – von außen betrachtet – als ein stochastischer Prozess. Dieser wird i. d. R. in Form von Defekten je Gleiskilometer quantifiziert. Abbildung 2.18 zeigt dies am Beispiel einer Untersuchung zur Ausfallwahrscheinlichkeit von Schienen in Abhängigkeit vom Schienenprofil und der akkumulierten Verkehrsmasse (bei einer bestimmten Radkraft). Dabei wird deutlich, dass sich die Lebensdauer sinnvoll nur über die Ausfallwahrscheinlichkeit festlegen lässt. Gleiches gilt für die Ausfallwahrscheinlichkeit der anderen Oberbauelemente: Die Ausfallwahrscheinlichkeit der Schienenbefestigung und der Schwellen und sogar die „Ausfallwahrscheinlichkeit“ des Schotters (als Anzahl von Überschreitungen der zulässigen Gleislage über einem Kilometer Gleis).

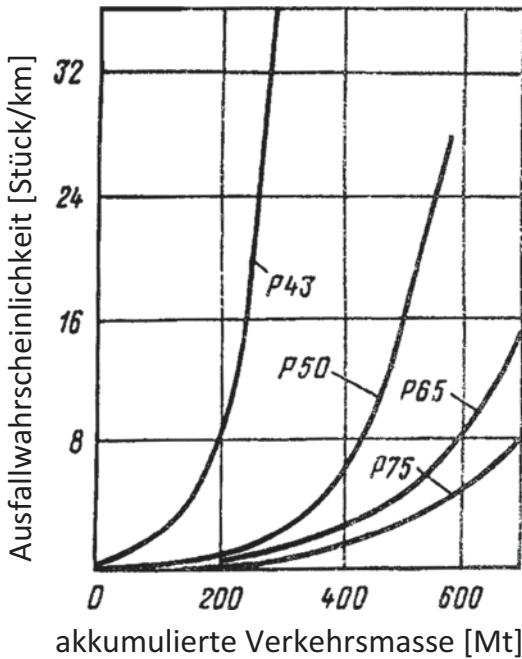


Abb. 2.18 Ausfallwahrscheinlichkeit der Schienen mit unterschiedlichem Schienenprofil

Die Frage der akzeptierten Ausfallwahrscheinlichkeit ist, abgesehen vom Sicherheitsaspekt, von ökonomischer Natur. Die nach Ausfall eines Oberbauelementes erforderliche Gleisspernung für die Reparatur hat den Ausfall von Trassen zur Folge. Je höher die Auslastung der Strecke, ausgedrückt durch die jährlich akkumulierte Belastung, desto größer auch die Anzahl ausgefallener Trassen und damit der ökonomische Schaden. In der Regel wird deshalb die jährliche Ausfallwahrscheinlichkeit der Oberbauelemente f_j [Ausfälle je Jahr] begrenzt. Dies hat zur Folge, dass mit zunehmender jährlich akkumulierter Verkehrsmasse B_j [Lasttonnen je Jahr] die akzeptierte Ausfallwahrscheinlichkeit bzgl. der akkumulierten Verkehrsmasse f_A [Ausfälle je Lasttonne] kleiner werden muss (Abb. 2.19, links). Eine Verkleinerung der Ausfallwahrscheinlichkeit f_A setzt ihrerseits eine stärkere Dimensionierung der Oberbauelemente voraus.

Schienen Ursache für die mit der akkumulierten Verkehrsmasse steigende Ausfallwahrscheinlichkeit der Schienen ist der Verschleiß V . Er ent-

spricht dem Materialabtrag am Schienenkopf und hat eine Verringerung des Widerstandsmomentes der Schiene W zur Folge. Dies wiederum hat nach Gl. 2.15 eine Erhöhung der vorhandenen Schienenbiegespannung σ zur Folge. Je geringer die Differenz zwischen der vorhandenen Schienenbiegespannung σ und der zulässigen Schienenbiegespannung σ_{zul} wird, desto mehr steigt die Ausfallwahrscheinlichkeit an. Die Verschleißintensität ist von der Schienenkopfhärte abhängig: Je größer die Schienenkopfhärte, desto geringer die Verschleißrate und damit umso größer die akkumulierte und zeitliche Lebensdauer der Schiene. Tabelle. 2.1 zeigt, dass die Schienenhärte von der Schienenfestigkeit abhängig ist. Insofern zeigt eine normale Verschleißrate von Schiene und Rädern an, dass die Grundbedingung der Kontaktpaarung Rad-Schiene entsprechend Abschn. 2.1.1 erfüllt ist, d. h. die Kontaktspannung Rad-Schiene liegt unterhalb der Festigkeit von Rad und Schiene.

Die Dimensionierung einer Schiene erfolgt im Dauerfestigkeitsbereich, d. h. entsprechend Gl. 2.18 wird das Widerstandsmoment in Abhängigkeit von der Radkraft so gewählt, dass die zulässige Schienenbiegespannung keine Biegeermüdung der Schienen hervorruft. Die Ausfallwahrscheinlichkeit neuer Schienen tendiert damit gegen Null. Erst mit fortschreitendem Verschleiß und damit schwindendem Widerstandsmoment wandert die Schienenbiegespannung vom Dauerfestigkeitsbereich in den Zeitfestigkeitsbereich. Dies hat einen maßgeblichen Anstieg der Ausfallwahrscheinlichkeit zur Folge.

Die Bestimmung der zulässigen Biegespannung am Schienenfuß σ_{zul} erfolgt mit Hilfe des Smith-Diagramms (Abb. 2.20). Die Festigkeit des Stahls σ_B ist jene Spannung, unterhalb derer das Material bei einmaliger Belastung noch nicht zerstört wird. Die Streckgrenze ist σ_S ist jene Spannung, unterhalb derer keine plastische Verformung des Materials eintritt. Die Dauerfestigkeit σ_D ist jene Spannung, unterhalb derer die Maximalspannung einer schwelenden Belastung (periodischer Wechsel zwischen der Minimalspannung Null und einer Maximalspannung) zu keiner Biegeermüdung führt (diese drei Festigkeiten sind im Spannungs-Dehnungs-Dia-

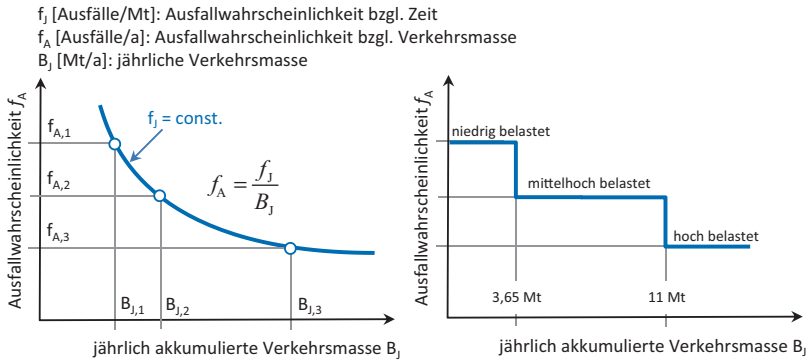


Abb. 2.19 Akzeptierte Ausfallwahrscheinlichkeit und jährlich akkumulierte Belastung

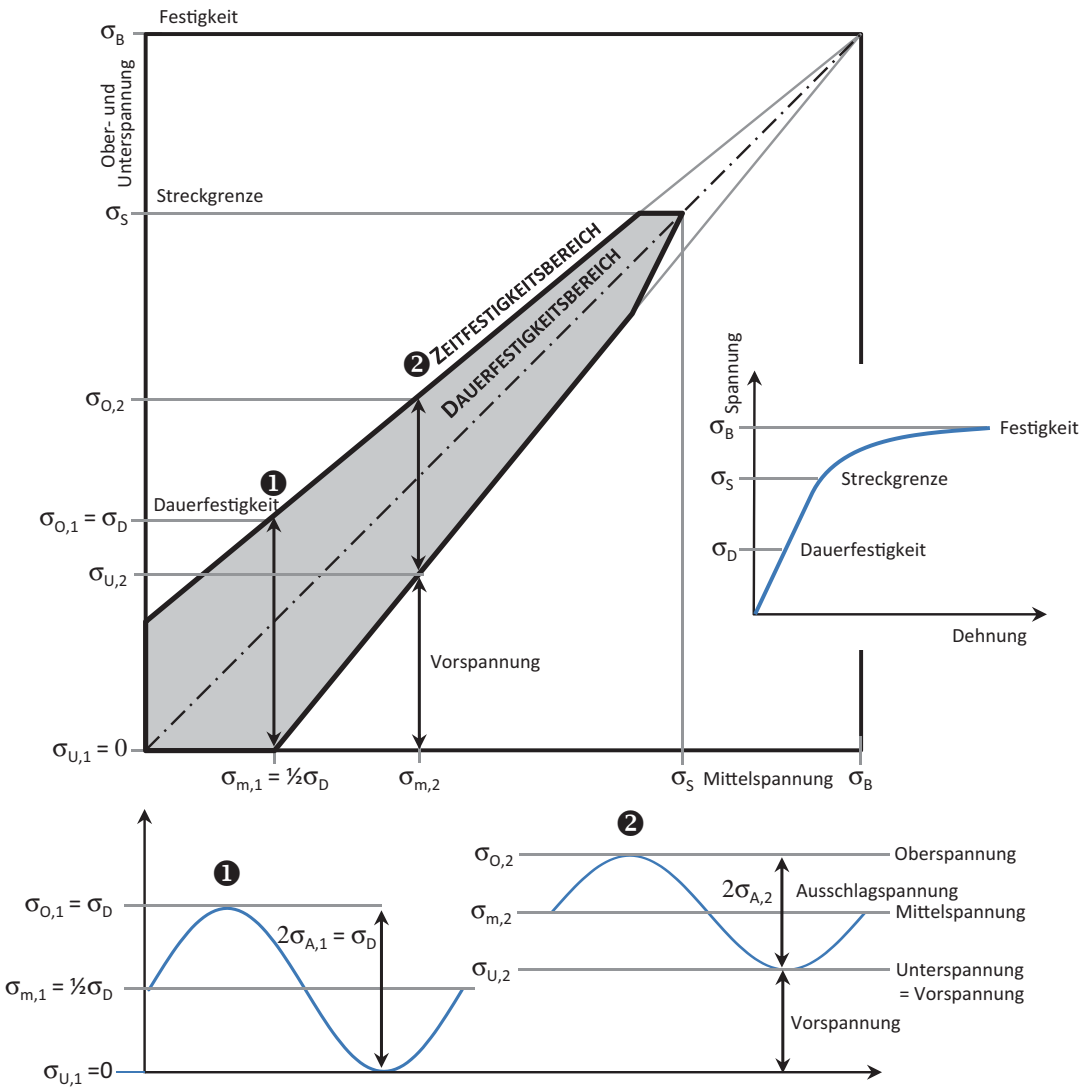


Abb. 2.20 Smith-Diagramm

Tab. 2.1 Stahlsorten

| Bezeichnung | Festigkeit [MPa] | Härte [Brinell] |
|-------------|----------------------------|-----------------|
| R 200 | 680 | 200 |
| R 220 | 780 | 220 |
| R 260 | 880 | 260 |
| R320 Cr | 1080 | 320 |
| R 350 HT | 1175 im Kopf, 880 sonst | 350 |
| R 350 LHT | 1175 | 350 |

gramm in Abb. 2.20 rechts graphisch verdeutlicht). Die Belastung einer ideal spannungsfrei gelagerten Schiene entspricht einer Schwellbelastung. Die Maximalspannung wird allein durch die Radkraft erzeugt. Ihr zulässiger Wert ist mit der Dauerfestigkeit identisch.

Die periodische Belastung der Schiene durch die fahrenden Züge wechselt zwischen der Oberspannung σ_O und der Unterspannung σ_U (ihr arithmetisches Mittel ist die Mittelspannung σ_m). Die Unterspannung der Schiene entspricht einer Vorspannung σ_V , die sich aus Eigenspannungen, Temperaturspannungen, Bremsspannungen und Brückenspannungen zusammensetzt. Das Smith-Diagramm zeigt, wie eine Erhöhung der Vorspannung die zulässige Ausschlagspannung $2 \cdot \sigma_A$ vermindert. Die Ausschlagspannung ist aber unmittelbarer Ausdruck der Radkraft. Aus der Unvermeidbarkeit der Vorspannung folgt, dass die zulässige Spannung σ_{zul} nach Gl. 2.18 der Ausschlagspannung $2 \cdot \sigma_A$ entspricht, welcher kleiner als die Dauerfestigkeit σ_D ist.

Die Verschleißrate, d. h. die Verschleißzunahme in Abhängigkeit von der akkumulierten Belastung, ist von der Härte abhängig [6, S. 92, 94]. Allerdings steht die Härte in einem direkten Zusammenhang zur Festigkeit (siehe Tab. 2.1). Damit ist die Verschleißrate auch in Abhängigkeit von der Festigkeit formulierbar.

Schwellen und Schotter Die Belastung des Schotters wird in Form der Schotterpressung σ_S ausgedrückt. Sie ist der Quotient aus der Schwellenkraft (also der doppelten Stützpunktkraft F_S) und der Schwellenfläche A_S (Gl. 2.36).

$$\sigma_S = \frac{2 \cdot F_S}{A_S} \quad (2.36)$$

Tab. 2.2 Schwellendaten für Vertikalbelastung: Auflagerfläche

| Bezeichnung | Auflagerfläche [m ²] |
|-------------|----------------------------------|
| B 70 2,4 | 0,51 (67%) |
| B 70 | 0,55 (73%) |
| B 90/B 07 | 0,76 (100%) |

Die Belastbarkeit des Schotters kann als unveränderlich betrachtet werden. Daraus folgt, dass die Instandhaltungsintervalle und damit die Lebensdauer des Schotters nur über die Belastung, d. h. die Schotterpressung gesteuert werden kann.

Bei gegebener Stützpunktkraft ist nach Gl. 2.36 eine Variation der Schotterpressung durch eine Variation der wirksamen Schwellenfläche (Auflagerfläche) möglich. Tabelle 2.2 zeigt 3 typische Schwellen mit unterschiedlicher Auflagerfläche.

Bei gegebener Schwellenfläche ist nach Gl. 2.26 eine Variation der Schotterpressung durch eine Variation der Stützpunktkraft nur dann möglich, wenn die in Abschn. 2.2.1 dargelegte Auslegung des Oberbaus nicht verändert wird. Dies wäre durch eine Änderung des Schwellenabstandes a möglich. Je geringer der Schwellenabstand, desto größer die Anzahl der Stützpunkte, auf die die Radkraft verteilt wird. Wenn die Stützpunktkraft bei einem Standardschwellenabstand von a_0 den Wert $F_{S,0}$ annimmt, so ergibt sich die Stützpunktkraft F_S in Abhängigkeit von einem beliebigen Schwellenabstand a nach Gl. 2.37.

$$F_S = F_{S,0} \cdot \frac{a}{a_0} \quad (2.37)$$

Mit dem Einsetzen von Gl. 2.37 in Gl. 2.36 ist die Abhängigkeit der Schotterpressung vom Schwellenabstand bekannt.

2.3.2 Belastung und Belastbarkeit in Längsrichtung

Schienenbruch Oberflächenrisse am Schienenkopf sind die Ursache dafür, dass die Ausfallwahrscheinlichkeit der Schienen unter einer per-



Abb. 2.21 Gleisverwerfung

manenten Schienenzugkraft (Winter) höher ist als unter einer permanenten Schienendruckkraft (Sommer). Die Überlagerung der temperatur- und bremsbedingten Schienenzugkraft erreicht im Winter hinter dem bremsenden Zug ihr Maximum $F_{x, \max}$ (Abb. 2.16). Dies hat zur Folge, dass die Ausfallwahrscheinlichkeit der Schienen – am Ende des bremsenden Zuges – im Winter höher ist als im Sommer.

Gleisverwerfung Die Überlagerung der temperatur- und bremsbedingten Schienendruckkraft erreicht im Sommer vor dem bremsenden Zug ihr Maximum $F_{x, \min}$ (Abb. 2.16). Wird eine kritische Schienenlängskraft F_{krit} überschritten, entsteht eine Gleisverwerfung. Diese äußert sich in einem plötzlichen, irreversiblen seitlichen Ausknicken des Gleisrostes (Abb. 2.21).

Die kritische Schienenlängskraft ist von 2 grundlegenden Einflussgrößen abhängig:

1. Gleiskrümmung. Es gilt: Je größer die Gleiskrümmung, desto geringer die kritische Schienenlängskraft. Die in den Gleisbögen sowie horizontalen Gleislagefehlern auftretende Gleiskrümmung ist etwa gleich groß.
2. Gleisquerverschiebewiderstand. Es gilt: Je größer der Gleisverschiebewiderstand, desto höher die kritische Schienenlängskraft. Der Gleisquerverschiebewiderstand wird durch 2 wesentliche Einflussgrößen bestimmt: Die horizontale Biegesteifigkeit des Gleisrostes sowie den Querverschiebewiderstand der Schwellen. Unmittelbar konstruktiv beeinflussbar ist der Querverschiebewiderstand der Schwellen durch eine Variation die Schwellenmasse sowie der Länge des Vor-Kopf-Schot-

Tab. 2.3 Schwellendaten für Längs- und Seitenbelastung: Masse

| Bezeichnung | Masse [kg] |
|-------------|-------------|
| B 70 2,4 | 260 (93 %) |
| B 70 | 280 (100 %) |
| B 90/B 07 | 332 (119 %) |

ters. Die Schwellenmasse (Tab. 2.3) steht allerdings in Beziehung zur Auflagerfläche der Schwellen (Tab. 2.2), welche sich vorrangig aus der vertikalen Belastung ableitet. Eine Variation der Länge des Vor-Kopf-Schotter ermöglicht hingegen eine freie Variation des Querverschiebewiderstandes ohne zusätzliche Auswirkungen.

2.3.3 Seitliche Belastung und Belastbarkeit

Die Seitenbelastung, insbesondere die aus dem Sinuslauf resultierende dynamische Seitenbelastung, kann bei Überschreitung einer kritischen Größe („Zickzacklauf“) bleibende Gleislagefehler erzeugen. Sehr deutlich wird dies in Abb. 2.22, die ein Gleis nach einem Hochgeschwindigkeitsversuch zeigt. Dabei ist deutlich zu sehen, wie sich der Sinuslauf des Rekordfahrzeuges irreversibel in Form eines seitlichen Gleislagefehlers eingepreßt hat. Dieser seitliche Gleislagefehler ist allerdings nicht mit der Gleisverwerfung in Abb. 2.21 zu verwechseln, welche zwar eine ähnliche Wellenlänge, aber eine deutlich höhere Wellenamplitude aufweist. Jedoch sind die Gleiskrümmungen infolge seitlicher Gleislagefehler wie in Abb. 2.22 so groß, dass die Gefahr einer Gleisverwerfung deutlich ansteigt. Auch deshalb wird gefordert, dass der Fahrzeuglauf keine bleibenden Gleislagefehler erzeugen darf.

Das Kriterium der kritischen Seitenbelastung im Sinne bleibender seitlicher Gleislagefehler ist der PRUD'HOMME-Grenzwert H_{\max} , welcher als jene zulässige Seitenkraft definiert ist, die ein Fahrzeug über einer Länge von 2 m in das Gleis eintragen darf. In Abhängigkeit von der Schotteroberbaubauart (ausgedrückt durch den Koeffizi-



Abb. 2.22 Gleislagefehler

enten k) und der vertikalen Radkraft F ergibt sich die kritische Seitenbelastung nach Gl. 2.38, eine auf empirischen Untersuchungen basierende Faustformel.

$$H_{\max} = k \cdot \left(10 + \frac{2 \cdot F}{3} \right), H_{\max} [\text{kN}], F [\text{kN}] \quad (2.38)$$

Der Faktor k beinhaltet den normierten Gleisverschiebewiderstand, wie er im Abschn. 2.3.2 beschrieben wird. Dies bedeutet, dass der Faktor k über die Schwellenmasse sowie die Länge des Vor-Kopf-Schotters eingestellt wird. Beim Betonschwellenoberbau beträgt der normierte Gleisverschiebewiderstand definitionsgemäß 1. Wird dieser mit einer vertikalen Radkraft von 100 kN belastet, ergibt sich eine kritische Seitenbelastung von 76 kN. In erster Näherung beträgt

damit die zulässige seitliche Radkraft 76 % der vertikalen Radkraft. Eine Entgleisung in der Geraden tritt aber entsprechend Abschn. 2.1.3 erst dann ein, wenn die seitliche Radkraft etwa 100 % der vertikalen Radkraft erreicht. Daraus folgt, dass hohe Seitenkräfte in das Gleis bleibende seitliche Gleislagefehler einleiten können, ohne dass es zu einer Entgleisung kommen muss. Genau dies ist in Abb. 2.22 eingetreten.

2.4 Belastung und Auslegung der Oberbaukomponenten

Unter Zugrundelegung einer bestimmten akzeptierten Ausfallwahrscheinlichkeit besitzt jedes Oberbauelement eine bestimmte Lebensdauer LD . Danach muss das Element erneuert werden, wobei die Anschaffungskosten K_A anfallen. Analog kann ein Element unter Voraussetzung einer bestimmten Ausfallwahrscheinlichkeit über ein Instandsetzungsintervall ΔT benutzt werden. Danach wird eine Instandsetzung erforderlich, welche die technologischen Kosten K_T verursacht. Daraus ergeben sich die Gesamtkosten des Oberbaus k_{ges} entsprechend Gl. 2.39.

$$k_{\text{ges}} = \sum \frac{K_A}{LD} + \sum \frac{K_T}{\Delta T}, k_{\text{ges}} [\text{€}/(\text{m} \cdot \text{a})], K_E, K_T [\text{€}/\text{m}], LD, \Delta T [\text{a}] \quad (2.39)$$

Eine Vergrößerung der Belastung verringert die Lebensdauern und die Instandsetzungsintervalle der Oberbauelemente. Dem kann durch den Einbau von Oberbauelementen mit erhöhter Belastbarkeit entgegengewirkt werden, allerdings erhöht das deren Anschaffungskosten. Die optimale Kombination entspricht jener, welche die geringsten Gesamtkosten nach Gl. 39 erzeugt, kalkulatorische Zinsen sind dabei vernachlässigt. Andernfalls ist der Oberbau falsch ausgelegt, d. h. er ist unter- bzw. überdimensioniert [4].

Die Auslegung des Oberbaus in Abhängigkeit von der Belastung ist aufgrund der technischen und ökonomischen Abhängigkeiten so komplex, dass sie nicht für jeden konkreten Fall durch-

geführt werden kann. Dem Bedarf nach einer Auslegungsempfehlung wird bei der DB AG durch den Ausrüstungsstandard Rechnung getragen [7 „Ausrüstungsstandard für Gleise und Weichen“]. Hierbei ist berücksichtigt, dass die Belastung aus 3 unabhängigen Komponenten besteht:

1. statische Radkraft. Jeder öffentliche Eisenbahninfrastrukturbetreiber muss jedem Eisenbahnverkehrsunternehmen Zugang zur Eisenbahninfrastruktur gewährleisten. Dies schließt eine Begrenzung der statischen Radkraft unterhalb der allgemein zugelassenen Radkraft aus. Demzufolge erscheint die statische Radkraft nicht als variable Belastungsgröße im Ausrüstungsstandard. Gleichwohl ist sie die wichtigste Belastungsgröße bei der Dimensionierung des Oberbaus. Das hat zur Folge, dass der Variationsspielraum durch die beiden übrigen Belastungsgrößen relativ klein ist – die grundlegende Dimensionierung des Oberbaus ist durch die geforderte Aufnahme der vorgegebenen statischen Radkraft bestimmt.
2. Geschwindigkeit. Die dynamische Radkraft, welche der statischen Radkraft überlagert ist, wirkt nur auf die Schienen. Aufgrund der hohen Frequenz entkoppelt die Schienenmasse die dynamische Radkraft von der statischen Radkraft unterhalb der Schiene. Der progressiv Anstieg der dynamischen Radkraft mit der Geschwindigkeit (Abschn. 2.1.1) hat damit nur einen primären Einfluss auf die Schienenauslegung. Jedoch werden die Sicherheitsanforderungen mit zunehmender Geschwindigkeit schärfer, d. h. die zulässige Ausfallwahrscheinlichkeit wird mit zunehmender Geschwindigkeit kleiner. Damit ist die Geschwindigkeit (außer für die Schiene) eine indirekte, sicherheitstheoretische Belastungskomponente.
3. Jährlich oder täglich akkumulierte Verkehrsmasse (Belastungsintensität). Die Belastungsintensität hat im Sinne der lastakkumulierten Lebensdauern bzw. der lastakkumulierten Instandsetzungsintervalle keine Bedeutung. Sie beeinflusst jedoch unmittelbar die zeitlichen Lebensdauern bzw. die zeitlichen Instandsetzungsintervalle (Abschn. 2.3.1). Die Festlegung dieser zeitlichen Lebensdauern bzw.

Instandsetzungsintervalle entspricht der Festlegung der zeitlichen Ausfallwahrscheinlichkeit f_j . Diese bestimmt aber in Kombination mit der jährlich akkumulierten Verkehrsmasse B_j die erforderliche Ausfallwahrscheinlichkeit bzgl. der akkumulierten Belastung f_A . In Abb. 2.19 ist dieser Zusammenhang dargestellt: Legt man eine bestimmte zulässigen zeitliche Ausfallwahrscheinlichkeit f_j zugrunde, so wird die akzeptierte Ausfallwahrscheinlichkeit bzgl. der akkumulierten Belastung f_A mit zunehmender Belastungsintensität immer kleiner. Mit anderen Worten: Die akzeptierte Ausfallwahrscheinlichkeit f_A steht bei vorgegebener Ausfallwahrscheinlichkeit f_j mit der Belastungsintensität B_j in einem indirekt proportionalem Verhältnis. Je größer die Belastungsintensität, desto massiver die erforderliche Auslegung der Oberbaukomponenten. In diesem Sinne ist die Belastungsintensität als eine indirekte, ökonomische Belastungskomponente zu verstehen.

Inhalt des vorliegenden Kapitels ist die Belastung des Eisenbahngleises (in Form der 3 Belastungskomponenten statische Radkraft, Geschwindigkeit und Belastungsintensität) und ihre prinzipielle Bedeutung für die Auslegung des Eisenbahnoberbaus. Die folgenden Beispiele kommentieren einige grundlegende Auswirkungen der Belastung auf die Auslegung des Eisenbahnoberbaus gemäß dem Ausrüstungsstandard der DB AG.

2.4.1 Schienen

Eine Schiene ist durch 2 Primärparameter eindeutig definiert:

1. Festigkeit (Tab. 2.4).
2. Metergewicht (Tab. 2.5).

Die Festigkeit wird erstens durch die Kontaktspannung zwischen Rad und Schiene bestimmt, die zur Verhinderung einer frühzeitigen Schienenkopfzerstörung (Schienenkopfrisse) kleiner bleiben muss als die Festigkeit (Abschn. 2.1.1). Die Festigkeit wird zweitens über die Begrenzung der vertikalen und seitlichen Verschleißrate bestimmt. Durch die Abhängigkeit der seitlichen

Tab. 2.4 Empfohlene Schienenfestigkeit in Abhängigkeit vom Bogenradius und der jährlich akkumulierten Verkehrsmasse

| | $r_B \leq 300$ m | $300 \text{ m} < r_B \leq 700$ m | $r_B > 700$ m |
|------------------------|------------------|----------------------------------|---------------|
| $B_J < 7$ Mt/a | R 260 | R 260 | R 260 |
| $7 \leq B_J < 11$ Mt/a | R 350 HT | | |
| $B_J \geq 18$ Mt/a | | R 350 HT | |

Tab. 2.5 Empfohlene Schienengeometrie in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit und der jährlich akkumulierten Verkehrsmasse (normiert auf die Metermasse)

| | $v \leq 120$ km/h | $120 < v < 160$ | $v \geq 160$ km/h |
|--------------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| $B_J < 11$ Mt/a | 49 E5 (82%) | 54 E4 (90%) | 60w E2 (100%) |
| $B_J \geq 11$ Mt/a | 54 E4 (90%) | 60 E2 (100%) | |

Verschleißrate vom Bogenradius ergibt sich eine zusätzliche Abhängigkeit der Festigkeit vom Bogenradius. Entscheidend ist, dass die Wahl der Festigkeit über den Kontakt Rad – Schiene, also die Radkraft, bestimmt wird. Der Ausrüstungsstandard der DB AG empfiehlt 2 Festigkeiten (Tab. 2.4) von 6 möglichen Festigkeiten (Tab. 2.1) in Abhängigkeit vom Bogenradius r_B und der jährlich akkumulierten Verkehrsmasse B_J .

Die Schienengeometrie wird durch die Auslegung der Schienenbiegung im Dauerfestigkeitsbereich (bei gegebener Festigkeit!) bestimmt (Abschn. 2.3.1). Dabei wird berücksichtigt, dass der dynamische Anteil der Radkraft mit der Geschwindigkeit ansteigt (Abschn. 2.1.1). Tabelle 2.5 gibt das empfohlene Metergewicht in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit v und der jährlich akkumulierten Verkehrsmasse B_J in Anlehnung an den Ausrüstungsstandard der DB AG an. Die Auswahl beschränkt sich auf drei Standardprofile.

Mit 2 Festigkeiten und 3 Standardprofilen orientiert der Ausrüstungsstandard der DB AG auf 5 Schientypen (das Schienenprofil 49 E5 wird nur in der Güte R260 verwendet) in Abhängigkeit von der jährlich akkumulierten Verkehrsmasse, dem Bogenradius und der Geschwindigkeit.

2.4.2 Schienenbefestigung

Die Schienenbefestigung stellt die Verbindung zwischen Schiene und Schwelle her. Dabei muss sie folgende Lastabtragungsfunktionen übernehmen.

1. Vertikalbelastung: Übertragung der vertikalen Stützpunktkraft von etwa 50 kN von der Schiene in die Schwelle bei Gewährleistung einer variablen Stützpunktsteifigkeit zur Einstellung der erforderlichen Gleissteifigkeit. Eine Überschreitung der erforderlichen Gleissteifigkeit hat eine Überschreitung der zulässigen dynamischen Radkraft zur Folge. Je geringer die erforderliche Stützpunktsteifigkeit mit zunehmender Geschwindigkeit wird, desto größer wird die vertikale Relativbewegung zwischen Schiene und Schwelle. Je größer diese Relativbewegung wird, desto größer wird die erforderliche Dauerfestigkeit der Schienenbefestigung. Der Ausrüstungsstandard der DB AG unterscheidet zwischen drei wesentlichen Schienenbefestigungen, die alle der Schienenbefestigungsfamilie W entstammen: W 3 (statische Steifigkeit $c_{\text{stat}} > 500$ kN/mm), W 14 (statische Steifigkeit $60 \text{ kN/mm} \leq c_{\text{stat}} < 500$ kN/mm) und W 21 (statische Steifigkeit $40 \text{ kN/mm} \leq c_{\text{stat}} < 60$ kN/mm).
2. Längsbelastung: Übertragung der Stützpunktkraft in Längsrichtung von etwa 10 kN über Reibung in die Schwelle, welche die *zulässige* Stützpunktkraft in Längsrichtung (Durchschubwiderstand) nicht übersteigen darf. Eine Verringerung des Durchschubwiderstandes hätte eine Zunahme der bremsbedingten Schienenlängskraft und damit eine erhöhte Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer Gleisverwerfung im Sommer zur Folge. Eine Verringerung des Durchschubwiderstandes hätte außerdem eine Zunahme der Bruchlücke

Tab. 2.6 Empfohlene Kombination Schwelle – Schienenbefestigung in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit und der jährlich akkumulierten Verkehrsmasse

| | $v \leq 120$ km/h | $120 < v \leq 230$ | $v > 230$ km/h |
|--------------------------------------|---------------------------|--------------------|----------------|
| $B_J < 3,65$ Mt/a | B 70-2,4 W 3 oder W 14 | – | – |
| $3,65 \text{ Mt} \leq B_J < 11$ Mt/a | B 70-2,4 W 3 oder W 14 | B 07 | B 07 |
| $B_J \geq 11$ Mt/a | B 70 W 3 oder W 14 | W 14 | W 21 |

im Falle eines Schienenbruchs im Winter zur Folge und damit eine Erhöhung der Entgleisungsgefahr. Einzig im Bereich von Brücken ist abschnittsweise aus konstruktiven Gründen eine Schienenbefestigung mit reduziertem Durchschubwiderstand zulässig.

3. Seitenbelastung. Übertragung der Stützpunktkraft in Seitenrichtung von etwa 75 kN (gemittelt über eine Länge von 2 m) in die Schwelle. Gemeinsam mit der Forderung nach einer minimalen kritische Schienenlängskraft von $2 \times 700 \text{ kN} = 1400 \text{ kN}$ (zur Vermeidung einer Gleisverwerfung im Sommer) ergibt sich ein erforderlicher Gleisverschiebewiderstand, welcher neben dem Querverschiebewiderstand der Schwellen von der horizontalen Biegesteifigkeit des Gleisrostes beeinflusst wird. Die horizontale Biegesteifigkeit des Gleisrostes wiederum wird maßgeblich durch den Verdrehwiderstand bestimmt, welchen die Schienenbefestigung bei einer seitlichen Gleisrostbelastung aufbaut.

Die geometrische Kompatibilität zu den schmalfüßigen Schienen 49 E5 und 54 E4 (125 mm Schienenfußbreite) und der breitfüßigen Schiene 60 E2 (150 mm Schienenfußbreite) ist innerhalb der Schienenbefestigungsfamilie W gewährleistet.

Die Wahl der Schienenbefestigung aus der Schienenbefestigungsfamilie W definiert der Ausrüstungsstandard der DB AG in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit und der jährlich akkumulierten Verkehrsmasse (Tab. 2.6).

2.4.3 Schwellen

Die folgenden Ausführungen beziehen sich ausschließlich auf Betonschwellen, weil Stahl- und

Holzschwellen nur unter besonderen Einsatzbedingungen verwendet werden. Betonschwellen sind durch zwei maßgebliche Kennwerte charakterisiert: Die Auflagerfläche (Tab. 2.2) und die Masse (Tab. 2.3). Beide sind über die Schwellengeometrie miteinander verbunden, so dass eine Erhöhung der Auflagerfläche mit einer Erhöhung der Masse verbunden ist. Eine Erhöhung der Auflagerfläche hat eine Verringerung der Schotterpressung und damit eine Verlängerung der Schotterlebensdauer zur Folge³. Eine Erhöhung der Schwellenmasse hat eine Vergrößerung des Querverschiebewiderstandes und damit eine Verringerung der erforderlichen Vor-Kopf-Länge des Schotters zur Folge. In Anlehnung an den Ausrüstungsstandard wird entsprechend Tab. 2.6 zwischen drei Betonschwellentypen unterscheiden (B 70-2,4 – Kurzschwelle einer Länge von 2,40 m, B 70 – Standardschwelle einer Länge von 2,60 m, B 07 – Breitschwelle einer Länge von 2,60 m), welche in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit und der jährlich akkumulierten Verkehrsmasse in Kombination mit drei Schienenbefestigungstypen (W 3, W 14, W 21 entsprechend Abschn. 2.4.2) eingesetzt werden.

Der Ausrüstungsstandard lässt neben der Variation des Schwellentyps auch eine Variation des Schwellenabstandes entsprechend Tab. 2.7 zu.

Durch die Normierung der Schwellenaullagerfläche (Tab. 2.2) und der Schwellenmasse (Tab. 2.3) auf den Schwellenabstand erhält man die spezifische Schwellenaullagerfläche sowie die spezifische Schwellenmasse. Die Schwelle B70 mit einer Auflagerfläche von $0,55 \text{ m}^2$ erzeugt bei einem Schwellenabstand von 0,6 m

³ Die Schotterpressung ließe sich durch eine Schwellenbesohlung noch weiter verringern.

Tab. 2.7 Empfohlener Schwellenabstand in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit und der jährlich akkumulierten Verkehrsmasse

| | $v \leq 120$ km/h | $v > 120$ km/h |
|--------------------------------------|-------------------|----------------|
| $B_J < 3,65$ Mt/a | 0,67 m | – |
| $3,65 \text{ Mt} \leq B_J < 11$ Mt/a | 0,63 m | 0,6 m |
| $B_J \geq 11$ Mt/a | 0,6 m | |

eine spezifische Schwellenauflegerfläche von $0,92 \text{ m}^2/\text{m}$. Eine Erhöhung des Schwellenabstandes auf $0,67 \text{ m}$ verringert die spezifische Schwellenauflegerfläche auf $0,82 \text{ m}^2/\text{m}$, also um 11 %. Dies wiederum hat eine Erhöhung der Kontaktspannung Schwellen – Schotter um 11 % zur Folge. Bei einer Schwellenbreite von $0,3 \text{ m}$ ergibt sich der minimale Schwellenabstand ebenfalls zu $0,3 \text{ m}$. Damit beträgt die größtmögliche spezifische Schwellenauflegerfläche von $1,84 \text{ m}^2/\text{m}$. Dies wiederum hätte bei einer Verdopplung der Schwellenanzahl eine Halbierung der Kontaktspannung Schwellen – Schotter zur Folge. Die sich aus dem Ausrüstungsstandard der DB AG ergebende spezifische Schwellenfläche unter Berücksichtigung des Schwellentyps (Tab. 2.6) und des Schwellenabstands (Tab. 2.7) ist in Tab. 2.9 dargestellt.

Analoges gilt für die spezifische Schwellenmasse, welche einen unmittelbaren Einfluss auf den Gleisverschiebewiderstand und damit die Ausfallwahrscheinlichkeit des Gleises gegenüber einer Gleisverwerfung hat. Außerdem kann man in erster Näherung von einer Proportionalität

zwischen spezifischer Schwellenmasse und Schwellenkosten ausgehen. Die Schwellen B70 liefert bei einem Schwellenabstand von $0,6 \text{ m}$ eine spezifische Schwellenmasse von 505 kg/m . Eine Vergrößerung des Schwellenabstandes auf $0,67 \text{ m}$ hat eine Verringerung der spezifischen Schwellenmasse auf 452 kg/m zur Folge, also eine Verringerung um 11 %. Bei einem minimalen Schwellenabstand von $0,3 \text{ m}$ ergibt sich eine Verdopplung der spezifischen Schwellenmasse auf 1010 kg/m . Die sich aus dem Ausrüstungsstandard der DB AG ergebende spezifische Schwellenmasse in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit und der jährlich akkumulierten Verkehrsmasse ist in Tab. 2.9 dargestellt.

2.4.4 Schotter

Die Aufgabe der Bettung besteht in der Begrenzung der Kontaktspannung Schotter – Unterbau. Bei gegebenen Stützpunktkräften (Schwellenkraften) kann diese Kontaktspannung Schotter – Unterbau nur über eine Anpassung der Bettungsdicke gesteuert werden. Der Ausrüstungsstandard der DB definiert die Bettungsdicke (Abstand zwischen der Unterseite der Schwellen und dem Planum als der Oberseite des Unterbaus) in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit (Tab. 2.10).

Die grundsätzliche Auslegung des Oberbaus, darunter auch die Festlegung von Schwellentyp und Schwellenabstand, wird vorwiegend durch die Vertikalbelastung bestimmt. Dies hat auch

Tab. 2.8 spezifische Schwellenfläche in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit und der jährlich akkumulierten Verkehrsmasse

| | $v \leq 120$ km/h | $120 < v \leq 230$ | $v > 230$ km/h |
|--------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| $B_J < 3,65$ Mt/a | $0,76 \text{ m}^2/\text{m}$ (60 %) | – | – |
| $3,65 \text{ Mt} \leq B_J < 11$ Mt/a | $0,81 \text{ m}^2/\text{m}$ (64 %) | $0,92 \text{ m}^2/\text{m}$ (73 %) | $1,26 \text{ m}^2/\text{m}$ (100 %) |
| $B_J \geq 11$ Mt/a | $0,92 \text{ m}^2/\text{m}$ (73 %) | | |

Tab. 2.9 spezifische Schwellenmasse in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit und der jährlich akkumulierten Verkehrsmasse

| | $v \leq 120$ km/h | $120 < v \leq 230$ | $v > 230$ km/h |
|--------------------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|
| $B_J < 3,65$ Mt/a | 417 kg/m (75 %) | – | – |
| $3,65 \text{ Mt} \leq B_J < 11$ Mt/a | 444 kg/m (80 %) | 505 kg/m (91 %) | 553 kg/m (100 %) |
| $B_J \geq 11$ Mt/a | 505 kg/m (91 %) | | |

Tab. 2.10 Empfohlene Bettungsdicke in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit und der jährlich akkumulierten Verkehrsmasse

| | $v \leq 120$ km/h | $v \leq 230$ km/h | $v > 230$ km/h |
|------------------------|-------------------|-------------------|----------------|
| $B_j \leq 3,65$ Mt/a | 0,20 m | – | – |
| $3,65 < B_j < 11$ Mt/a | 0,30 m | 0,30 m | 0,35 m |
| $B_j \geq 11$ Mt/a | | | |

Tab. 2.11 Empfohlene Länge des Vor-Kopf-Schotters

| $v \leq 160$ km/h | $v > 160$ km/h |
|-------------------|----------------|
| 0,4 m | 0,5 m |

Tab. 2.12 Empfohlene Schotterquerschnittsfläche

| $v \leq 120$ km/h | $120 < v \leq 230$ | $v > 230$ km/h |
|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| 1,22 m ² /m (65 %) | 1,24 m ² /m (67 %) | 1,86 m ² /m (100 %) |

eine entsprechende Änderung des Gleisverschiebewiderstandes zur Folge. Dieser wird über die Länge des Vor-Kopf-Schotters nachjustiert. Der Ausrüstungsstandard der DB AG definiert die Länge des Vor-Kopf-Schotters in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit (Tab. 2.11).

Das spezifische, d. h. längenbezogene Schottervolumen ist proportional zur Schotterquerschnittsfläche. Dieses kann in Abhängigkeit von der Schwellenlänge (2,4 oder 2,6 m), der Bettungsdicke (Tab. 2.10), der Länge des Vor-Kopf-Schotters (Tab. 2.11) sowie dem geschwindigkeitsabhängigen Gleisabstand (4,00 m für $v \leq 200$ km/h und 4,50 m für $v > 200$ km/h) formuliert werden. Daraus resultiert die sich aus dem Ausrüstungsstandard der DB AG ergebende geschwindigkeitsabhängige Schotterquerschnittsfläche (Tab. 2.12, bezogen auf ein Gleis mit einer jährlich akkumulierten Verkehrsmasse $> 3,65$ Mt/a).

multierte Verkehrsmasse hingegen beeinflusst im Ausrüstungsstandard der der DB AG nur die Auslegung der Schienen und Schwellen, jedoch nicht jedoch die Auslegung des Schotters. Damit erscheint die Geschwindigkeit als die wichtigste Einflussgröße der Oberbauauslegung.

Die folgende Abschätzung der Anschaffungskosten des Eisenbahnoberbaus in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit basiert auf zwei Annahmen:

1. Die Anschaffungskosten verteilen sich zu je einem Drittel auf die Schienen, die Schwellen (mit Schienenbefestigung) und den Schotter.
2. Die Anschaffungskosten der Schienen sind proportional zum Schienenmetergewicht, die Anschaffungskosten der Schwellen sind proportional zur spezifischen Schwellenmasse (Tab. 2.9) und die Anschaffungskosten des Schotters sind proportional zur Schotterquerschnittsfläche (Tab. 2.12).

Verglichen werden nun 3 Oberbaukonfigurationen, wie sie sich aus dem Ausrüstungsstandard der DB AG für 3 unterschiedliche Geschwindigkeiten (80, 160 und 230 km/h) bei einer jährlich akkumulierten Verkehrsmasse von weniger als 11 Mt/a ergeben.

1. S80: Geschwindigkeit 80 km/h, Schiene 49 E5, Schwelle B 70–2,4 mit Schienenbefestigung W3 im Schwellenabstand von 0,67 m, Bettungsdicke 0,3 m, Vor-Kopf-Schotter 0,4 m. Die Anschaffungskosten betragen 74 % (bezogen auf die Variante S 230)
2. S160: Geschwindigkeit 160 km/h, Schiene 54 E4, Schwelle B 70 mit Schienenbefestigung W14 im Schwellenabstand von 0,60 m, Bettungsdicke 0,3 m, Vor-Kopf-Schotter

2.5 Belastung und Anschaffungskosten des Eisenbahnoberbaus

Aus Abschn. 2.4 wird deutlich, dass der Ausrüstungsstandard der DB AG die Auslegung der Oberbaukomponenten unabhängig von der statischen Radkraft vorschreibt. Dies ist auf den Anspruch einer allgemeinen Befahrbarkeit des Gleises mit einer statischen Radkraft von 100 kN bei einer Geschwindigkeit von 160 km/h zurückzuführen.

Abschnitte 2.4 macht weiterhin die Geschwindigkeitsabhängigkeit der Auslegung *aller* Oberbaukomponenten deutlich. Die jährlich akku-

0,4 m. Die Anschaffungskosten betragen 83 % (bezogen auf die Variante S 230)

- S230: Geschwindigkeit 230 km/h, Schiene 60 E2, Schwelle B 07 mit Schienenbefestigung W21 im Schwellenabstand von 0,60 m, Bettungsdicke 0,4 m, Vor-Kopf-Schotter 0,5 m. Die Anschaffungskosten betragen in dieser Variante 100 %.

Der Anstieg der Anschaffungskosten mit der Geschwindigkeit ist in Abb. 2.23 graphisch verdeutlicht. Bei einer weiteren Anhebung der Geschwindigkeit stellt sich zunehmend die Frage der Substitution des Schotteroberbaus durch die Feste Fahrbahn, was eine wesentliche Erhöhung der Anschaffungskosten zur Folge hätte.

Interessant ist der Vergleich mit dem Trassenpreissystem der DB AG. [8] Entsprechend der geschwindigkeitsabhängigen Fernstrecken-kategorien (F5: ≤ 120 km/h; F4: ≤ 160 km/h; F2: ≤ 200 km/h; F1 ≤ 280 km/h) steigt der Trassenpreis als Ausdruck der gesamten Infrastrukturkosten ebenfalls mit der Geschwindigkeit an (Abb. 2.23). Eine weitere Anhebung der Geschwindigkeit auf der Fernstrecken-kategorie Fplus ($v > 280$ km/h) hat eine Verdoppelung des Trassenpreises im Vergleich zur Fernstrecken-kategorie F1 zur Folge.

Abbildung 2.23 macht deutlich, dass die Anschaffungskosten des Eisenbahnoberbaus vordergründig von der Geschwindigkeit abhängig sind. Dabei kann man zwischen 3 Geschwindigkeits-bereichen unterscheiden:

- $v \leq 80$ km/h. Die Geschwindigkeitsabhängigkeit der Anschaffungskosten ist vernachlässigbar, da die dynamische Radkraft im Vergleich zur statischen Radkraft vernachlässigbar ist.
- $80 < v \leq 230$ km/h. Die Anschaffungskosten steigen innerhalb dieses Geschwindigkeitsbereiches um etwa 25 % an. Diese vergleichsweise geringe Geschwindigkeitsabhängigkeit ergibt sich aus dem Umstand, dass das grundsätzliche Konstruktionsprinzip des Eisenbahnoberbaus (Schotteroberbau) nicht geändert wird.
- $v > 230$ km/h. Die Anschaffungskosten steigen innerhalb dieses Geschwindigkeitsbereiches (bis 300 km/h) um etwa 100 % an. Die Ursache hierfür ist der Übergang zu einem neuen

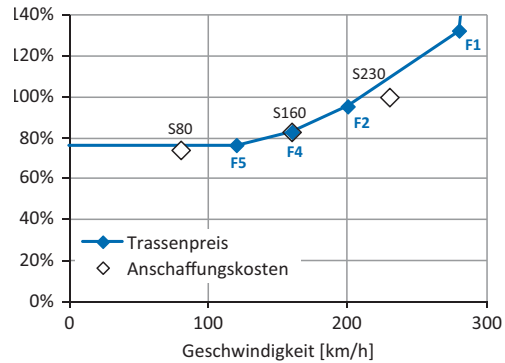


Abb. 2.23 Anschaffungskosten in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit

Konstruktionsprinzip des Eisenbahnoberbaus (Feste Fahrbahn).

Neben der Geschwindigkeitsabhängigkeit der Anschaffungskosten existiert natürlich auch eine Abhängigkeit der Anschaffungskosten von der statischen Radkraft. Dass diese Abhängigkeit beim Ausrüstungsstandard der DB AG nicht erscheint, ist dem bereits erwähnten Anspruch einer Befahrbarkeit durch alle gängigen Schienenfahrzeuge geschuldet. Die Auslegungsbandbreite des Schotteroberbaus wird bei Aufhebung dieses Anspruchs sofort größer. Beispiele hierfür sind der Straßenbahnoberbau und der Eisenbahnoberbau für den Schwerlastverkehr.

2.6 Zusammenfassung

Die äußere Belastung des Eisenbahnoberbaus (Abschn. 2.1) entspricht der Radkraft. Die zulässige Radkraft wird durch die Festigkeit von Rad und Schiene begrenzt. Die aktuelle Stahlfestigkeit ermöglicht eine vertikale Radkraft von etwa 170 kN. Diese setzt sich aus einem statischen und einem geschwindigkeitsabhängigem Anteil zusammen. Bei der DB AG beträgt der statische Anteil im Mittel etwa 100 kN und der geschwindigkeitsabhängige Anteil etwa 70 kN. Die historische Entwicklung des Eisenbahnoberbaus und darauf aufbauend der statischen Radkraft und der Höchstgeschwindigkeit als Qualitätsmerkmale des Schienenverkehrs lassen sich aus der historischen Entwicklung der Stahlfestigkeit ableiten.

Die innere Belastung des Eisenbahnoberbaus (Abschn. 2.2) wird durch die äußere statische Belastung hervorgerufen. Die innere Belastung ist maßgeblich für die Belastung der Komponenten des Eisenbahnoberbaus. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Summe aus statischer und geschwindigkeitsabhängiger Radkraft die innere Belastung der Schiene erzeugt, während die innere Belastung der übrigen Oberbaukomponenten allein durch die statische Radkraft hervorgerufen wird. Ursache hierfür ist die hohe Frequenz der geschwindigkeitsabhängigen Radkraft. Dies bedeutet, dass bei der DB AG die innere Belastung der Schiene aus einer Radkraft von 170 kN resultiert, die innere Belastung der übrigen Komponenten aus einer Radkraft von 100 kN.

Die Belastbarkeit der Komponenten des Eisenbahnoberbaus (Abschn. 2.3) wird letztlich durch ihre akzeptierten Ausfallwahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von der inneren Belastung beschrieben. Bei der ingenieurtechnischen Auslegung des Oberbaus wird die Belastbarkeit der einzelnen Oberbaukomponenten ihrer inneren Belastung gegenübergestellt. Der Oberbau ist aus dieser Sichtweise dann richtig dimensioniert, wenn die geforderte Ausfallwahrscheinlichkeit erreicht wird. Damit wird die ingenieurtechnische Auslegung des Oberbaus hauptsächlich durch die statische Radkraft bestimmt. Mit dem Anspruch einer allgemeingültigen statischen Radkraft (z. B. von 100 kN bei der DB AG) würde die ingenieurtechnische Auslegung stets zu dem gleichen Ergebnis führen (mit Ausnahme der Schienen). Eine Geschwindigkeitsabhängigkeit ließe sich – abgesehen von sicherheitstheoretischen Überlegungen – nicht ableiten. Die Ausfallwahrscheinlichkeit im ingenieurtechnischen Sinne definiert sich in Abhängigkeit von der akkumulierten Verkehrsmasse, die Ausfallwahrscheinlichkeit im ökonomischen Sinne definiert sich in Abhängigkeit von der Zeit. Akkumulierte Verkehrsmasse und Zeit sind durch die jährliche akkumulierte Verkehrsmasse miteinander verknüpft. Damit ist die die jährlich akkumulierte Verkehrsmasse im ingenieurtechnischen Sinne keine Belastungsgröße, im ökonomischen Sinne aber ist sie es.

Die moderne Auslegung der Oberbaukomponenten (Abschn. 2.4) erfolgt auf der Grundlage einer technisch – ökonomischen Betrachtung (mit dem Ziel einer Kostenminimierung) unter Berücksichtigung der erforderlichen Sicherheitsanforderungen (definiert durch die staatlichen Aufsichtsbehörden). Die durch den Eisenbahnoberbau erzeugten Gesamtkosten setzen sich aus den Erneuerungs- und Instandhaltungskosten zusammen. Eine Erhöhung der Belastbarkeit der Oberbaukomponenten hat eine Erhöhung der Erneuerungskosten, aber auch – infolge der sinkenden Ausfallwahrscheinlichkeit – eine Verminderung der Instandhaltungskosten zur Folge. Eine konkrete ökonomisch-technische Betrachtung ist sehr aufwändig und kann nicht in jedem einzelnen Fall durchgeführt werden. Diese wird unter Berücksichtigung der mit der Geschwindigkeit ansteigenden Sicherheitsanforderungen noch komplizierter. Deshalb existiert der Ausrüstungsstandard der DB AG, welcher dem planenden Ingenieur als Richtlinie zur Auslegung des Eisenbahnoberbaus dient. Die Auslegung weist keine Abhängigkeit von der Radkraft auf. Dies belegt, dass die statische Radkraft nicht zur Disposition steht. Das heißt, die DB AG fordert einen Eisenbahnoberbau für eine statische Belastbarkeit von 100 kN. Die empfohlene Auslegung des Eisenbahnoberbaus in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit im Ausrüstungsstandard der DB AG kann damit auch als Kostenminimum unter Erfüllung von 2 Bedingungen interpretiert werden: 1. Gewährleistung einer statischen Radkraft von 100 kN bei 160 km/h und 2. Berücksichtigung der geschwindigkeitsabhängigen Sicherheitsanforderungen.

Die steigenden Anschaffungskosten des Oberbaus (Abschn. 2.5) mit der Geschwindigkeit nach dem Ausrüstungsstandard der DB AG decken sich mit der Geschwindigkeitsabhängigkeit der Trassenpreise der DB AG. Dies kann wiederum als Ergebnis der geschwindigkeitsabhängigen Sicherheitsanforderungen interpretiert werden.

Es bleibt festzustellen, dass die drei wesentlichen Belastungskomponenten auf unterschiedliche Weise die drei wesentlichen Aspekte der Oberbauauslegung beeinflussen:

1. statische Radkraft mit besonderem Einfluss auf die ingenieurtechnischen Aspekte
2. jährlich akkumulierte Verkehrsmasse mit besonderem Einfluss auf die ökonomischen Aspekte
3. Geschwindigkeit mit besonderem Einfluss auf die Sicherheitsaspekte

Sobald die vorausgesetzte statische Radkraft der DB AG nicht mehr zutrifft (Erwartungswert der statischen Radkraft von 100 kN bei 160 km/h), wird der Gültigkeitsbereich des Ausrüstungsstandards der DB AG verlassen. Beispiele hierfür sind der Schwerlastverkehr mit statischen Radkräften >100 kN oder der ausschließliche Betrieb von Fahrzeugen mit statischen Radkräften <100 kN. Gleichfalls verliert der Ausrüstungsstandard der DB AG seine Gültigkeit, falls sich die ökonomischen Bedingungen oder/und die Sicherheitsanforderungen in den verschiedenen Volkswirtschaften ändern.

Die mechanischen Grenzen des nunmehr fast 200 Jahre alten Schotteroberbaus sind heute nahezu ausgereizt. Innerhalb dieser Grenzen findet seine ingenieurtechnische Auslegung statt. Diese wird entscheidend von der Belastung sowie den ökonomischen und sicherheitstechnischen Anforderungen geprägt. Die genannten Aspekte sind aber gesellschaftlicher Natur, sie variieren nach Zweck (Belastung) und Raum (nationale Unterschiede). Die daraus resultierende Zeitabhängigkeit der gesellschaftlichen Aspekte hat eine entsprechende Zeitabhängigkeit der Belastung und damit der Auslegung des Eisenbahnoberbaus zur Folge.

Literatur

1. Führer G (1978) Oberbauberechnung. Transpress VEB Verlag für Verkehrswesen, Berlin
2. Führer G (1987) Gleiskonstruktionen. Transpress VEB Verlag für Verkehrswesen, Berlin
3. Gerber (2010) Vorlesungsreihe „Bahnbau“ an der Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“ der Technischen Universität Dresden – Script Bahnbau I
4. Gerber U, Fengler W (2009) Oberbau-Effektivität im Spannungsfeld von Investition und Instandhaltung. Eisenbahn Ingenieur Kalender 2009, Hamburg, S 295–306
5. Hanneforth W, Fischer W (1986) Laufwerke. Transpress VEB Verlag für Verkehrswesen, Berlin
6. Lichtberger (2010) Handbuch Gleis. Eurailpress, Hamburg
7. Ausrüstungsstandard (2008) Richtlinie 820.210 der DB AG „Ausrüstungsstandard Schotteroberbau für Gleise und Weichen“
8. Trassenpreis (2012) Das Trassenpreissystem der DB Netz AG, DB Netz AG

Klaus Meißner und Alfred Wöhhart

3.1 Schienenwerkstoffe und Schienenprofile

3.1.1 Stahl als Baustoff, Schienenstahl als individueller Werkstoff

Stahl wird allgemein als gut formbarer, vielseitig anwendbarer Bau- und Werkstoff empfunden. Die Vorstellung von einer besonderen Eigenart und Individualität wird damit nicht verknüpft.

Bei Schienenstahl handelt es sich jedoch um ein technisch hochentwickeltes Produkt mit der Notwendigkeit einer individuellen Behandlung (siehe Tab. 3.1 und Abb. 3.1).

Für Schienenstähle kommen daher nur Werkstoffe mit höchstem Reinheitsgrad zum Einsatz. Diese Werkstoffe sind, ebenso wie die Schienenprofile in der EN 13674-1:2011 „Bahnanwendungen – Oberbau – Schienen, Teil 1: Vignolschienen ab 46 kg/m“ geregelt (Beispiel des Gefüges in einer kopfgehärteten Schiene siehe Abb. 3.2).

3.1.2 Aufgaben der Schiene

Die Schiene ist Fahrbahn und Führungselement zugleich. Sie hat die Aufgabe

- die Radlasten zu übertragen
- die Räder sicher zu führen und
- den Fahrzeugen eine möglichst glatte Fahrbahn zu bieten.

Die Schiene wird durch Längs- und Querkräfte auf Biegung und Torsion beansprucht. Sie unterliegt zudem durch schmirgelnde und gleitende Beanspruchung einem Verschleiß sowie einer Rollkontaktermüdung. Die Gebrauchseigenschaften des Werkstoffs sind deshalb dahingehend einzustellen. Wegen den Längs- und Querkräften ist eine bestimmte Festigkeit in Abstimmung mit der Belastung und dem Schienenprofil erwünscht. Mit einer hohen Festigkeit steigt parallel dazu die Härte und es wird der Verschleiß vermindert.

Im unmittelbaren Einwirkungsbereich des Rades muss die Schiene u. a. Widerstand leisten gegen

- Verschleiß
 - Verquetschung
 - Rollkontaktermüdung
 - Rissbildung, Head Checks, Squats
 - Lokale Ausbröckelung durch Überbeanspruchung
 - Schlupfwellen
- Es wird erwartet, dass die Schiene
- eine hohe Ermüdungs-/Dauerfestigkeit (Gestaltfestigkeit)
 - eine ausreichende Streckgrenze/Zugfestigkeit und Härte
 - hohe Sprödbruchsicherheit sowie
 - Schweißeignung besitzt.

K. Meißner (✉)
04157 Leipzig, Deutschland
E-Mail: w.klaus.meissner@gmx.de

A. Wöhhart
ÖBB-Infrastruktur AG, 1020 Wien, Österreich
E-Mail: alfred.woehnhart@oebb.at

Tab. 3.1 Physikalische Eigenschaften von wichtigen Schienenwerkstoffen

| Stahlsorte (neu) | Güte (alt) | Elastizitätsmodul E [N/mm ²] | Ausdehnungskoeffizient α [1/K] | Zugfestigkeit $R_{m \text{ min.}}$ [MPa] | Bruchdehnung A_5 [%] |
|------------------|----------------------|--|---------------------------------------|--|------------------------|
| R 260 | 900 A | 210.000 | 11,5 | 880 | ≥ 10 |
| R 350 HT | „HH“, „HSH“ bzw. SHH | | | 1175 | ≥ 9 |

HH Head Hardened, HSH Head Special Hardened, HT Heat Treated, R Rail, SHH Special Head Hardened

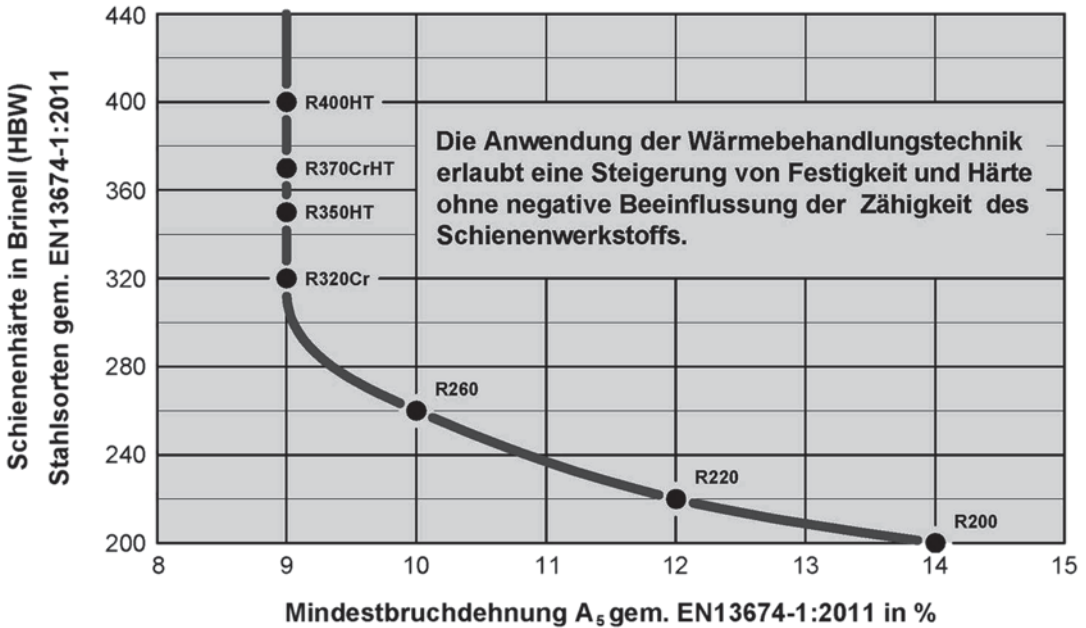


Abb. 3.1 Zusammenhang zwischen Schienenhärte und Mindestbruchdehnung A_5 der Schienenstähle. (Nach EN 13674-1:2011, Quelle: voestalpine Donawitz)

Hinsichtlich der Fertigungsanforderungen soll die Schiene

- eine gute Oberflächenbeschaffenheit und
- eine ausreichende Ebenheit und Profiltreue haben.

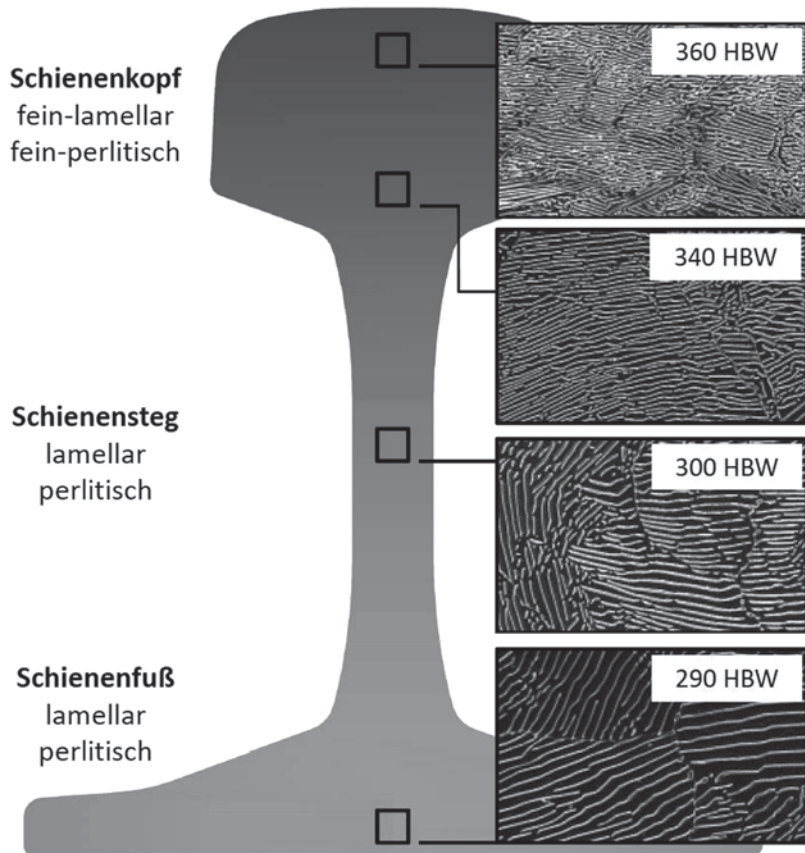
Reines Eisen würde keine ausreichende Festigkeit aufweisen. Durch Legieren mit den nachfolgend genannten Elementen entsteht Stahl und erreicht die gewünschten Eigenschaften. Dabei kommt dem Kohlenstoff als dem billigsten und wirksamsten Element die größte Bedeutung zu. Bei allgemeinen Baustählen ist Kohlenstoff insbesondere wegen der negativen Auswirkungen auf die Schweißneigung nur bis 0,22% enthalten.

Die Standardschienenstahlgüte R 260 der DB AG, der SBB und den ÖBB mit einer Mindest-

zugfestigkeit von 880 MPa hat einen Kohlenstoffanteil von mindestens 0,62% (siehe Tab. 3.2).

Die Anwendung von modernen Legierungskonzepten in Kombination mit einer angepassten Wärmebehandlung erlaubt die Herstellung von hochfesten, reinperlitischen Schienenstählen auch mit Kohlenstoffgehalten von mehr als 0,9%. Bei diesen oft auch als HE-Schienenstahl (hypereutektoid, z. B. R 400 HT) bezeichneten Werkstoffen müssen weder bei der Bruchdehnung, noch bei anderen Anforderungen an den Schienenwerkstoff Abstriche gemacht werden. Die hohe Festigkeit und Härte führt im Gleis zu einer hohen Widerstandsfähigkeit gegenüber den Schädigungsmechanismen. Aus diesem Grund werden derartige Schienenstähle seit geraumer

Abb. 3.2 Gefüge-
bild einer Schiene der
Schienenstahlsorte R 350
HT. (Quelle: voestalpine
Donawitz)



Zeit weltweit im Schwerlastsektor erfolgreich eingesetzt und gewinnen auch in Europa zunehmend an Bedeutung.

3.1.3 Eigenschaften des Schienenstahls

Eisen ist mit 97 bis 98% das Grundelement des Schienenstahls. Das Gebrauchsverhalten und die Empfindlichkeit, also alle Merkmale des Werkstoffverhaltens, werden durch die restlichen 2 bis 3% der chemischen Bestandteile bewirkt, siehe Tab. 3.2 und 3.3. Zu nennen sind hier insbesondere Kohlenstoff, Mangan und Silizium. Eine gezielte Veredelung erfolgt zusätzlich durch Chrom und sehr geringe Beigaben von Molybdän, Vanadium und Titan.

Zur Verbesserung des Verschleißverhaltens im Bereich der Fahrflächen- und Fahrkantenbereiche des Schienenkopfs wenden verschiedene

Hersteller Wärmebehandlungstechnologien an. Unter Nutzung der Walzhitze des Herstellungsprozesses oder nach einem nochmaligen Erwärmen der gewalzten Schienen werden die Eisenbahnschienen leicht beschleunigt abgekühlt, wodurch ein feinerperlitisches Materialgefüge erzeugt werden kann. Auf diesem Weg können Schienen mit einer hohen Festigkeit hergestellt werden. Auch wird durch diesen Prozess eine Härtesteigerung erreicht und Schienen mit einer Grundhärte von 260 HBW besitzen dann Härten von beispielsweise 350 HBW, ohne dass Legierungselemente in einem erhöhten Maß eingesetzt werden müssen. Gegenüber naturharten (nicht wärmebehandelten) Schienen weisen derart erzeugte Schienen in engen Radien mehrfach verlängerte Liegedauern auf. Neben der besseren Verschleißbeständigkeit haben diese Schienen auch einen höheren Widerstand gegen Schlupfwellenbildung und ebenso gegen Rollkontaktermüdung, was bereits mehrfach bei europäischen Bahnen festgestellt werden konnte.

Tab. 3.2 Chemische Zusammensetzung von Schienenwerkstoffen in der Schmelze. (Massenanteile in % nach EN 13674-1:2011)

| Stahlsorte R 200 | | Stahlsorte R 260 | |
|---------------------|------------|------------------------|-----------------|
| C: 0,40 - 0,60 | P: ≤ 0,035 | C: 0,62 - 0,80 | P: ≤ 0,025 |
| Si: 0,15 - 0,58 | S: ≤ 0,035 | Si: 0,15 - 0,58 | S: ≤ 0,025 |
| Mn: 0,70 - 1,20 | Cr: ≤ 0,15 | Mn: 0,70 - 1,20 | Cr: ≤ 0,15 |
| Stahlsorte R 260 Mn | | Stahlsorte R 320 Cr | |
| C: 0,55 - 0,75 | P: ≤ 0,025 | C: 0,60 - 0,80 | P: ≤ 0,020 |
| Si: 0,15 - 0,60 | S: ≤ 0,025 | Si: 0,50 - 1,10 | S: ≤ 0,025 |
| Mn: 1,30 - 1,70 | Cr: ≤ 0,15 | Mn: 0,80 - 1,20 | Cr: 0,80 - 1,20 |
| Stahlsorte R 350 HT | | Stahlsorte R 370 Cr HT | |
| C: 0,72 - 0,80 | P: ≤ 0,020 | C: 0,70 - 0,82 | P: ≤ 0,020 |
| Si: 0,15 - 0,58 | S: ≤ 0,025 | Si: 0,40 - 1,00 | S: ≤ 0,020 |
| Mn: 0,70 - 1,20 | Cr: ≤ 0,15 | Mn: 0,70 - 1,10 | Cr: 0,40 - 0,60 |
| Stahlsorte R 400 HT | | Legende: | |
| C: 0,90-1,05 | P: ≤ 0,020 | C Kohlenstoff | P Phosphor |
| Si: 0,20-0,60 | S: ≤ 0,020 | Cr Chrom | S Schwefel |
| Mn: 1,00-1,30 | Cr: ≤ 0,30 | Mn Mangan | Si Silizium |

Tab. 3.3 Maximale Massenanteile in der Schmelze. (Nach EN 13674-1:2011)

| Bei allen Schienenstahlsorten beträgt der Massenanteil an | |
|---|---|
| Al: ≤ 0,004 % | |
| V: ≤ 0,030 % | (lediglich bei der Stahlsorte R 320 Cr beträgt er 0,18 %) |
| N: ≤ 0,009 % | |
| O: ≤ 20 x 10 ⁻⁴ % (ppm) | |
| H: ≤ 3,0 x 10 ⁻⁴ % (ppm) | bei R 200 |
| ≤ 2,5 x 10 ⁻⁴ % (ppm) | bei R 260, R 260 Mn, R 320 Cr und R 350 HT |
| ≤ 1,5 x 10 ⁻⁴ % (ppm) | bei R 370 Cr HT und R 400 |
| Legende: | |
| Al Aluminium | O Sauerstoff |
| H Wasserstoff | V Vanadium |
| N Stickstoff | |

Wird die Wärmebehandlungstechnologie noch um speziell angepasste Legierungskonzepte ergänzt, so lassen sich Schienen mit einem weiter gesteigerten Materialwiderstand erzeugen.

Die Anteile der unerwünschten Begleitelemente Phosphor und Schwefel sind auf je 0,020 bzw. 0,025 % begrenzt. Besondere Aufmerksamkeit gilt dem ebenfalls unerwünschten Wasserstoff (siehe Tab. 3.3) dessen Löslichkeit und

Diffusionsfähigkeit bei Verminderung der Temperatur abnimmt. Durch hohen „Wasserstoffdruck“ kann es zur Bildung von wasserstoffinduzierten Rissen kommen, die zu sogenannten Nierenbrüchen führen. Der Schienenstahl muss deshalb wasserstoffarm erschmolzen oder entgast und wasserstoffkontrolliert geschweißt werden. Einen Überblick über die Stahlsorten für Schienen zeigt Tab. 3.4.

Tab. 3.4 Stahlsorten für Schienen. (Nach EN 13674-1:2011)

| Schienenstahlsorten | Härtebereich (HBW) | Beschreibung | Walzzeichen |
|---------------------|---|---|-----------------------------------|
| R 200 | 200 bis 240 | Unlegiert (C-Mn) Nicht wärmebehandelt | Ohne Striche |
| R 220 | 220 bis 260 | | — |
| R 260 | 260 bis 300 | | == |
| R 260 Mn | 260 bis 300 | | === |
| R 320 Cr | 320 bis 360 | Legiert (1 % Cr) Nicht wärmebehandelt | === |
| R 350 HT | 350 bis 390 ^{a)} (max. 405) | Unlegiert (C-Mn) Wärmebehandelt | == — |
| R 350 LHT | 350 bis 390 ^{a)} (max. 405) | | == — |
| R 370 CrHT | 370 bis 410 ^{a)} (max. 425) | Legiert (C-Mn) Wärmebehandelt | == — |
| R 400 HT | 400 bis 440 ^{a)} (max. 455) | Unlegiert (C-Mn) Wärmebehandelt | == — |
| Legende: | | | |
| C | Kohlenstoff | LHT | Low Alloyed Heat Treated |
| Cr | Chrom | | (niedrig legiert, wärmebehandelt) |
| HBW | Brinell-Härte (Wolframkarbidkugel) | Mn | Mangan |
| HT | Heat Treated | R | Rail |

a) Nach Tab. 6 der EN 13674-1:2011 sind die in Klammer angeführten Werte dann zulässig, wenn das Mikrogefüge perlitisch ist

Die Massenanteile im „Stück“ (gemeint ist damit die erkaltete Schiene) können von den Angaben in Tab. 3.2 abweichen:

Bei Kohlenstoff und Silizium sind diese Werte durchwegs

- um $\pm 0,02\%$ erhöht bzw. vermindert, dies bedeutet also, dass der
- Toleranzbereich um $0,04\%$ größer ist als in der Schmelze.

Bei Mn sind diese Werte durchwegs

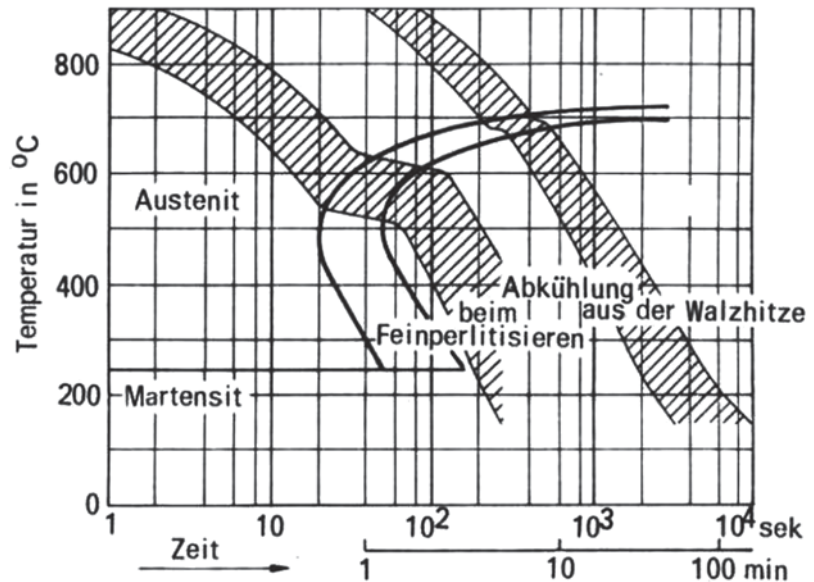
- um $\pm 0,05\%$ erhöht bzw. vermindert, dies bedeutet also, dass der
- Toleranzbereich um $0,1\%$ größer ist als in der Schmelze.

3.1.4 Gefüge des Schienenstahls

Schienenstahl weist in nahezu allen Fällen ein perlitisches Materialgefüge auf, das sich in der Vergangenheit gut bewährt hat. Ein rein-perlitisches Gefüge entsteht im Zweistoffsystem Eisen/Kohlenstoff bei einer Kohlenstoffkonzentration von etwa $0,8\%$ bei etwa 723 °C . Durch Legieren mit Chrom, Mangan und anderen Elementen kann auch mit anderen Kohlenstoffgehalten ein rein-perlitisches Gefüge erzeugt werden.

Weiterführende Erläuterungen zum Thema Gefüge werden in dieser Abhandlung nicht gegeben. Das sind spezielle Themen der Stahlmetallurgie, die in der entsprechenden Fachliteratur behandelt werden.

Abb. 3.3 ZTU-Diagramm für die Stahlsorte R 260 (Umwandlung des Schienenstahls beim Feinperlitisieren)



Diese Materie kann u. a. durch die in Zeit-Temperatur-Umwandlungsdiagrammen (Schweiß-ZTU-Diagramme) siehe Abb. 3.3 und die im Eisen-Kohlenstoff-Diagramm (EKD) siehe Abb. 3.4 dargestellten Zusammenhänge erklärt werden.

3.1.5 Schienenstahlherstellung

Die Herstellung des Schienenstahls erfolgt in Europa ausschließlich nach dem LD-Verfahren (Sauerstoffblasverfahren). Bei dieser Stahlherstellungsmethode wird das flüssige, entschwefelte Roheisen in einen LD-Konverter chargiert. Im Konverter befindet sich zu diesem Zeitpunkt bereits Schrott, der zur Einstellung der Wärmebilanz dieses Prozesses benötigt wird. Durch anschließendes Aufblasen von reinem Sauerstoff wird der Gehalt des Kohlenstoffs im Stahl optimal eingestellt. Mit geringem Energieaufwand und in kurzer Zeit wird hochqualitativer Rohstahl erzeugt.

Im Rahmen der Sekundärmetallurgie wird die exakte Einstellung aller Parameter der geforderten Stahlanalyse durchgeführt. Der mittlerweile entgaste Schienenstahl wird durch eine Stranggussanlage vom flüssigen in einen festen Zustand gebracht:

Schienenstahl ist ein Spezialwerkstoff und hat insbesondere die Eigenschaft hochrein und hochfest zu sein.

3.1.6 Schienenformen (Schienenprofile)

Das Schienenprofil wird unterteilt in Schienenkopf, Schienensteg und Schienenfuß. Die Schienkopfunterseite und die Schienenfußoberseite sind schräg und bilden so die Laschenanlagefläche (Laschenkammer).

Ein Schienenprofil (siehe auch Abb. 3.5, Tab. 3.5 und 3.6 soll folgenden Anforderungen genügen:

- Die Lauffläche soll genügend breit und so geformt sein, dass sich die Berührungsverhältnisse zwischen Rad und Schiene in Hinblick auf die Laufdynamik sowie die Flächenpressung möglichst günstig einstellen.
- Der Kopf soll so hoch sein, dass ein ausreichender senkrechter Abnutzungsspielraum vorhanden ist im Hinblick auf eine lange Liegedauer der Schienen.
- Steg und Fuß müssen genügend dick sein im Hinblick auf ausreichende Tragfähigkeit und Biegesteifheit sowie auf Schwächung durch Korrosion.

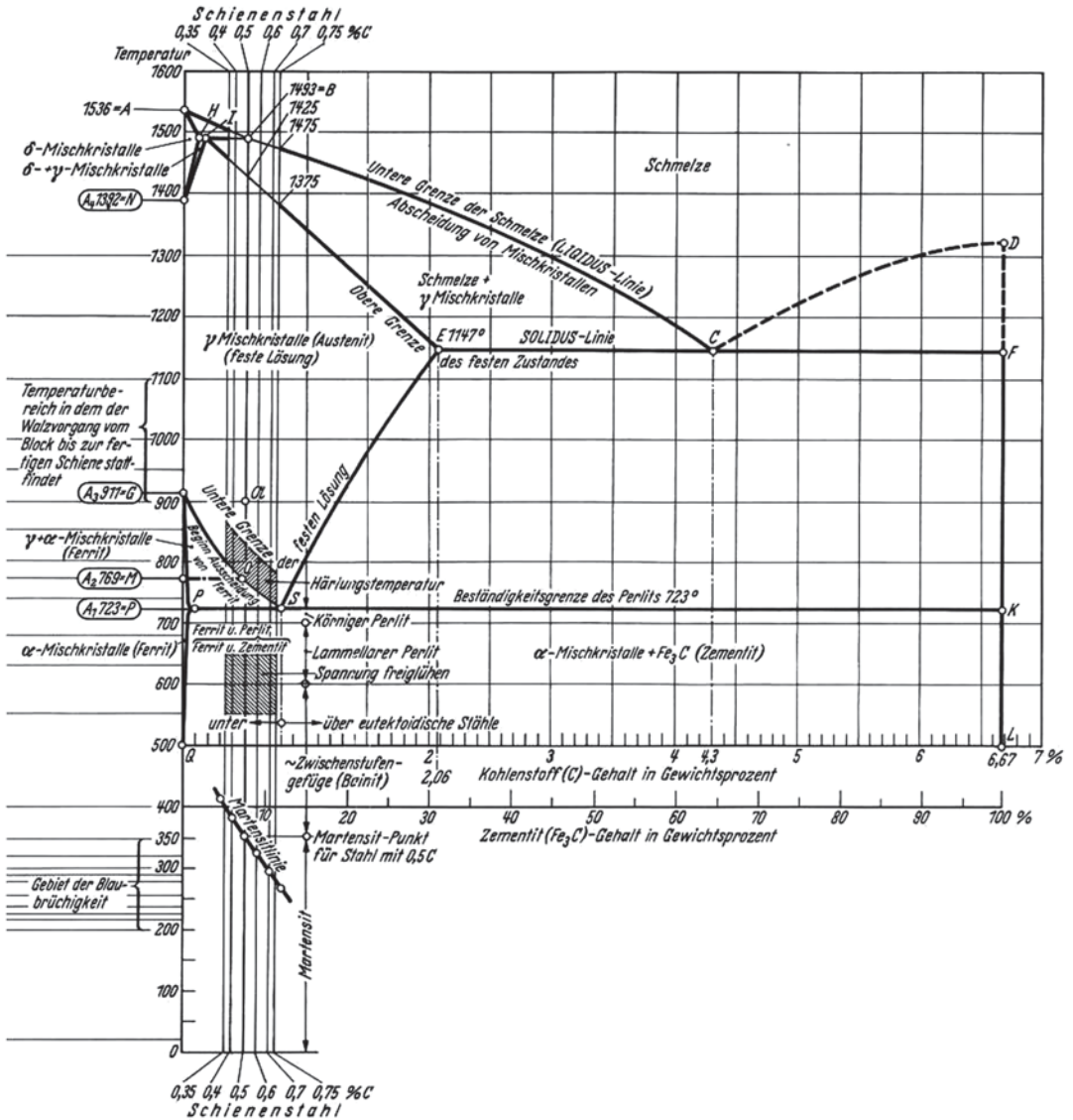
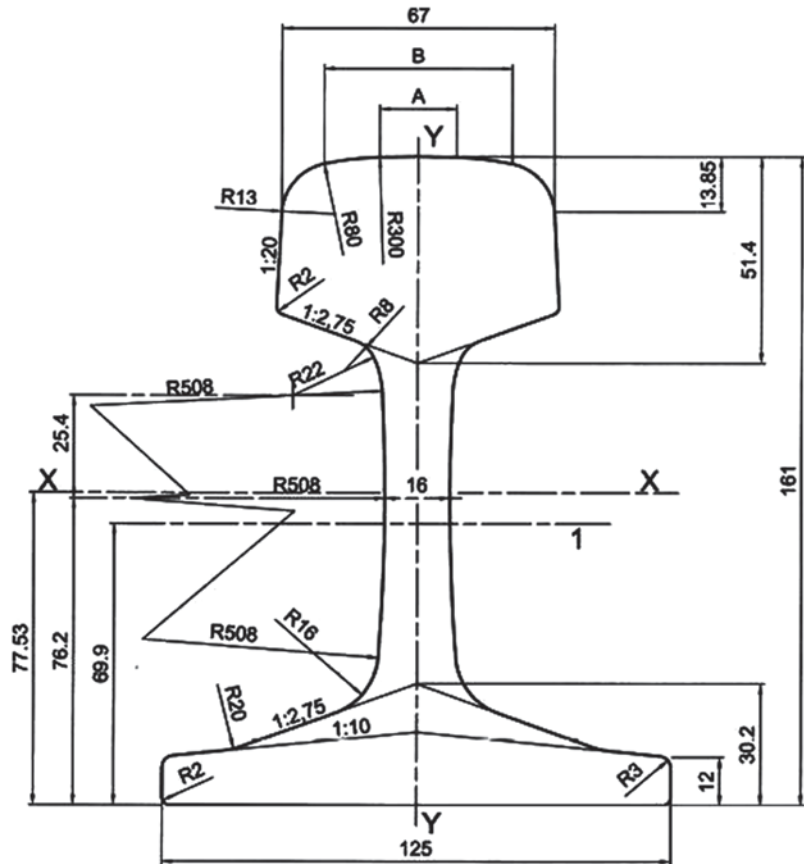


Abb. 3.4 Eisen-Kohlenstoff-Zustandschaubild

- Der Fuß soll im Hinblick auf gute Standfestigkeit möglichst breit sein, damit die auf die Schwelle oder Unterlagsplatte ausgeübte Flächenpressung nicht zu groß wird.
- Das Widerstandsmoment der Schiene gegen Biegebeanspruchung soll groß sein, das heißt die Schienenhöhe muss möglichst groß sein, desgleichen der Kopf- und Fußquerschnitt im Vergleich zum Stegquerschnitt.
- Das Widerstandsmoment der Schiene gegen horizontale Kräfte quer zur Fahrtrichtung soll möglichst groß sein zur Erzielung ausreichender Seitensteifigkeit, das heißt der Schienenkopf und -fuß sollten eine optimierte Breite haben.
- Die Schiene soll möglichst standfest gegen Kippen sein, das heißt die Höhe darf gegenüber der Fußbreite nicht zu groß sein.

Abb. 3.5 Vignolschne 54 E 2. (Nach EN 13674-1:2011, „kennzeichnende Maße“: A=18,946 mm, B=46,310 mm)



Tab. 3.5 Definition und Beispiele für Standfestigkeits- und Nutzungszahlen

| | Definition | Schienenprofil (nach EN 13674-1) | | |
|-----------------------------|--|-------------------------------------|-------|-------|
| | | 49 E1 | 54 E2 | 60 E1 |
| Standfestigkeitszahl | $\frac{\text{Fußbreite}}{\text{Schienenhöhe}}$ | 0,84 | 0,812 | 0,872 |
| Nutzungszahl | $\frac{\text{Widerstandsmoment}}{\text{Metergewicht der Schiene}}$ | 4,79 | 4,80 | 5,56 |

- Aus statischen Gründen soll der Schwerpunkt der Querschnittsfläche etwa in halber Schienenhöhe liegen.
- Die obere und die untere Begrenzung der Laschenkammer müssen in Übereinstimmung mit der Form der Stoßlaschen in bestimmter Weise gestaltet sein.
- Aus walztechnischen Gründen und im Hinblick auf einen günstigen Spannungsverlauf

im Schienenquerschnitt sollen alle Übergänge – besonders die Hohlkehlen der Laschenkammer – mit möglichst großen Halbmessern ausgerundet sein.

Maßstab für die Zweckmäßigkeit bzw. Wirtschaftlichkeit eines Profils sind die Standfestigkeits- und Nutzungszahl, Tab. 3.5.

Tab. 3.6 Schienenprofile und ihre technischen Werte (Auswahl). (Nach EN 13674-1:2011)

| | | | Schienenprofile | | | |
|---|-------------------------|-----------------|-----------------|-------|-------|-------|
| | | | 46 E1 | 49 E1 | 54 E2 | 60 E1 |
| Höhe | h | mm | 145 | 149 | 161 | 172 |
| Fußbreite | b | mm | 125 | 125 | 125 | 150 |
| Kopfbreite | b _K | mm | 65 | 67 | 67 | 72 |
| Querschnitt | A _S | mm ² | 5882 | 6292 | 6856 | 7670 |
| Gewicht | G | kg/m | 46,17 | 49,39 | 53,82 | 60,21 |
| Trägheitsmoment | I _X | cm ⁴ | 1641 | 1816 | 2307 | 3038 |
| | I _Y | cm ⁴ | 298 | 319 | 342 | 512 |
| Widerstands- moment in Bezug auf | Schienen- oberfläche | W _{XO} | 217 | 240 | 276 | 334 |
| | Fußunterseite | W _{XU} | 237 | 248 | 298 | 376 |
| Widerstandsmoment | W _Y | cm ³ | 48 | 51 | 55 | 68 |

Abb. 3.6 Walzzeichen.
(Quelle: Alfred Wöhhart)

3.1.7 Walzlängen, Walzzeichen und Warmstempeln

Die Walzlängen der Schienen ergeben sich aus den technischen Möglichkeiten der Walzwerke. In Deutschland entwickelten sich die Walzlängen von 6,00 m (1880) über 12,00 m (1910), 18,00 m (1940), 30,00 m (1960), 60,00 m (1980) bis 120,00 m (ab 1999).

Die Kennzeichnung der Schienen erfolgt gemäß EN 13674-1 am Steg durch

- Walzzeichen, bestehend aus Angaben über Herstellerwerk, Stahlsorte, Walzjahr (die letzten beiden Ziffern des Herstelljahres) und Schienenprofil, siehe Abb. 3.6 und Tab. 3.4 und
- Warmstempeln mit Angaben über Schmelznummer, Nummer des Stranges und Lage des Vorblockes innerhalb des Stranges, Lage der Schiene im jeweiligen Vorblock, siehe Abb. 3.7.

**Abb. 3.7** Warmstempel. (Quelle: VAS)

Walzzeichen sind erhaben und erscheinen im Abstand von maximal 4 m, Warmstempeln sind vertieft und erscheinen in einem Abstand von maximal 10 m auf der dem Walzzeichen gegenüberliegenden Stegseite.

3.1.8 Verwendung und Verschleißbeanspruchung von Schienen

Nachdem die Schiene die beiden Aufgaben hat, Radlasten aufzunehmen und auf darunter liegende Oberbauteile abzutragen, wirken bei einer Überrollung durch ein Rad gleich mehrere Beanspruchungsarten auf die Schiene ein: dies sind nicht nur Normalkräfte, Querkkräfte und Biegemomente sondern auch extrem hohe Flächenpressungen im Kontakt Rad/Schiene, die durch zusätzliche horizontal wirkende Kräfte infolge Schlupf aus der Traktion sowie der Laufdynamik überlagert werden.

Genauso wie Reibkräfte im Kontakt erfährt die Schiene Normalspannungen und komplexe mehrachsige Spannungszustände. Daraus resultieren die maßgeblichen Schädigungsmechanismen Verschleiß, Schlupfwellenbildung und Rollkontaktermüdung.

3.1.9 Ziele

Während die Verschleißthematik durch die Entwicklung von hochfesten, feinperlischen HE-Schienenstählen als gelöst angesehen werden kann, besteht bei der Problematik der Rollkontaktermüdung nach wie vor erhebliches Verbesserungspotential. Obwohl durch den Einsatz von hochfesten perlischen Schienen die Rissinitiierung und das Risswachstum verzögert und verlangsamt werden können, und damit eine erhebliche Verbesserung im Vergleich zu naturharten Schienen erzielt werden kann, bilden sich dennoch Risse aus. Diese müssen im Rahmen der Schieneninstandhaltung rechtzeitig entfernt werden.

Den bei verschiedenen Bahnen zu Testzwecken eingebauten Schienen mit bainitischem Gefüge wird zugetraut, über ihre gesamte Liegedauer rissfrei zu bleiben. Allen derzeit laufenden Tests ist gemein, dass sich die Schienen gegenüber naturharten oder wärmebehandelten perlischen Schienen Head-Check-resistent verhalten. Eine Herausforderung stellt jedoch das Herstel-

len von aluminothermischen Schweißungen mit einem bainitischen Schweißgut dar.

3.2 Schienenschweißen

3.2.1 Allgemeines

Die fachgerechte Ausführung von Schweißarbeiten am Oberbau ist in diversen Europäischen Normen geregelt. Dies sind z. B.:

- EN 14730-1 Bahnanwendungen – Oberbau – Aluminothermisches Schweißen von Schienen, Teil 1: Zulassung von Schweißverfahren (Ausgabe 1. Okt. 2010)
- EN 14730-2 Bahnanwendungen – Oberbau – Aluminothermisches Schweißen von Schienen, Teil 2: Qualifizierung aluminothermischer Schweißer, Zertifizierung von Betrieben und Abnahme von Schweißungen (Ausgabe 1. Okt. 2006)
- EN 14587-1 Bahnanwendungen – Oberbau – Abbrennstumpfschweißen von Schienen, Teil 1: Schweißen neuer Schienen der Stahlsorte R 220, R 260, R 260 Mn und R 350 HT in einer stationären Anlage (Ausgabe 1. Juni 2007)
- EN 14587-2 Bahnanwendungen – Oberbau – Abbrennstumpfschweißen von Schienen, Teil 2: Abbrennstumpfschweißen neuer Schienen der Stahlsorte R 220, R 260, R 260 Mn und R 350 HT durch mobile Schweißmaschinen an Orten außerhalb eines Schweißwerkes (Ausgabe 1. April 2009)
- EN 15594 Bahnanwendungen – Oberbau – Aufarbeiten von Schienen durch elektrisches Lichtbogenauftragschweißen (Ausgabe 1. Aug. 2009)

In manchen dieser ENs werden vom Infrastrukturbetreiber (der RA Railway Authority) weitere konkrete Werte gefordert, die er festzulegen hat.

In diversen Verfahrensrichtlinien legen die einzelnen Bahnverwaltungen die regionalen Erfordernisse im Detail fest und gehen konkret auf die verwendeten Schienenformen und -stahlsorten ein.

Zusätzlich zu profunden Schweißkenntnissen ist ein genaues Schleifen des Schienenkopfes

ebenfalls wichtig, um ein fachgerechtes Ergebnis zu erreichen.

In der Oberbauschweißtechnik unterscheidet man drei Einsatzgebiete:

- Schienenverbindungsschweißung
- Schienenauftragschweißung und
- Schweißen an sonstigen Oberbauteilen, z. B. Stahlschwellen, Rippenplatten, Laschen u. ä.

Der Prozess der Schienenverbindungsschweißung kann in einem Schienenschweißwerk, auf einem speziellen Schweißplatz oder im Gleis ausgeführt werden und umfasst folgende Anwendungen:

- Herstellen lückenloser Gleise und Weichen
- Verbinden von Schienen unterschiedlicher Profile und Abnutzungen
- Beseitigen von Schienenbrüchen
- Einschweißen von Isolierstößen und Ersatzschienen

Das Auftragschweißen von Schienen und Weichengroßteilen erfolgt im Gleis, ggf. auch auf einem Schweißplatz und wird verwendet zum

- Regenerieren von Weichengroßteilen (z. B. Herzstücke) im Gleis
- Ausbessern von Fehlern wie z. B. Schleuderstellen, Abblätterungen und Ausfahrungen

Die Bedeutung der Herstellung des lückenlosen Gleises durch das Schweißen erklärt sich aus:

- Reduzierung dynamischer Kräfte für Fahrbahn und Fahrzeuge,
- Verminderung des Verschleißes an Schienen und Rädern und damit Senkung der Kosten,
- Verbesserung des Reisekomforts,
- Vergrößerung der Fahrsicherheit und Erhöhung der Geschwindigkeit,
- Reduzierung der Schallemission,
- Verlängerung der Nutzungsdauer von Weichengroßteilen.

Die größten wirtschaftlichen Vorteile entstehen durch die Herstellung des lückenlos verschweißten Gleises und die Auftragschweißung von Weichenteilen.

Die Schienenschweißung im Oberbau der Bahnen wird hauptsächlich mit folgenden Schweißverfahren ausgeführt:

Verbindungsschweißen

- Abbrennstumpfschweißen (RA)

- Gaspressschweißen (GP)

Diese beiden Verfahren arbeiten ohne Schweißzusätze, d. h. im Schweißprozess wird Schienenmaterial verbraucht, die Schiene verkürzt sich.

- Aluminothermisches Gießschmelzschweißen (AS)
- Lichtbogenschweißen (mit Stabelektrode E und Schutzgasschweißen MAG, auch mit selbstschützender Fülldrahtelektrode MF)

Diese Verfahren arbeiten mit Schweißzusätzen, es wird eine Schweißlücke gefüllt.

Auftragschweißen

- Lichtbogenschweißen (mit Stabelektrode E und Schutzgasschweißen MAG, auch mit selbstschützender Fülldrahtelektrode MF).

In Tab. 3.7 sind zugelassene Schweißverfahren der DB AG und in Tab. 3.8 sind die der ÖBB angeführt. Die bei der SBB zugelassenen Schweißverfahren sind unterhalb der Tab. 3.8 angeführt.

Bei der SBB werden zugelassene Schweißverfahren nicht nach Fahrgeschwindigkeit oder Gleiskategorie unterschieden.

RA und mobiles RA sind zugelassen. Bei den AS-Verfahren sind das SmW-F und das SoW-5-Verfahren sowie das PLA-Verfahren zugelassen. E-Hand-Verfahren sind nur für Auftragschweißarbeiten zugelassen, nicht für Verbindungsschweißungen. Für eine AS-Übergangsschweißung sind besondere Bedingungen einzuhalten.

Alle auf der Baustelle hergestellten Schweißverbindungen sind mit einer Kennzeichnungsplakette oder einer Beschriftung zu versehen, die den Trupp (Firma) und das Ausführungsjahr enthält.

3.2.2 Abbrennstumpfschweißen

Das Abbrennstumpfschweißen zählt zu den Anwendungen der elektrischen Widerstandspressschweißung. Das Grundprinzip beruht auf der Anwendung des Joule'schen Gesetzes. Fließt durch einen elektrischen Leiter Strom, dann wird auf Grund des elektrischen Widerstands eine Arbeit geleistet, die in Wärmeenergie umgewandelt wird.

Tab. 3.7 Bei der DB AG zugelassene Schweißverfahren

| Bahnanlagen | Durchgehende Hauptgleise | | | | | Sonstige Hauptgleise | Nebengleise |
|------------------------------|----------------------------------|--------------|--------------|-------------|-----|----------------------|-------------|
| | <300 ≥230 | <230 ≥160 | <160 ≥120 | <120 ≥80 | <80 | | |
| Leitgeschwindigkeit [km/h] | | | | | | – | – |
| Schweißverfahren | (Details zu AS siehe Pkt. 3.2.4) | | | | | | |
| RA-mobil | Ja | Ja | Ja | Ja | Ja | Ja | Ja |
| AS-SkV | Ja | Ja | Ja | Ja | Ja | Ja | Ja |
| AS-SoWoS | xxxx | xxxx | xxxx | Ja | Ja | Ja | Ja |
| AS-SkV-L | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AS-LSV | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| E-Hand (einschl. MAG und MF) | xxxx | 3 | 3 | 3 | 3 | ja | ja |
| Übergangsschweißung | xxxx | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 |

ja zulässig, Ziffer Einschränkung, xxxx nicht zulässig

1 Einzelschweißungen zur Behebung von Schienenbrüchen und -schäden sowie zum Auswechseln von Weichengroßteilen

2 Verschweißen von aufgelösten Isolierstößen sowie Laschenstößen

3 In Gleisen und Weichen, wenn AS-Verfahren aus konstruktiven Gründen nicht möglich ist und bei Bauzuständen

4 Übergangsschweißungen (zwischen zwei Schienen verschiedener Form) werden im Schweißwerk im RA-Verfahren gefertigt. In Weichen darf aus konstruktiven Gründen die Übergangsschweißung im AS-Verfahren hergestellt werden

5 Sind im AS-Verfahren als Baustellenschweißung auszuführen

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t$$

Q = Wärmemenge, [J] 1 J=1 Ws=1 VAs

I = Elektrische Stromstärke [A]

R = Elektrischer Widerstand [Ω] 1 Ω=1 V/1A

t = Zeit [s]

Die beiden Schienenenden werden in einer Schweißmaschine eingespannt. Der Schweißstrom wird in die zu verschweißenden Schienenenden geführt. Die Stromstärke wird möglichst hoch gewählt während die Spannung so bemessen wird, dass sie für die Überwindung der Widerstände ausreicht. Die für das Abbrennstumpfschweißen von Schienen eingesetzten Maschinen sind in der Regel für Stromstärken von 40 000 bis 100 000 A und für Spannungen von 6 bis 15 V ausgelegt.

Nach dem Joule'schen Gesetz entsteht die meiste Wärme an der Stelle, an der der Materialwiderstand am größten ist. Da sich die aneinanderstoßenden Stirnflächen der Schienen nur mehr oder weniger punktförmig berühren, bewirkt der hohe Übergangswiderstand die erwünscht schnelle und hohe Erwärmung der Schienenenden.

Der Prozess einer Abbrennstumpfschweißung ist in Abb. 3.8 dargestellt.

Tab. 3.8 Bei den ÖBB zugelassene Schweißverfahren

| Schweißverfahren (Details zu AS siehe Pkt. 3.2.4) | Geschwindigkeit V [km/h] | |
|---|--------------------------|------|
| | ≤250 >140 | ≤140 |
| RA-mobil | Ja | Ja |
| AS ^a | Ja | Ja |
| AS-SkV-L | Ja ^b | Ja |
| E-Hand (einschl. MF) | Nein ^c | Ja |
| Übergangsschweißung | Ja ^d | Ja |

^a Für alle Schienenstahlsorten kommt das Verfahren LP bzw. SoW-5-E mit einer Vorwärmzeit von 5 min (bei Form 60 E1) zum Einsatz

^b Einzelschweißungen zur Behebung von Schienenbrüchen

^c Lediglich für Auftragschweißungen (z. B. Weichenherzauftragungen und Behebung von Schleuderstellen)

^d Über 140 km/h sind lediglich die Schienenformen 60 E1 und 54 E2 zugelassen, wobei die V_{\max} für 54 E2 mit 160 km/h limitiert ist. Alle Übergangsschweißungen werden nach dem AS-Verfahren hergestellt
Das Verfahren LSV wird nicht angewendet

Die Schweißmaschinen sind eine Kombination von Elektro- und Werkzeugmaschine.

Zum Einsatz kommen für das Schienenschweißen stationäre und mobile Abbrennstumpfschweißmaschinen. Sie werden unterschieden in Gleich- und Wechselstrommaschinen

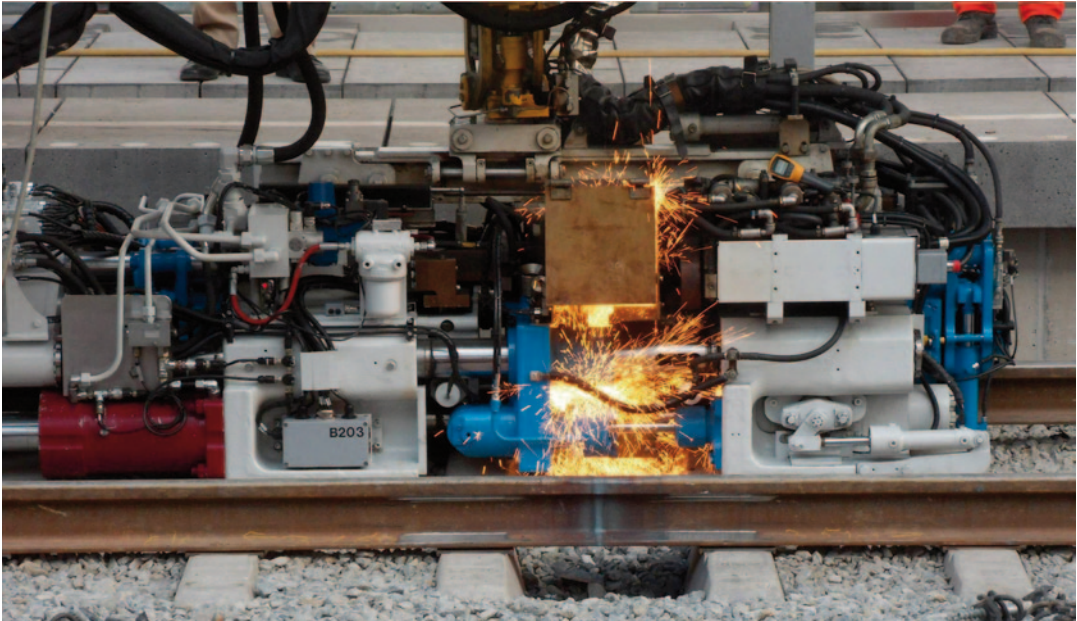


Abb. 3.8 Abbrennstumpfschweißung. (Im Vordergrund: eine geschweißte aber noch nicht geschliffene Abbrennstumpfschweißung, im Hintergrund wird soeben die zweite Schiene geschweißt, Quelle: Alfred Wöhnhart)

und ergeben jeweils charakteristische Unterschiede in der Wärmeeinflusszone (WEZ). Die WEZ der Gleichstrommaschinen ist im Kopf-, Steg- und Fußbereich nahezu gleich breit, während bei Wechselstrommaschinen die WEZ im Kopf- und Fußbereich etwas breiter ausgeprägt ist. Die Gebrauchseigenschaften der Schweißung sind bei beiden Maschinentypen gleich.

Bei den stationären Maschinen unterscheidet man ferner nach Schweißmaschinen in offener Bauweise (C-Bauweise) und geschlossener Bauweise (Tunnelbauweise). Die mobilen Schweißmaschinen sind immer Maschinen geschlossener Bauweise.

Die stationären und mobilen Abbrennstumpfschweißmaschinen bestehen aus verschiedenen Baugruppen, die je nach ihrem spezifischen Einsatz baukastenmäßig angeordnet sind. Alle Spann- und Stauchelemente werden hydraulisch betrieben.

Im Vergleich zum aluminothermischen Schweißstoß erfolgt eine drastische Verminderung der Wärmeeinflusszone.

3.2.2.1 Ablauf der Abbrennstumpfschweißung

Der Vorgang des Abbrennstumpfschweißens läuft in folgenden Phasen ab, siehe auch Abb. 3.9:

- Planbrennen
- Vorwärmen
- Abbrennen
- Fügen durch Stauchen
- Nachwärmen durch Stoßglühen
- Nachstauchen

Beim Schienenschweißen werden die ersten vier Phasen grundsätzlich realisiert.

Planbrennen Um die Stoßflächen vor dem eigentlichen Schweißvorgang zu ebnen, werden sie bei hoher Stromstärke plangebrannt.

Vorwärmen In der Phase der Vorwärmung werden die Schienenenden 4 bis 10-mal miteinander in Berührung gebracht. An den Berührungspunkten entsteht jedes Mal ein Kurzschlussstrom, der durch Stromstärken bis zu 100.000 A eine augenblickliche hohe punktförmige Erwärmung des Schienenwerkstoffes bis zur Schmelztemperatur bewirkt.

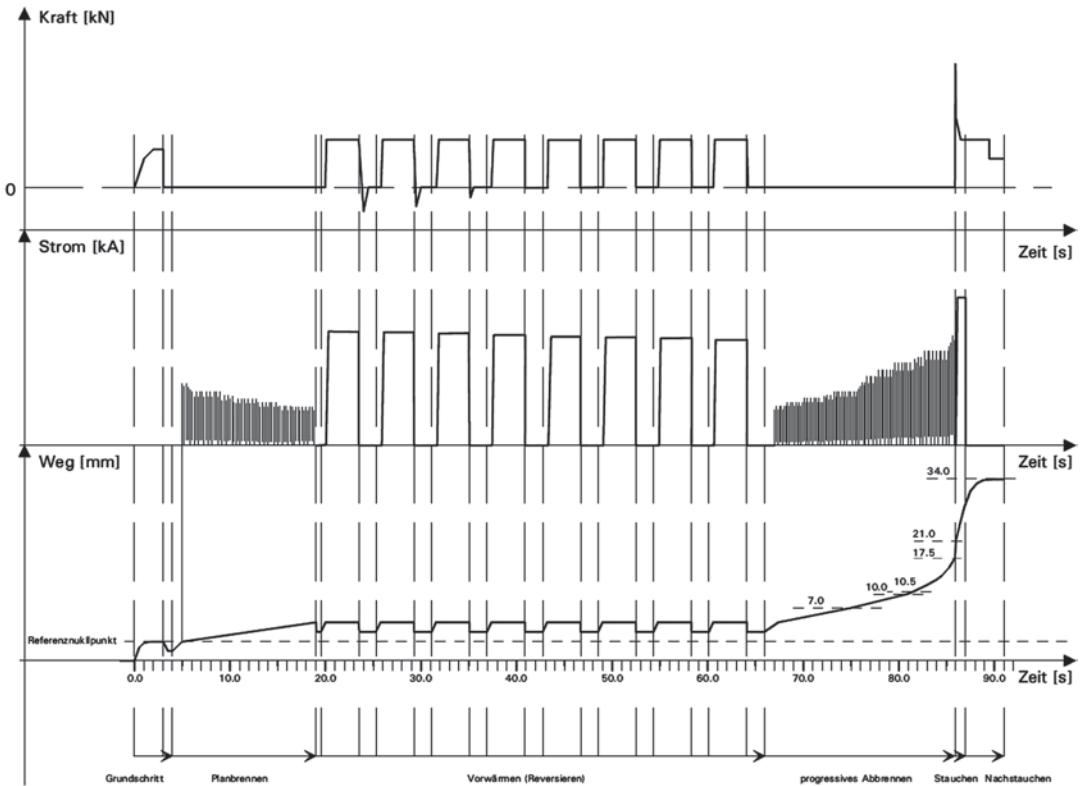


Abb. 3.9 Zeitdiagramm Abbrennstumpfschweißen. (Quelle: Fa. Schlatter)

Bei **Schweißmaschinen mit Reversierbetrieb** werden die Füge­teile mittels Kontaktkraft zusammengefahren und der Schweißstrom eingeschaltet. Über den Kontaktwiderstand der Füge­stelle und den Stoffwiderstand der freien Werk­stückenden erwärmen sich die Teile. Die Strom­pausenzeit während des Reversierens wird zum Wärmeausgleich in axialer Richtung genutzt. Ist der für den Fügevorgang benötigte Temperatur­gradient erreicht, wird die nächste Phase (Ab­brennen) eingeleitet.

Bei **Maschinen mit kontinuierlichem Abbrand** werden andere Effekte genutzt. Beide Bauteile nähern sich stetig. Ein Regelmecha­nis­mus hält den fließenden sekundären Schweiß­strom über die Vorschubgeschwindigkeit konstant. Der Aufbau des Wärmegradienten erfolgt durch Wärmeleitung von der Füge­stelle aus.

Bei den meisten der für das Schienenschweißen verwendeten Maschinen dauert das Vorwärmen 70 bis 120 s.

Abbrennen Beim stetigen Abbrennen wird die erforderliche Gleichmäßigkeit, Eindringtiefe und Höhe der Erwärmung erreicht, ehe der eigent­liche Fügeprozess beginnt. Beim Einsetzen der Progression zum Ende des Abbrennvorgangs wird die Vorschubgeschwindigkeit und in Abhän­gigkeit davon der Abbrennstrom erhöht. Ziel ist, schädliche Oxidansammlungen in der Schweiß­naht zu vermeiden. Der Abbrennweg beträgt ca. 10 bis 20 mm pro Schienenende.

Moderne Maschinen arbeiten ausschließlich mit Progression. Der Stauchschlitten macht hier­bei 20 bis 40 Pendelbewegungen pro Minute beim Reversieren. Es werden Schlittengeschwin­digkeiten von 2 bis 3 mm/s erreicht.

Beim Abbrennen berühren sich die einzelnen Punkte der Schweißflächen nicht mehr so satt wie beim Vorwärmen. Einen entscheidenden Ein­fluss auf die Güte einer Abbrennstumpfschweißung hat der Zustand der Schienenstirnflächen unmittelbar vor dem Stauchen. Beim Heraus­schleudern des flüssigen Werkstoffs bilden sich

Unebenheiten (Krater) auf diesen Flächen. Große Krater führen zu mangelhaften Verbindungen mit Linsen, Mattstellen und Oxideinschlüssen. Die Ausbildung der Unebenheiten hängt wesentlich von der Höhe der Spannungsamplitude während des Abbrennens ab. Ist die Spannung hoch, entstehen große Funken und tiefe Krater, gewünscht werden jedoch feine, gleichmäßige Funken und nicht so tiefe Krater, da sich in tiefen Kratern Einschlüsse bilden können. Die Qualität der Schweißung wird somit direkt von der elektrischen Charakteristik der Schweißmaschine beeinflusst.

Das Abbrennen nimmt etwa 6 bis 10 s in Anspruch. Der Schlitten bewegt sich mit einer Geschwindigkeit von 0,6 bis 2 mm/s.

Fügen durch Stauchen Das Fügen erfolgt mittels Stauchen. Wesentliche Parameter sind

- Stauchgeschwindigkeit und
- Stauchkraft

Nach dem gleichmäßigen Erwärmen der Schienenenden durch Vorwärmen und Abbrennen wird das auf den Stauchschlitten gespannte Schienenende schlagartig mit dem Stauchdruck beaufschlagt. Durch die Stauchkraft (Stauchspannung bis 70 N/mm^2) werden die verbrannten und überhitzten Werkstoffteilchen aus der Fugestelle herausgepresst und die Schienen zusammengefügt. Die Stauchgeschwindigkeit ist ein Vielfaches der Abbrenngeschwindigkeit und soll möglichst mehr als 30 mm/s betragen. Dadurch soll der Zugang von Sauerstoff zur Fugestelle verhindert werden, da im Moment des Stauchens der Schweißstrom abgeschaltet ist und damit der schützende Gasmantel zusammenfällt.

Nachwärmen Schienen der Stahlsorte R 370 CrHT und R 400 HT werden mit konstantem Strom oder Stromimpulsen nachgewärmt um die Abkühlgeschwindigkeit zu reduzieren und dadurch spröde Gefügeanteile weitgehend zu verhindern oder auch Vergütungseffekte zu erzielen.

Nachstauchen Bei neueren Schweißmaschinen kann auch ein zweiter Stauchschlag erfolgen. Ziel des zweiten Stauchvorgangs ist eine Gefügeverbesserung ähnlich der Kaltverfestigung.

Tab. 3.9 Mindestanforderungen für die statische Biegeprüfung. (EN 14587-1:2007)

| Profil | Mindestdurchbiegung [mm] für Schienenstahlsorte | | Mindestbruchkraft (R 260 und R 350 HT) [kN] |
|--------------|---|----------|---|
| | R 260 | R 350 HT | |
| 60 E1, 60 E2 | 20 | 20 | 1600 |
| 54 E2 | 25 | 22 | 1270 |
| 49 E1 | 30 | 25 | 1050 |
| 46 E1 | 30 | 25 | 1010 |

Tab. 3.10 Verfahrensbezogene Biegeschwellfestigkeitsgrenzwerte

| Schweißverfahren | Stahlsorte | Max. aufzubringende Spannung [MPa] | Norm |
|-------------------|------------|------------------------------------|-----------------|
| Abbrennstumpf | R 260 und | 190 | EN 14587-1:2007 |
| Alumino-thermisch | R 350 HT | 190 ^a | EN 14730-1:2010 |

^a Festlegung der Spannung durch Railway Authority gemäß EN 14730-1:2010

Eine maßgebliche Größe für die Beurteilung einer RA-Schweißung ist die „Biegeprüfung“, siehe Tab. 3.9 sowie die verfahrensbezogene Biegeschwellfestigkeit, siehe Tab. 3.10.

3.2.3 Gaspressschweißen

Ein weiteres Verfahren, welches ohne Schweißzusatz und Schweißblücke arbeitet, ist das Gaspressschweißen. Es hat vornehmlich in Japan eine breite Anwendung gefunden.

Beim Prozess der Gaspressschweißung werden die zu verschweißenden Schienenenden vor dem Schweißbeginn zusammengepresst. Dieser Pressdruck wird bis zum Ende des Schweißprozesses konstant gehalten.

Zur Erwärmung wird eine Sauerstoff-Acetylen-Flamme benutzt, wobei die maximale Schweißtemperatur zwischen 1200 und 1300 °C liegt. Anders als bei herkömmlichen Schweißverfahren werden also die zu verschweißenden Teile verbunden ohne sie zu verschmelzen. Es findet an den Verbindungsflächen durch das Erhitzen über die Rekristallisationstemperatur und eine plastische Verformung durch den Pressdruck eine Umordnung der Atome statt.

Da beim Gaspressschweißen keine Verflüssigung des Schweißgutes eintritt, ist es erforderlich mit größter Sorgfalt zu arbeiten um Einschlüsse (Verschmutzung, Rost, Oxide) zu vermeiden. Im Wesentlichen sind folgende Punkte zu beachten um die Vorteile des Verfahrens zu nutzen:

- Beseitigen von Verschmutzung, Rost u. dgl.
- Plan-Schleifen der Verbindungsflächen mit hoher Parallelität
- Gleichmäßiges Erhitzen des gesamten Querschnitts mit einer gut gesteuerten Gasflamme um Überhitzung und Verbrennungen zu vermeiden
- Hydraulisches Nachrichten des Schweißstoßes

Gaspressschweißen ist im stationären und im mobilen Bereich anwendbar. In beiden Anwendungsfällen ist das Gerät ähnlich. Es besteht aus:

- Gasflaschen mit Druckminderer und einer Gassteuereinheit
- Hydraulischer Druckeinheit mit Gasbrenner (Schweißkopf)
- Hydraulischer Steuereinrichtung
- Hydraulischer Abschervorrichtung
- Hydraulischer Richtvorrichtung zum Nachrichten
- Stromerzeuger zum Antrieb der Hydraulikeinrichtungen

Für die Ausführung einer Gaspressschweißung werden 2 Schweißer und eine Hilfskraft (für den Gleiskraftwagen) benötigt. Besondere Sorgfalt ist beim Abscheren und Nachrichten der Schweißung erforderlich. Hier besteht aufgrund der Wärmebedingungen Gefahr von Rissen im Fußbereich.

3.2.4 Aluminothermisches Gießschmelzschweißen

Das aluminothermische Schienenschweißen (aluminothermische Gießschmelzschweißung, AS-Schweißung, siehe Abb. 3.10 ist im Oberbau der Bahnen schon seit 1928 in Anwendung und wird ständig weiterentwickelt, siehe Abb. 3.11 und 3.12.

Die chemische Grundlage für die aluminothermische Reaktion wurde bereits 1895 entwi-

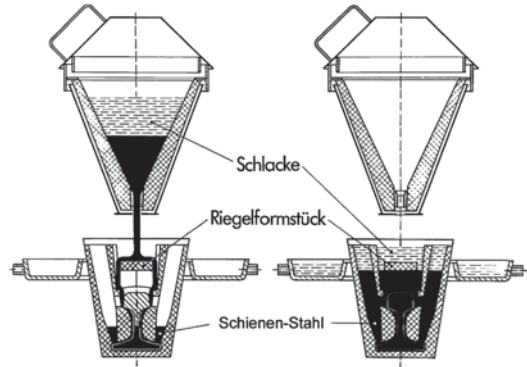


Abb. 3.10 Schweißverfahren SkV-F mit Mehrfachtiegel. (Quelle: Fa. Goldschmidt Thermit GmbH)

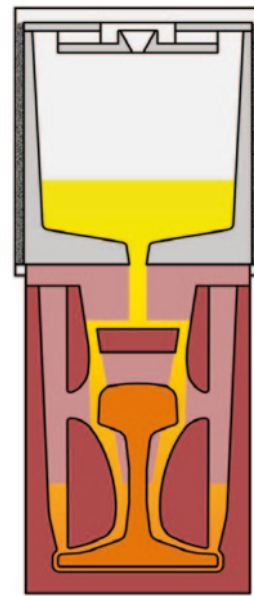


Abb. 3.11 Schweißverfahren LP mit Einwegtiegel. (Quelle: Fa. Raltech-Plötz)

ckelt und im Kaiserlichen Patent Nr. 96317 dem Urvater der aluminothermischen Schweißung, Prof. Hans Goldschmidt (siehe Abb. 3.13) zuerkannt. Maria Curter verfasste 1998 zum 75. Todestag von Hans Goldschmidt ein Porträt in der Edition Luisenstadt, aus dem hervorgeht, dass die Patentierung beinahe gescheitert wäre:

„...Als Hans Goldschmidt sich seine Idee als ‚Verfahren zur Herstellung von Metallen oder Metalloiden oder Legierungen derselben‘ patentieren lassen wollte, wäre das beinahe abgelehnt worden. Der damalige Vorsitzende des kaiser-

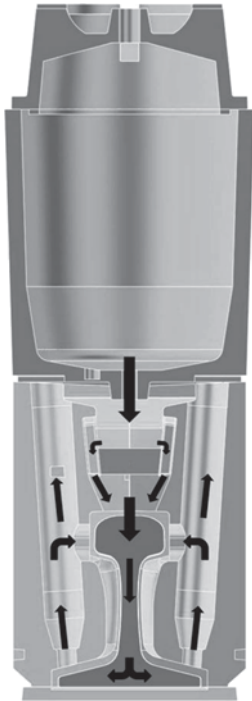
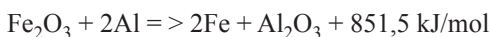


Abb. 3.12 Schweißverfahren PLA mit Einwegtiegel.
(Quelle Fa. Railtech)

lichen Patentamtes entgegnete Goldschmidt: ‚Sehen Sie, Herr Doktor, Sie zünden das Gemisch an und es brennt weiter, das ist doch keine Erfindung; wenn Sie eine Zigarre anzünden, brennt sie auch weiter‘, worauf Goldschmidt in seiner trockenen Art erwiderte: ‚Nur kann man mit einer brennenden Zigarre keine Schienen schweißen.‘ ... Viele Jahre später, als die Aluminothermie eine Großindustrie und Goldschmidt ein angesehenes Mann geworden war, sagte der Patentamtsvorsitzende von damals: ‚Kollege Goldschmidt, Gott sei Dank, daß wir Ihnen damals das Patent erteilten. Was hätten wir uns blamiert!‘ ...“

Die chemische Reaktion basiert auf folgenden Grundlagen:



Eingeleitet wird diese Reaktion durch eine punktförmige Zündung mit einem Zündstäbchen aus Bariumsuperoxid und Aluminium. Innerhalb von 20 s werden im Schweißtiegel Temperaturen von 2500 bis 3000 °C erreicht. Beim Abguss fließt auf Grund der unterschiedlichen spezifischen

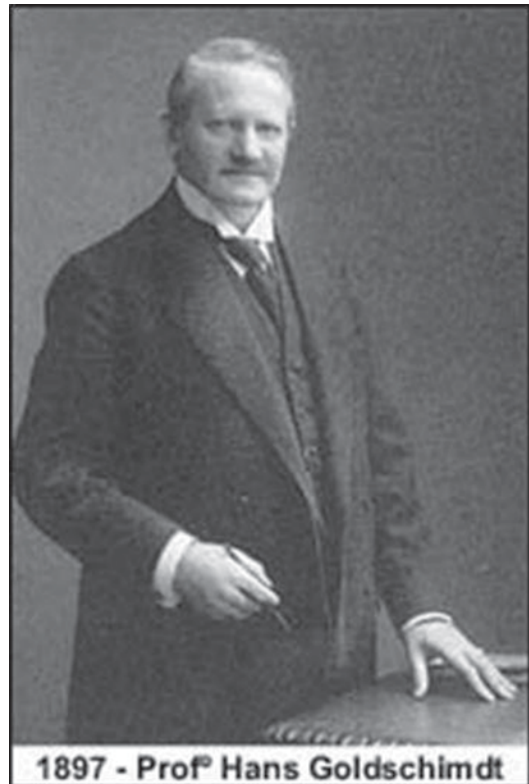


Abb. 3.13 Prof. Hans Goldschmidt. Deutscher Chemiker (1861–1923)

Gewichte der beiden Bestandteile (2Fe = Stahl und Al_2O_3 = Schlacke) der Stahl in die Schweißformen (und verschweißt dadurch die auf 600 bis 800 °C vorgewärmten Schienenenden) und die Schlacke in die seitlich angeordneten Schlackenschalen.

Charakteristisch für das AS-Schweißen sind

- Schweißlücke
- Schweißform
- Schweißportion
- Schweißtiegel (Einweg- bzw. Mehrfachtiegel)
- Tiegelverschluss
- Geräteausrüstung

Die Standardschweißlücke beträgt je nach Verfahrensvariante 28 bis 30 mm bei SoW-5-E, 22 bis 24 mm bei SkV bzw. 24 bis 26 mm bei LP. Für besondere Fälle (Reparaturen) ist eine Lücke von 50 mm oder 75 mm möglich.

Die Schweißform ist eine nach Gießereistandard vorgefertigte Sandform. Sie wird vom Verfahrensanbieter für alle gängigen Schienenprofile an-



Abb. 3.14 Aluminothermische Schweißung. (Quelle: Archiv Alfred Wöhnhart)

geboten. Die Schweißportion ist herstellertypisch konfektioniert und ist für alle gängigen Schienenprofile und Schienenstahlorten vorhanden.

Für kopfvergütete Schienen werden Portionen verwendet, die in einem Arbeitsgang die Härte der Vergütung erreichen. Es gibt aber auch nachvergütungsfähige Schweißportionen.

Neue Verfahren befinden sich in Erprobung.

Die Schweißtiegel werden vom Verfahrensanbieter als Mehrfachtiegel oder Einwegtiegel angeboten. Die Mehrfachtiegel lassen bis zu 20 Schweißungen zu. Der Tiegelverschluss wird als ATS (automatischer Tiegelstöpsel) in den Mehrfachtiegel eingesetzt. Im Einwegtiegel ist der Tiegelverschluss integriert.

Von den Verfahrensanbietern werden folgende Varianten angeboten (Auswahl, siehe Abb. 3.14):

- SkV Schweißen mit kurzer Vorwärmung
- SoW-5-E Schweißen ohne Wulst 5 min Vorwärmung
- SkV-L Schweißen mit kurzer Vorwärmung (große Lücke)
- SmW-F Schweißen mit Wulst – Flach

- LSV Laschenloch-Schweiß-Verfahren
- LP Long Preheating (5 min Vorwärmung)
- PLA Préchauffage Limité Air (kurze Vorwärmung mit Luft)

Anders als beim Abbrennstumpfschweißen wird hier eine Schweißlücke mit einem Schweißzusatz, der Schweißportion, die in einem Tiegel gezündet und geschmolzen wird, gefüllt. Das geschieht in einer Schweißform nach festgeschriebenen Arbeitsregeln. Da trotz der fortgeschrittenen Verfahrensentwicklung der handwerkliche Einfluss des Schweißers noch relativ groß ist, gilt der Minimierung dieses Einflusses die ganze Aufmerksamkeit der Verfahrensanbieter.

Die zu verschweißenden Schienen werden in der Schweißform mit einem Propan-Sauerstoff-Gemisch vorgewärmt. Die Druckeinstellung der Gase ist vom jeweiligen Schweißprozess abhängig. Sie beträgt z. B. beim SoW-5-E- und LP-Verfahren 1,5 bar für Propan und 4,0 bar für Sauerstoff, beim SkV-Verfahren 1,5 bar für Propan 5,0 bar für Sauerstoff.

Die Vorwärmzeit beträgt z. B. für die Verfahren SoW-5-E und LP 5 min. und für SkV 60 bis 90 s.

Bei Schienentemperaturen unter 0 °C sind besondere Anweisungen zu beachten.

In Gleisen mit Hochgeschwindigkeitsverkehr (HGV) können Ultraschallprüfungen der Schweißungen gefordert werden.

Unverzichtbare Voraussetzung für eine gute Qualität der AS-Schweißung sind gut ausgebildete, geprüfte und zertifizierte Schweißer.

3.2.5 Lichtbogenschweißen

Als Lichtbogenschweißverfahren werden im Gleis die Lichtbogenhandschweißung mit Stabelektrode (E) und das Schutzgasschweißen mit selbstschützender Fülldrahtelektrode (MF) und im Werk neben diesen auch noch die gängigen Schutzgasschweißverfahren (MAG) angewendet. Im Gleis wird die Lichtbogenhandschweißung vornehmlich für die Schienenauftragschweißung aber auch für die Schienenverbindungsschweißung in weniger belasteten Gleisen eingesetzt (siehe Abb. 3.15).



Abb. 3.15 Lichtbogen-Verbindungsschweißung. (Quelle: Alfred Wöhnhart)

Für die Anwendung der Lichtbogenschweißung sind folgende Kriterien zu erfüllen:

- Die Schweißzusätze (Elektroden, Fülldrähte) müssen zugelassen sein (Zertifikat). Sie müssen trocken gelagert und vor der Verarbeitung im Trockenofen vorgetrocknet werden.
- Der Schienenwerkstoff muss in Abhängigkeit von der Stahlsorte vor Beginn des Schweißprozesses vorgewärmt werden (siehe Tab. 3.11).
- Während des Schweißprozesses ist die Wärmeführung zu kontrollieren.
- Die Schweißlücke für die Verbindungsschweißung beträgt 18 mm.
- Die Verwendung geeigneter Kupferbacken für die Schweißbadsicherung im Fuß- und Stegbereich bei der Schienenverbindungsschweißung.
- Auftragschweißungen an Zungen und beweglichen Herzstückspitzen sind verboten.

Die Anwendung der Lichtbogenschweißung mit selbstschützender Fülldrahtelektrode (MF) hat aufgrund der höheren Abschmelzleistung gegenüber der Stabelektrode an Bedeutung gewonnen. Bei der Verbindungsschweißung verlangt die Anwendung jedoch aufgrund der engen Schweißlücke (Engspaltschweißung) eine gute Handfertigkeit des Schweißers.

Als Schienenverbindungsschweißung hatte die Lichtbogenhand-Schweißung mit der Stabelektrode in der Vergangenheit eher eine geringe Bedeutung. Mit der Entwicklung und Zulassung einer selbstschützenden Fülldrahtelektrode für

Tab. 3.11 Vorwärmtemperatur beim Lichtbogenhand-Schweißen von Schienen

| Schienenstahlsorte | Vorwärmtemperatur [°C] | Bemerkung |
|--------------------|------------------------|--|
| R 260 und R 350 HT | 300 bis 350 | Vorwärmen je 100 mm rechts und links, sowie je 500 mm handwarm |

die Schienenwerkstoffe hat sich das verändert, da dieses Verfahren kostenmäßig gegenüber dem RA-Verfahren und dem AS-Verfahren durchaus Vorteile hat. Da es jedoch sehr stark von der Handfertigkeit des Schweißers abhängt, verzichten viele Bahnen aus Sicherheitsgründen auf die Anwendung in höher beanspruchten Gleisen.

Bei der Regenerierung (Auftragschweißung) abgefahrener Weichengroßteile (insbesondere Herzstücke) hat die Lichtbogenschweißung große Vorteile. Insbesondere die Auftragschweißung stellt eine Verknüpfung von oberbautechnischen und schweißtechnischen Maßnahmen dar. Die Schweißer müssen deshalb sowohl schweißtechnisch als auch oberbautechnisch gut ausgebildet sein.

3.3 Schienenschleifen (Oberflächenbearbeitung)

3.3.1 Allgemeines

Für das Beseitigen von durchgehenden Unebenheiten oder Fehlern auf der Fahrfläche der Schienen und an den Seitenflanken des Schienenkopfes stehen prinzipiell drei Verfahren zur Verfügung:

- Schleifen
- Fräsen
- Hobeln

Alle drei Verfahren sind Techniken der Schieneninstandsetzung von denen hier das Schleifen näher behandelt wird und zwar das

- Neuschienenschleifen
- Präventivschleifen
- Erhaltungsschleifen
- Schleifen von Schweißstellen

Der ursächliche Zweck des Schienenschleifens ist die Verbesserung des Fahrkomforts, die Schonung des Oberbaus und des rollenden Materials sowie die Lärmverminderung.

3.3.2 Neuschienenschleifen

Das Neuschienenschleifen wird mit gleisgebundenen Schleifmaschinen aber auch mit Zweifahrzeugen ausgeführt. Als Schleifkörper kommen zum Einsatz:

- Rotierende Schleifscheiben als Topfscheiben
- Rotierende Schleifscheiben als zylindrische Scheiben oder
- Starre oder oszillierende Rutschersteine

Neue Schienen haben im Bereich der zulässigen Walztoleranzen Fehler in einer Größenordnung von 0,01 mm. Sie rufen ebenso wie vorhandener Walzsinter, der nicht gleichmäßig auf der Fahrfläche verteilt ist, Mikrounebenheiten hervor. Das Neuschienenschleifen verzögert außerdem die Bildung von Riffeln und Wellen. Das Bearbeiten der Neuschienen kann die Zeit bis zur ersten Riffelbearbeitung verdoppeln (siehe auch Pkt. 3.4).

Der Materialabtrag beim Einsatz rotierender Schleifkörper beträgt pro Überfahrt zwischen 0,02 und 0,15 mm je nach Anzahl der eingesetzten Schleifeinheiten und der Maschinenparameter. Der Materialabtrag beim Einsatz von starren Rutschersteinen beträgt 0,01 bis 0,05 mm und bei oszillierenden Rutschersteinen 0,03 mm bis 0,07 mm.

Weitere Vorteile des Neuschienenschleifens sind:

- Beseitigen von Beschädigungen aus dem Baustellenbetrieb und
- Beseitigen von geometrischen Fehlern an Verbindungsschweißungen.

3.3.3 Präventivschleifen

Das Präventivschleifen wird mit rotierenden, walzenförmigen Schleifzylindern durchgeführt.

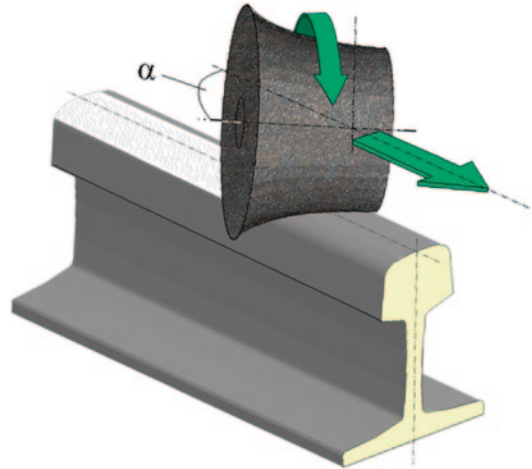


Abb. 3.16 HSG-Schleiftechnik. (Quelle: Dr. Konstantin von Diest, Vossloh Rail Services GmbH)

Diese Schleifzylinder werden bei einer Geschwindigkeit von 80 km/h durch ihre Schrägstellung selbst angetrieben und nehmen einige Hundertstelmmillimeter der Fahrfläche weg (siehe Abb. 3.16). Durch dieses HSG-Schleifen (High Speed Grinding) wird die frühzeitige Bildung von Head Checks verhindert, es kann jedoch das Reprofilieren (siehe Pkt. 0) nicht ersetzen.

3.3.4 Erhaltungsschleifen (-fräsen)

Durch den Zugverkehr (hohe Achslasten und Geschwindigkeiten sowie schnelle Beschleunigungs- und Bremsvorgänge) entstehen Risse an der Fahrkante bzw. an der Fahrfläche.

Weiters entstehen kurze und lange Wellen in Bögen bzw. in der Geraden.

Diese Schädigungen können durch verschiedene Methoden entfernt werden, z. B. durch

- Schleifen mit rotierenden Topfscheiben oder
- Fräsen

3.3.5 Schleifen von Schweißungen

Das Schleifen der Verbindungsschweißungen wird auf der Baustelle mit handgeführten Schienenkopfschleifmaschinen durchgeführt, im Schweißwerk zunehmend auch mit Schleifauto-

maten. Die bearbeitete Länge der Schweißstelle beträgt sowohl auf der Baustelle als auch im Werk 0,60 bis 1,00 m.

Bei den handgeführten Schienenkopfschleifmaschinen kommen hauptsächlich Topfscheiben, bei den Schleifautomaten Topfscheiben oder auch Schleifbänder zum Einsatz.

3.4 Fehler und Schäden an Schienen und Schienenschweißungen

3.4.1 Allgemeines

Schienenfehler ist der Oberbegriff für alle Abweichungen der Maße und Eigenschaften die bei der Herstellung von Schienen und Schienenschweißungen (Herstellungsfehler), bei Transport, Lagerung und Verlegen der Schienen (Transport-schäden, Verlegeschäden) und beim Gebrauch (Verschleißschäden) entstehen.

Fehler werden unterschieden in äußere (visuell erkennbare) und innere (zerstörungsfrei erkennbare) Fehler. Nicht alle Fehler können visuell oder zerstörungsfrei erkannt werden. Nicht erkannte Fehler führen zum Versagen (Bruch) und müssen schadensanalytisch untersucht werden.

3.4.2 Schienenfehler, Übersicht

Fehler bei der Schienenstahlerzeugung

- Metallurgische Fehler

- Chemische Zusammensetzung

Fehler bei der Schienenherstellung

- Walzfehler, warm
- Walzfehler, kalt

Fehler beim Schienentransport und bei der Schienenverlegung

- Verquetschungen
- Schlagstellen (Dellen, Kerben)
- Verbiegungen (x-/y-Achse)

Fehler bei der Schienenverarbeitung und aus dem Betrieb

- Schweißfehler
- Bearbeitungsfehler (Bohren, Fräsen, Schleifen)
- Oberflächenfehler

Die Lage eines Fehlers wird im Allgemeinen wie folgt beschrieben:

Fehler können am Schienenende, in der Schienenmitte oder im Einflussbereich einer Verbindungsschweißung (200 mm, Schweißung mittig) liegen. Weiters wird unterschieden ob sich der Fehler im Schienenkopf, im Schienensteg oder im Schienenfuß befindet.

Eine weitere Beschreibung ist die Lage im Gleis, also

- Linke oder rechte Schiene (immer im Sinne der Kilometrierung),
- Bogeninnen- oder Bogenaußenschiene oder an der
- Schienenkopf-Fahrkantenseite oder Schienenkopf-Außenseite.

Fehler können punktförmig, flächig oder ganzheitlich (als Verschleiß) auftreten.

Brüche sind Fehler in der extremsten Form, bei denen die Schiene ihren Aufgaben als Träger, Fahrbahn und Spurführungselement nicht mehr gerecht werden kann.

Ein Schienenbruch bedeutet somit sowohl eine komplett durchgebrochene Schiene als auch einen Materialausbruch größerer Dimension.

3.4.3 Beschreibung der Schienenfehler

Die Schienenhersteller haben ein internes Qualitätsmanagementsystem bei dem die Schienen vom ersten Anstich bis zum letzten Richtvorgang kontrolliert werden.

Die Schiene durchläuft folgende Prüfstellen:

- Geradheitsmessung
- Oberflächenprüfung
- Profilmessung
- Innenfehlerprüfung

Die bei diesen Prüfungen aufgetretenen Fehler und ihre Ursachen und Indikatoren sind nachfolgend beschrieben.

Warmfehler entstehen entweder direkt an der Walze, auf dem Weg bis zum Warmbett oder auf dem Warmbett. Warm eingebrachte Fehler erkennt man daran, dass sie im Grund korrodiert sind und in vielen Fällen eine Walzhaut besitzen.

Warmfehler sind weitaus weniger gefährlich als Kaltfehler, da bei ihrer Entstehung keine Kaltverfestigung stattfindet. Durch Warmfehler wird das Material zwar äußerlich beschädigt, sie sind aber in den meisten Fällen nicht bruchauslösend. In den Walzwerken sind 90% der Fehler Warmfehler.

Kaltfehler entstehen in den Aggregaten der Zurichtung, also ab der Rollenrichtmaschine an erkalteten Schienen. Kaltfehler erkennt man daran, dass ihr Grund metallisch glänzend ist. Bei ihrer Entstehung findet eine Kaltverfestigung des Gefüges statt, d. h. die Härte steigt in diesem Bereich stark an und das Material wird an dieser Stelle spröde. Durch diese kalt eingebrachten Fehler können Brüche ausgelöst werden. Wenn Kaltfehler geschliffen werden, wird grundsätzlich nach dem Schleifen eine Härteprüfung durchgeführt um sicherzustellen, dass das Material an keiner Stelle aufgehärtet ist.

Fehler durch Beschädigung im Betrieb werden unterteilt in

- äußere also sichtbare und
- innere Fehler

Äußere Fehler entstehen insbesondere durch unsachgemäße Handlungen beim Transport, bei der Entladung, bei der Lagerung auf der Baustelle, vor dem bzw. beim Einbau selbst sowie durch Verschleiß, Rollkontakt und Radschlupf während des Betriebes.

Die Folge äußerer Fehler ist die Zerstörung der glatten stoßfreien Fahrbahn und häufig der Bruch der Schiene durch die punktuelle Kaltverfestigung an der Schädigungsstelle. Schwingungen, die Schallemission und/oder Gleisschäden hervorrufen sind die Folge dieser Fehler der Fahrfläche.

Innere Fehler entstehen u. a. durch Überbelastung und/oder Ermüdung. Innere Fehler führen zur Zerstörung der Gefügestruktur, zum Bruch und damit zur Gefährdung des Eisenbahnbetriebes, weil Spurführung und Trägerfunktion nicht mehr gewährleistet sind.



Abb. 3.17 Riffel. (Quelle: SBB)

Folgende betriebsbedingte Fehlerarten treten mehr oder weniger häufig auf:

Riffel sind regelmäßige, periodische Unebenheiten auf der Schienenoberfläche. Sie sind durch eine Aufeinanderfolge glänzender Wellenberge und dunkler Wellentäler gekennzeichnet. Der Abstand der Wellenberge beträgt etwa 3 bis 8 cm. Die Tiefe der Wellentäler beträgt 0,02 bis 0,4 mm. (andere Angaben: 1 bis 8 cm Abstand, 0,01 bis 0,4 mm Tiefe).

Die hellen Wellenberge, die sich allmählich herausbilden, haben eine größere Härte als der Grundwerkstoff. Gemessen wurden Werte Grundwerkstoff/Riffelberg von 260 HBW/450 HBW.

Diese Schichten, die auch teilweise den dreifachen Härtewert des Grundwerkstoffs erreichen können, sind von senkrechten Rissen und Ausbrüchen durchsetzt. Es wirken sehr große Kräfte. Die gegenüber dem Grundmaterial umgewandelten Schichten werden als „weiße Schichten“ bezeichnet (siehe Abb. 3.17 Riffeln treten überwiegend in geraden Gleisabschnitten aber auch in Gleisbögen mit größeren Bogenhalbmessern auf.

Kurze Wellen (Schlupfwellen), sind wellenförmige periodische Unebenheiten der Fahrfläche mit einer Wellenlänge von 30 bis 300 mm. Die Tiefe beträgt etwa 0,1 bis 1,0 mm. Sie treten überwiegend in Gleisbogenhalbmessern < 800 m und am inneren Strang auf.



Abb. 3.18 Schlupfwellen. (Quelle: Alfred Wöhhart)



Abb. 3.20 Schleuderstelle „tief“. (Quelle: Archiv Alfred Wöhhart)



Abb. 3.19 Schleuderstellen „mehrere“. (Quelle: Archiv Alfred Wöhhart)

Im Gegensatz zu Riffeln treten keine umgewandelten „weißen Schichten“ auf. Metallographische Untersuchungen zeigen starke plastische Deformationen und flache Oberflächenrisse. Es handelt sich also um einen Verschleißvorgang (Relativbewegung inneres/äußeres Rad, siehe Abb. 3.18).

Schleuderstellen Das Schleudern einer Triebachse verursacht die Bildung eines selbstgehärteten Flecks mit ovalem Umriss (siehe UIC-Schienenfehlerkatalog, Fehlernummer 2251 bzw. Abb. 3.19 und 3.20).

In Anfahr- und Bremsabschnitten, oder an Stellen, an denen Triebfahrzeuge häufig schleudern, kann die Fahrfläche ein charakteristisches Aussehen annehmen. (Netzrisse, Fehlernummer 2252).

Eindrückungen Auf dem horizontalen Teil der Fahrfläche können sich periodische Eindrücke abbilden. Der Abstand dieser Eindrücke entspricht dem Umfang des verursachenden Rades. Die Eindrücke können eine runde Form haben (Kugeleindruck) oder völlig regellos geformt

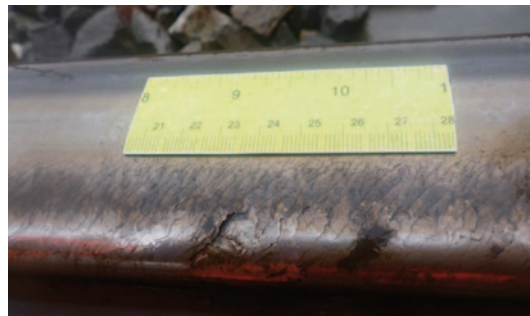


Abb. 3.21 Head Checks („schräg“) an Schiene der Schienenstahlsorte R260. (Quelle: SBB)



Abb. 3.22 Head Checks („gerade“) an Schiene der Schienenstahlsorte R 260. (Quelle: Alfred Wöhhart)

sein, entsprechend dem in das Rad eingedrückten Fremdkörper.

Head Checks treten als feine, schräg verlaufende Risse im Fahrkantenbereich (in Fahrrichtung gesehen von außen nach innen) meist an Bogenaußenschienen auf (Abb. 3.21 und 3.22). Der Rissabstand beträgt einen bis mehrere Millimeter, die Risstiefe beträgt zu Beginn wenige Zehntel Millimeter, erreicht im Laufe der Zeit mehrere Millimeter (wenn die Schiene nicht geschliffen oder gefräst wird) und führt letztendlich zu einem



Abb. 3.23 Trümmerbruch mit einer Länge von 2,23 m auf Grund von Head Checks. (Quelle: Archiv Alfred Wöhhart)

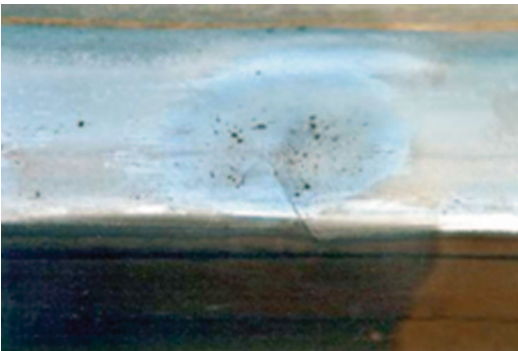


Abb. 3.24 Squat. (Quelle DBAG)

Trümmerbruch der Schiene: die Schiene kann dabei auf über 100 m Länge in Einzelstücke von 30 bis 50 cm zerbrechen (Abb. 3.23)!

Squats treten auf der Fahrfläche und an der Fahrkante von Schienen im geraden Gleis und in Bögen mit Radien >1000 m auf. Sie zeigen sich zunächst als schwarze Punkte, die sich vergrößern und von deren Grund relativ flach verlaufende Risse ausgehen. Im fortgeschrittenen Zustand entsteht auf der Lauffläche ein sichtbar halbkreisförmiger Riss, verbunden mit einer dunklen (schwarzen) Fläche und einer geringen Einsenkung des Fahrspiegels (Abb. 3.24).

Belgrospis treten periodisch an der Außenschiene von Richtungsgleisen sowie vereinzelt alternierend im geraden Gleis als Rissnester bzw. Rissflecken in unterschiedlich stark ausgeprägter Form auf (Abb. 3.25). Offensichtlich besteht ein

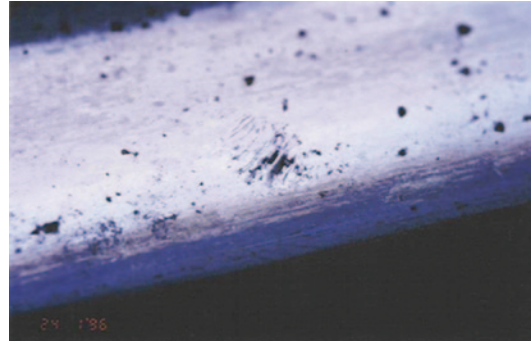


Abb. 3.25 Belgrospi. (Quelle: DBAG)

geometrischer Zusammenhang zu vorhandenen Riffeln. Die Rissnester befinden sich in derselben Ebene wie die Riffelberge.

Shelling tritt an Außenschienen von Bögen mit Radien zwischen 200 und 800 m auf. Es zeigt sich zunächst ein schwarzer Fleck als Folge einer Fahrspiegelabsenkung zur Fahrkante hin, gefolgt von einem späteren Fahrkantenausbruch. Shelling entsteht in einer Tiefe von 3 bis 10 mm (Schubspannungsmaximum) in Form feiner horizontaler Schwingungsrisse. Diese haben meist einen zeilenförmigen Ausgang infolge nichtmetallischer Einschlüsse aus Al_2O_3 . Im Anfangsstadium ist an der Schiene noch keine Schädigung festzustellen. Erst wenn ein solcher zeilenförmiger Riss weiterwächst entstehen als erstes die schwarzen Flecken.

3.5 Prüfen, Messen und Bewerten von Schienen und Schienenschweißungen

3.5.1 Allgemeines

Zum fachgerechten Prüfen, Messen und Bewerten von Schienen und Schienenschweißungen werden unterschiedliche Werkzeuge benötigt. Grundsätzlich unterscheidet man:

- Prüfgeräte u. a.
 - Diverse Lehren und
 - Ultraschallprüfgeräte
- Messgeräte u. a.
 - Schienenkopfmesser

| Bezugspunkte | | Symbol | Profilklasse [mm] |
|---------------------------|--------------|--------|-------------------|
| Schienenhöhe | 60 E1 | H | ±0,6 |
| | 54 E2, 49 E1 | | ±0,5 |
| Breite des Schienenkopfes | | WH | ±0,5 |
| Schienenasymmetrie | | AS | ±1,2 |
| Laschenhöhe | 60 E1 | HF | ±0,6 |
| | 54 E2, 49 E1 | | ±0,5 |
| Stegdicke | | WT | +1,0 / -0,5 |
| Schienenfußbreite | | WF | ±1,0 |
| Schienenfußdicke | | TF | +0,75 / -0,5 |
| Konkavität am Schienenfuß | | | max. 0,3 |

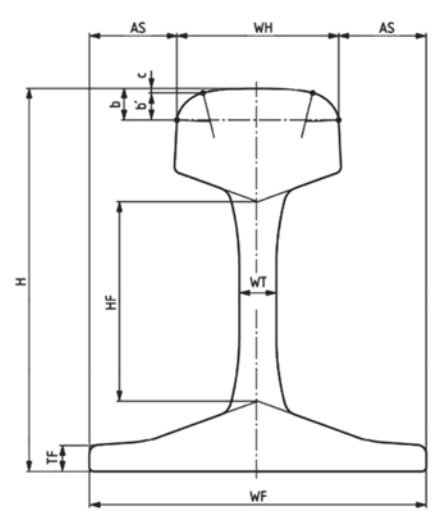
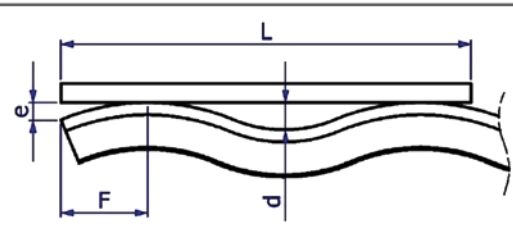


Abb. 3.26 Walztoleranzen – Bezugspunkte für die Grenzabmaße. (Aus EN 13674-1:2011, adaptiert von Alfred Wöhnhart)

Abb. 3.27 Vertikale Geradheit der Schienenenden. (Aus EN 13674-1:2011, adaptiert von Alfred Wöhnhart)

| | |
|---|---|
| <p>L = 2 m d ≤ 0,4 mm und d ≤ 0,3 mm^{*)} und e ≤ 0,2 mm</p> |  |
| <p>*) L reicht 1 m über das Schienenende hinaus</p> | <p>Wenn e > 0, dann muss F ≥ 0,6 m sein</p> |

- Messpunkttester
- Lineale (1,0 m, 2,0 m und 3,0 m)
- Messfühlerlehren
- Messkeile
- Elektronische Lineale

3.5.2 Schienen

Bei der Herstellung von Schienen im Walzwerk werden im laufenden Prozess ständig Prüfungen und Kontrollmessungen vorgenommen, siehe Abb. 3.26.

Für Strecken mit untergeordneter Bedeutung können auch weniger strenge Toleranzklassen gewählt werden.

Weitere nach EN 13674-1:2011 zu bewertende Merkmale sind:

- Vertikale Geradheit der Schienenenden (siehe Abb. 3.27)
- Horizontale Geradheit der Schienenenden (siehe Abb. 3.28)
- Vertikale und horizontale Ebenheit der Schienen (siehe Abb. 3.29)

Abb. 3.28 Horizontale Geradheit der Schienenenden. (Aus EN 13674-1:2011, adaptiert von Alfred Wöhhart)

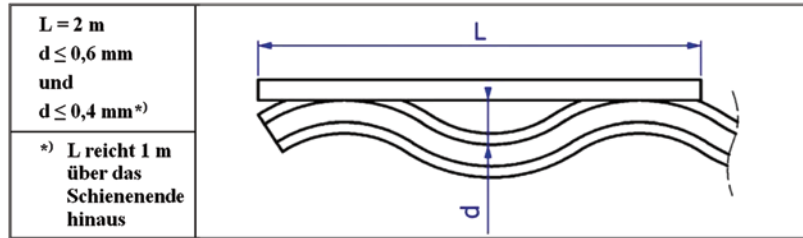
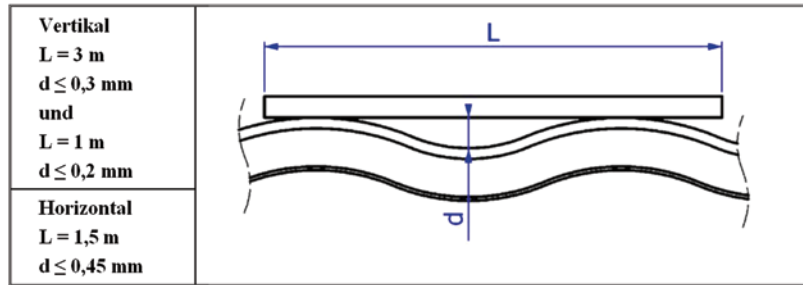


Abb. 3.29 Vertikale und horizontale Ebenheit der Schienen. (Aus EN 13674-1:2011, adaptiert von Alfred Wöhhart)



3.5.3 Schweißungen

Eine weitere spezielle Herausforderung des Oberbauschweißens ist die Geometrie der Schienenverbindungsschweißung bzw. der Schienenauftragschweißung. Die Funktion der Schienen bzw. des Weichengroßteils, Fahrfläche und Spurführungselement mit anspruchsvoller Ebenheit zu sein, verlangt eine sehr genaue Arbeitsausführung. Die Schiene ist ein Walzprodukt; die international abgestimmten Fertigungstoleranzen wurden bereits in Abb. 3.26 beschrieben. Für die Schweißungen gelten schärfere Bedingungen. Dies stellt an die handwerklichen Fähigkeiten der Schweißer, die die Schweißung nachträglich mit Schienenkopfschleifmaschinen fertig bearbeiten, hohe Anforderungen. Im Allgemeinen gelten die Abnahmetoleranzen gemäß Tab. 3.12, 3.13 und 3.14 Spürverengungen und Spürerweiterungen sind hiernach bedingt möglich.

Hier besteht ein andauerndes Zuordnungsproblem zwischen herstellungsbedingter Geradheit der Schienenenden und Fertigungsfehlern des Schweißers. Im Hochgeschwindigkeitsverkehr (HGV) wird jede Schweißung dokumentiert, in anderen Gleisen nur solche mit Mängeln.

3.5.4 Methoden der zerstörungsfreien Prüfung von Schienen

Um Fehler an Schienen zu erkennen und zu bewerten, stehen Methoden der zerstörungsfreien Prüfung (ZfP) entsprechend Tab. 3.15 zur Verfügung.

Bei der Anwendung der Ultraschallschienenprüfung werden verschiedene Prüfköpfe verwendet. In der Regel sind dies Senkrechtprüfköpfe (0°) und Winkelprüfköpfe (35°, 37°, 45° und 70°) je nach Aufgabe. Abb. 3.30 zeigt eine Prüfkopf-Kombination (System Sperry) mit dem erreichbaren Querschnittsfeld.

Die Entscheidung, wie die aufgefundenen Fehler zu behandeln sind obliegt dem Infrastrukturbetreiber. Die Festlegungen der DB AG beruhen auf langjährigen Erfahrungswerten, siehe Tab. 3.16.

3.6 Herstellen lückenloser Gleise und Weichen

3.6.1 Allgemeines

Ein „lückenloses Gleis“ ist ein Gleis, dessen Schienen nicht durch Laschen verbunden, sondern durchgehend verschweißt sind. Gleise mit

Tab. 3.12 Geometrische Abnahmekriterien der DBAG für Baustellenverbindungsschweißungen

| Bahnanlagen | | Geschwindigkeit [km/h] | | |
|---|------------------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------|
| | | Durchgehende Hauptgleise | | Übrige Gleise |
| | | ≤ 300 | ≤ 230 | < 80 |
| | | > 230 | | |
| Zulässige Fertigungstoleranz [mm] | | | | |
| ↑ | Fahrfläche, Spitze | 0,2 | 0,3 | 0,3 |
| ↓ | Fahrfläche, Senke | 0,1 ¹⁾ | 0,2 ^{1,2,3)} | 0,2 ³⁾ |
| ⇒ | Fahrkante, „Spurerweiterung“ | 0,1 | 0,3 | 0,3 |
| ⇐ | Fahrkante, „Spurverengung“ | 0,1 | 0,2 | |
| ⇔ | Fußkanten, horizontal | 2 mm ⁴⁾ | | |
| ¹⁾ Ausschleifen der Senke mit einer Rampe 1:1000 (bei V > 160 km/h), nur mit Genehmigung des Auftraggebers. ²⁾ Ausschleifen der Senke mit einer Rampe 1:500 (bei V ≤ 160 km/h), nur mit Genehmigung des Auftraggebers. ³⁾ Flammrichten und profilgerecht schleifen, nur im Einzelfall und mit Überwachung durch den Auftraggeber. ⁴⁾ Beim Verschweißen von 60 E2 mit 60 E2-40 ist ein konstruktiv bedingter Versatz von ca. 4 mm zulässig. | | | | |

Tab. 3.13 Geometrische Abnahmekriterien der ÖBB/SBB für Baustellen- und Werkverbindungsschweißungen

| | | Geschwindigkeit [km/h] | |
|-----------------------------------|-------------------|------------------------|------------------|
| | | ≤250 | ≤ 140 |
| | | > 140 | |
| Zulässige Fertigungstoleranz [mm] | | | |
| Fahrfläche | Spitze | 0,2/0,3 | 0,3 |
| | Senke | 0,2 ^a /0,3 | 0,3 ^a |
| Fahrkante | „Spurerweiterung“ | 0,2/0,3 | 0,3 |
| | „Spurverengung“ | 0,2/0,3 | 0,3 |

^a Anzustreben sind Ebenheit bzw. eher Spitze als Senke

verschweißten Schienen mit einer Länge über 60 m gelten als lückenlose Gleise.

Die verhinderten Längsbewegungen aus Temperatureinflüssen werden im lückenlosen Gleis in Längsspannungen (Längskräfte) umgesetzt. Sie müssen zu den Längskräften addiert werden, die aus der Benutzung des Gleises durch die Schienenfahrzeuge entstehen. Das gilt im übertragenen Sinn auch für Weichen.

Diese Längskräfte werden durch die Rahmensteifigkeit sowie den Quer- und Längsverschiebewiderstand des Gleises aufgenommen.

Um diese Kräfte in einer technisch beherrschbaren Größe zu halten, sind die Schienen innerhalb einer spannungsneutralen Schienentemperatur zu verschweißen und durch Anziehen der Befestigungsmittel zu verspannen.

Tab. 3.14 Geometrische Abnahmekriterien der DB AG für Werkverbindungsschweißungen

| Bahnanlagen | Leitgeschwindigkeit [km/h] | | | | | | |
|-----------------------------------|--------------------------------|----------------|----------------|---------------|------|----------------------|-------------|
| | Durchgehende Hauptgleise | | | | | Sonstige Hauptgleise | Nebengleise |
| | < 300 ≥ 230 | < 230 ≥ 160 | < 160 ≥ 120 | < 120 ≥ 80 | < 80 | --- | --- |
| Zulässige Fertigungstoleranz [mm] | | | | | | | |
| Fahrfläche Spitze | +0,1 bis +0,3 | | +0,3 | | | +0,3 | |
| Fahrfläche Senke | Nicht zulässig | | -0,1 | | | -0,2 | |
| Fahrkante „Spurerweiterung“ | -0,1 | -0,2 | -0,3 | | | -0,3 | |
| Fahrkante „Spurverengung“ | Nicht zulässig (Spurverengung) | | | | | | |
| Fußkanten horizontal | ±1,5 | ±2,0 | | | ±2,0 | | |
| Ebenheit | 0,2 auf 200 mm Länge | | | | | | |

Tab. 3.15 Methoden der zerstörungsfreien Prüfung

| Prüfmethode | Prüfdurchführung | Prüfgerät | Erkennbare Fehler |
|------------------------------|--|---|---|
| Visuelle Prüfung | Gleisbegehung | Lehren Schienenkopfmesser | Äußere Fehler |
| Ultraschallprüfung | Gleisbegehung mit Schienenprüfgerät Fahrt mit Schienenprüffahrzeug oder Schienenprüfzug | US-Gerät mit Handprüfkopf Schienenprüfgerät Schienenprüffahrzeug Schienenprüfzug | Innere Fehler |
| Wirbelstromprüfung | Gleisbegehung mit Prüfgerät Fahrt mit Schienenprüffahrzeug oder Schienenprüfzug | Wirbelstrom-Gerät handgeführt oder in Schienenprüfgerät oder Schienenprüfzug integriertes Wirbelstrom-Gerät | Oberflächennahe Fehler (bereits sichtbar bzw. im Entstehen) |
| Spannungsmessung in Schienen | Gleisbegehung mit Prüfgerät | Prüfgeräte auf elektromagnetischer Basis | Schienenlängsspannung infolge Temperaturänderung |

Bei der DB AG beträgt die mittlere Temperatur +20°C (Mittelwert aus +65 und -25°C). Die Solltemperatur ist mit +23°C festgelegt, der Verspanntemperaturbereich liegt zwischen +20 bis +26°C.

Bei den ÖBB liegt der Verspanntemperaturbereich zwischen +20 und +25°C.

Bei den SBB beträgt die Verspanntemperatur +25°C/±3, im Tessin +28°C/±3.

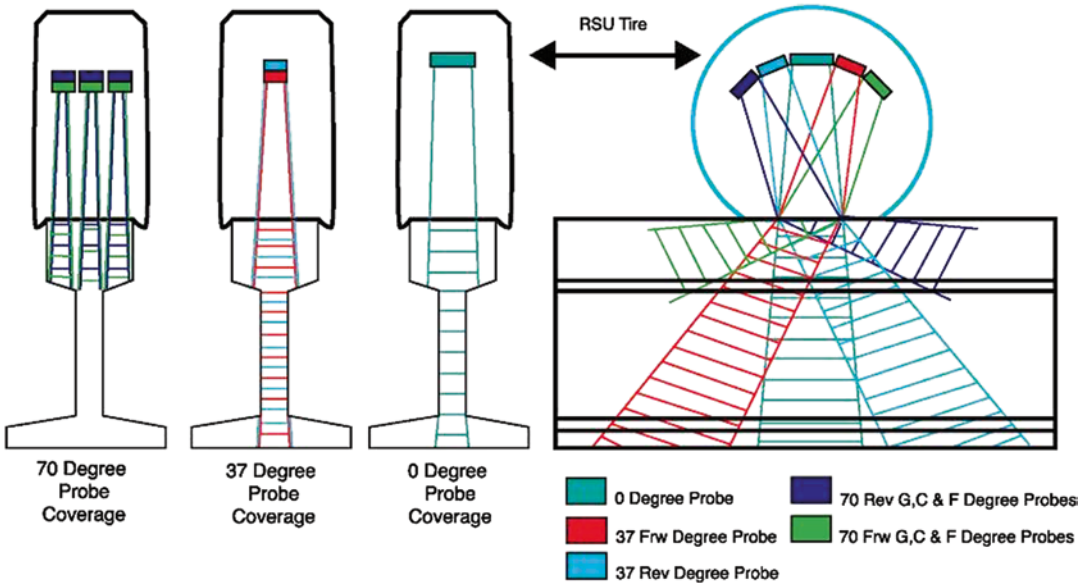


Abb. 3.30 Prüfkopfplanung „System Sperry“ im Schienenprüffahrzeug

3.6.2 Spannungsausgleich im Gleis

Der Spannungsausgleich der Schienen und das anschließende Verschweißen zum lückenlosen Gleis und das Verspannen (Befestigen) der Schienen (durch das Kleiseisen auf der Schwelle) darf nur erfolgen, wenn

- das Gleis die konstruktiven Voraussetzungen erfüllt, ausreichend erfüllt ist (Bettungsquerschnitt), sowie in Höhe, Abstand und Richtung den Projektforderungen entspricht, sowie
- die festgelegte Verspanntemperatur als natürliche Wärme gegeben ist oder im Bereich unterhalb der Verspanntemperatur entsprechende Maßnahmen (wie nachfolgend beschrieben) getroffen werden. Liegt die Schienentemperatur über der Verspanntemperatur, dürfen der Spannungsausgleich und die Herstellung des lückenlosen Gleises nicht erfolgen.

Die Arbeitsfolge beim Spannungsausgleich, Verschweißen und Verspannen ist am Beispiel der DB AG wie folgt vorgeschrieben:

- Lösen der Schienenbefestigungsmittel
- Entspannen der Schienen (durch seitliche Schläge auf die Schiene mit einem Kunststoffschlägel)

- Messen der Ausgangstemperatur. Liegt diese unterhalb des Verspanntemperaturbereichs sind die Schienen zu längen¹
- Ermitteln der Längenänderung (siehe Abb. 3.31)
- Anzeichnen der ermittelten Längenänderung an den Kontrollpunkten
- Längen der Schienen bei gleichzeitiger Kontrolle der Längenänderung an den Kontrollpunkten
- Verspannen der Schienen
- Ausführung der Schlusschweißung

Bei der Herstellung des lückenlosen Gleises mit der mobilen Abbrennstumpfschweißmaschine ist zu beachten, dass die Schienen beim Verschweißen (siehe Pkt. 3.2.2) verkürzt werden und sich somit ihre Lage auf den Schwellen ständig verändert. Alle Fixpunkte (z. B. Gleisschaltmittel u. ä.) können also erst nach der Verschweißung angebracht werden. Es gilt die oben beschriebene Arbeitsfolge. Die ggf. erforderliche Längung

¹ Das Längen der Schienen ist durch gleichmäßiges Anwärmen mit Wärmegeräten oder durch Einsatz hydraulischer Schienenziehgeräte durchzuführen (bei den ÖBB werden seit 1990 ausschließlich hydraulische Ziehgeräte eingesetzt).

Tab. 3.16 Bewertung der mit Ultraschall gefundenen Fehler (DB AG)

| | | Lage in der Schiene und Fehlergröße Fehlerausdehnung | | |
|--------------------|--|---|---|---|
| Fehlergruppe | Fehlerbeschreibung | Kopf | Steg | Fuß |
| 1 | <ul style="list-style-type: none"> • Querfehler • Längsfehler, senkrecht oder waagrecht • Waagrechter Längsfehler in Verbindung mit Head Checks, Squats, Shellings • Querfehler in Verbindung mit Head Checks, Squats, Shellings | H > 50 % BSH L > 30 mm oder H > 50 % BSH L > 25 mm nicht zulässig | L > 10 mm L > 50 mm | L > 10 mm L > 50 mm |
| | <ul style="list-style-type: none"> • Definierte Fehler (nur mit zugelassenen Verfahren detektierbare Fehler) | <ul style="list-style-type: none"> • Längsfehler, die bis zu einer Stoßlücke oder Schweißung reichen • Fehler im unbefestigten Teil der Zungen von Weichen oder Schienenausügen • Fehlerhafte Laschenkammern • Fehler an beweglichen Herzstücken • Fehler der Fehlergruppe 2, wenn ihr Abstand kleiner ist als der Schwellenabstand¹⁾ • Bohrungsarisse in der Laschenkammer • Unvollständig verschweißte Laschenlöcher²⁾ | | |
| 2 | <ul style="list-style-type: none"> • Querfehler • Längsfehler, senkrecht oder waagrecht • Waagrechter Längsfehler in Verbindung mit Head Checks, Squats, Shellings • Querfehler in Verbindung mit Head Check, Squats, Shellings | 20 % < BSH ≤ 50 % 10 mm < L ≤ 30 mm oder 20 % < BSH ≤ 50 % L > 10 mm siehe Fehlergruppe 1 | 5 mm < L ≤ 10 mm 20 mm < L ≤ 50 mm | 5 mm < L ≤ 10 mm 20 mm < L ≤ 50 mm |
| | <ul style="list-style-type: none"> • Definierte Fehler | <ul style="list-style-type: none"> • Fehler der Fehlergruppe 3, wenn ihr Abstand kleiner als der Schwellenabstand ist¹⁾ | | |
| 3 | <ul style="list-style-type: none"> • Unregelmäßigkeiten, die wegen ihrer geringen Größe noch nicht der Fehlergruppe 2 zugeordnet werden können | | | |
| S | <ul style="list-style-type: none"> • Fehler in Verbindungsschweißungen | | | |
| Legende: | | | | |
| BSH Bildschirmhöhe | | | | |

¹⁾ Bei den ÖBB erfolgt das Höherstufen eines Fehlers dann, wenn der Abstand zweier Fehler der niedrigeren Fehlergruppe größer als 30 cm und kleiner als 2 m ist.

²⁾ Bei den ÖBB ist das Verschweißen von Laschenlöchern untersagt.

Abb. 3.31 Berechnung der Längenänderung (zusammengefasst von Alfred Wöhnhart)

$$\Delta L = L \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

ΔL Längenänderung, die auf Grund der Schientemperatur (unter +20 °C) durch Längen mit hydraulischen Ziehgeräten (oder durch Anwärmen) herzustellen ist

L Schienenlänge (max. 360 m), die zu verspannen ist

α Mittlerer linearer Ausdehnungskoeffizient (siehe Tabelle 3.1) „11,5“ Temperaturausdehnungskoeffizient des Schienenstahls [1/K]

ΔT Bei der DB AG bzw. den ÖBB:
Differenz der gemessenen Schientemperatur zur oberen Grenze des Verspanntemperaturbereichs (+26 °C bzw. +25 °C)
Bei der SBB:
Differenz der gemessenen Schientemperatur zur mittleren Verspanntemperatur (+25 °C bzw. +28 °C im Tessin)

Beispiel/Faustregel: L = 100 m, $\Delta T = 10$ °C => 12 mm (ΔL)

der Schienen erfolgt mit Wärmegegeräten oder hydraulischen Schienenziehgeräten. Alle Dehnungen der Schienen sind durch Kontrollmarken zu überwachen.

Seit September 2011 ist als Alternative zu der o. a. Vorgangsweise eine neu konzipierte mobile Abbrennstumpfschweißmaschine bei den ÖBB im Einsatz. Diese Maschine kann in einem Arbeitsgang die zu verschweißenden Schienen hydraulisch auf die erforderliche Länge bringen und anschließend verschweißen.

3.6.3 Spannungsausgleich in Weichen

Weichen dürfen nur dann lückenlos verschweißt und verspannt werden, wenn sie ausreichend mit Schotter verfüllt sind und in Höhe, Abstand und Richtung den Projektbedingungen entsprechen.

Da die einzelnen Weichen (konstruktions- und herstellerbedingt) voneinander abweichen, ist es unbedingt erforderlich die Festlegungen der Infrastrukturbetreiber zu beachten.

Für den Einbau der Weichen sind Einbau- bzw. Verschweißtemperaturen zu beachten:

DB AG: Weichen der Grundform

- R < 1200 m dürfen bei beliebiger Schientemperatur,
- R = 1200 m sollen im Schientemperaturbereich von +5 bis +35 °C und
- R > 1200 m müssen im Schientemperaturbereich von +10 bis +30 °C

in ihre endgültige Lage eingebaut werden.

Beim Verschweißen von Weichen wird nach Zwischen- und Schlusschweißungen unterschieden. Weichen können, mit Ausnahme der Zungen, sowohl auf dem Montageplatz als auch an der Einbaustelle verschweißt werden. Zwischenschweißungen werden nach der 1. Stabilisierung bei Schientemperaturen zwischen +3 und +25 °C ausgeführt. Der Spannungsausgleich, die Schlusschweißungen und das Anschweißen der Zungen werden nach der 2. Stabilisierung im oberen Verspanntemperaturbereich ausgeführt.

ÖBB: Weichen dürfen bei Schientemperaturen von 0 bis +35 °C verschweißt werden.

SBB: Wenn Weichen unter +10 °C Schientemperatur verschweißt werden müssen, dann ist bei einer wärmeren Temperatur die Verspannung zu wiederholen.

Bei langen Zwischenpartien bei einem Radius der Grundform > 900 m ist vorzuwärmen.

Horst Rahn

4.1 Einführung

Erdbauwerke bestehen i. d. R. nur aus natürlichen Stoffen, die meist in der unmittelbaren Nähe gewonnen wurden. Sie zeichnen sich aus durch Langlebigkeit und verträgliche Eigenschaften zur Umwelt. Wesentlich ist, dass der eingebaute Boden jederzeit bei Umbauten ohne Verlust wieder eingebaut oder ergänzt werden kann. Diesen Ansprüchen genügen Beton, mit Zement injizierte Böden und Einbauten von Geotextilien nicht. Ihr Ausbau bedeutet Entsorgung als Abfall. Es ist das Anliegen des Kapitels, darauf hinzuweisen, zukünftig nur dort solche Hilfsstoffe einzusetzen, wo es unumgänglich ist. Den nachfolgenden Generationen darf eine Explosion der Abfälle und die aufwändige Aufbereitung großer Abfallmengen nicht zugemutet werden. Der Beitrag soll nicht der Wiedergabe bestehender Vorschriften und Richtlinien dienen, sondern diese Kenntnisse voraussetzen. Nur im Fall erkennbarer Widersprüche wird darauf Bezug genommen. Die Grundkonzeption des Buches legt fest, dass der Schwerpunkt der Betrachtungen die Vermittlung von Erfahrungen ist. Dies bedeutet eine starke Betonung der Analyse von Schadensfällen und der daraus zu ziehenden Schlussfolgerungen. Als Ingenieur ist man geneigt, bei einem Schaden zuerst Fehler in der Berechnung

der Konstruktion zu suchen. Bei nüchterner Betrachtung lässt sich jedoch erkennen, dass die Technologie mit den zum Einsatz kommenden Geräten häufig wegen der Nebenwirkungen die Ursache für erhebliche Auswirkungen auf nicht geplante Veränderungen des Bauzustandes, d. h. auch eine Hauptursache der Schadensauslösung sind.

Die Herstellung der Erdbauwerke ist immer als ein Eingriff in natürliches Gelände zu betrachten. Mit dem Wachsen der Forderungen nach dem Schutz der Natur dürfen Erdbauwerke nicht nur als Zweckbauten ausgebildet werden, sondern müssen auch ästhetische bzw. landschaftsgestalterische Anforderungen erfüllen. Die Einbindung in die Topographie des Geländes ist zwangsläufig eine Störung des natürlichen Gleichgewichts hydrologischer und geologisch bedingter Standortbedingungen. Je höher das Erdbauwerk gestaltet werden soll und je mehr die Anforderungen daran wachsen, umso deutlicher müssen geologische, hydrologische und baugrundtechnische Gutachten die Wechselwirkungen Bauwerk–Baugrund des Standortes analysieren und die entsprechenden Schlussfolgerungen zur bautechnischen Lösung vorgeben.

Ein meist unterschätzter Faktor ist die Inhomogenität des Baugrundes bezüglich der anstehenden Böden, des Wasserangebots und der Auswirkungen, die durch die Errichtung des Bauwerkes entstehen. Was kann uns besser deutlich machen als Schadensfälle, ob unsere Prognosen richtig sind bzw. ob die Grundlagen nach denen wir bewerten – also unsere Vorschriften

H. Rahn (✉)
Rolandstraße 113,
13156 Berlin, Deutschland

Tab. 4.1 Allgemeine Übersicht der Erdbauwerke

| Anwendungsbereich | Fachgebiet | Spezielle Anwendung |
|----------------------------|--|--|
| Verkehrsbau | Eisenbahnbau Straßenbau | Erdbaumaßnahmen zur Überwindung von Tälern |
| | | Kreuzung von Verkehrswegen |
| | | Dämme in Mooregebieten bzw. über andere Weichschichten |
| | | Dämme als Verkehrsbauwerke und als Deich |
| | | Einschnitte und Entwässerungssysteme |
| Verkehrsbau | Wasserstraßen | Kanäle auf Erdbauwerken |
| | | Deiche und Wege/Straßen und sonstigen Hochwasserschutz |
| | Lärmschutzdämme | Erdbauwerke zum Schutz der Bevölkerung gegen Lärmeinwirkung |
| Deponiebau | Deponiedämme | Erdbauwerke zur Abfallentsorgung von Feststoffen |
| | Absetzanlagen | Erdbaumaßnahmen für die Speicherung flüssiger und schlammiger Industrieabfälle |
| | | Temporärer Spülfelder zur Sandgewinnung |
| Landschafts- und Gartenbau | Biologisch-landschaftsgärtnerisch genutzte Dämme | Städtebau bei repräsentativen Bauten |
| Ingenieurbau | Städtebau | Einschüttung von Bauwerken wie Sportstätten, Bunkeranlagen, Brücken |
| | | Bodenaustauschmaßnahmen für Bauwerke |

und Erfahrungen – ausreichend waren. Sie sind die Quelle, die Anforderungen an Konstruktion, Material und Funktion immer weiter zu entwickeln. Umso mehr sollte jeder Auftraggeber daran interessiert sein, einen Schadensfall nach Ursachen und Versäumnissen zu publizieren. Da das Eingeständnis eigenen Versagens heute nicht ungefährlich für die Erhaltung der Arbeitsstelle ist, werden viele wichtige Erkenntnisse als betriebseigenes Know-how zurückgehalten. Das kann nicht Ziel einer Gesellschaft sein, die die Wirtschaftlichkeit zur Zielstellung des Handelns gemacht hat. Die Ausbildung des Ingenieurs muss gerade mit den Konfliktthemen aus Schadensfällen angefüllt werden, um die Zusammenhänge zu begreifen und den Umgang mit dem Baustoff Boden als wesentliche Grundlage für erfolgreiche Arbeit in den Fachgebieten Erd- und Grundbau, Bodenmechanik zu beherrschen. Eine Übersicht möglicher Erdbauwerke aus den Bereichen des Bauwesens und der Entsorgungswirtschaft zeigt Tab. 4.1. Es ist verständlich, dass sich die Anforderungen an diese Erdbauwerke in wesentlichen Punkten unterscheiden, aber auch viele grundsätzliche Übereinstimmungen aufweisen.

Die Bewertung wird durch folgende Faktoren bestimmt:

- Funktion,
- Höhe des Bauwerks,
- Art der Beanspruchung (Wasser, Verkehr, Chemikalien),
- Technische Anforderungen (zulässige Verformung, Durchlässigkeit, Standsicherheit),
- Materialauswahl (Untergrund, Schüttung ...),
- Topographische Situation,
- Nebenwirkungen aus der Umgebung (Bergwerksgebiete, Bauarbeiten bei Kreuzungen).

Wenn auch häufig ungewollt, wird ein Verkehrsdamm bei ungünstigen Witterungsbedingungen, wie die Praxis beweist, manchmal auch zu einem Deich, einem Damm für die Zurückhaltung von ausgelaufenen Absetzbecken oder ein Ableitungssystem für überlaufende Meliorationsgräben. Deshalb muss die Planung auch solche Bedingungen eines Gebietes beachten, wenn der Verkehrsweg eine große Bedeutung für die Infrastruktur eines Landes hat.

Der für die Bahn tätige Ingenieur sollte sich durch ein gutes Einfühlungsvermögen für die Anforderungen des Eisenbahnbetriebes auszeichnen. So wird es ihm gelingen, die zutreffenden

Wirkungssysteme auf das Erdbauwerk (Kabelführung, Maste der Elektrifizierung, Durchlässe, Brücken ...) abzuleiten sowie die Forderung nach Sicherheit und Zuverlässigkeit des Erdbauwerkes in der Bau- bzw. Reparaturphase sowie in der Nutzungsphase zu gewährleisten. Durch die Bemühungen um eine Privatisierung der Bahn sind – bezogen auf das Erdbauwerk – einige Wirkmechanismen, z. B. die Baustoffprüfstellen der Deutschen Reichsbahn und Deutschen Bundesbahn (gegründet 1921 – abgeschafft 1992), nicht mehr wirksam. Die Fachkompetenz müssen jetzt Planer und Ingenieure in der Instandhaltung vertreten. Es ist die Absicht des Kapitels, die wiederkehrenden Fehler im Erd- und Tiefbau herauszustellen, um die damit verbundene Systematik besser zu erkennen. Das hat seinen Grund in der Tatsache, dass die Ursache vieler Umplanungen bei Erd- und Tiefbauarbeiten letztlich auf Mängel in der Baugrunduntersuchung, der Planung und der Technologie zurückzuführen sind. Dies hat zur Folge, dass die Mehrkosten in diesem Fachgebiet einen Spitzenplatz im Vergleich zu anderen Gewerken einnehmen. Aber auch Schadensfälle häufen sich hier besonders. Interessant wird ein Einzelsachverhalt erst in der Bewertung mit den im Zusammenhang stehenden Faktoren. Deshalb wird die Diskussion darüber vorwiegend am Beispiel von Schadensfällen geführt. Neben fachlichen Fehleinschätzungen darf der Anteil der Vertragspartner durch fehlerhafte Aufgabenstellungen, schlechtes Management, fehlende Fachkompetenz nicht ohne Berücksichtigung bleiben.

4.2 Baugrundtechnische Bewertung der Erdbauwerke und des Baugrundes

Die Qualität der Planung und das Langzeitverhalten der Erdbauwerke werden insbesondere bei schwierigem Untergrund durch die Aussagen des Baugrundgutachtens bestimmt. Eine Analyse von Schadensfällen zeigt folgende Fehlerquellen:

- Aufgabenstellung und Auswahl des Baugrundgutachters durch den Auftraggeber für die Vorplanung bzw. die Entwurfsplanung sind oberflächlich,

- Art der Ausschreibung der Baugrundleistungen und ihre Vergabe,
- ungenügende Ergänzung der Baugrundaussagen nach Wahl des Bauverfahrens in der Ausführungsplanung bzw. Bauphase,
- Zusatzforderungen der Behörden im Laufe der Plangenehmigung, z. B. Umwelt, Wasser,
- ungenügende Erschließung der Baugrundverhältnisse und der hydrologischen Situation,
- bei vorhandenen Weichschichten die ungenügende Abgrenzung im Trassenbereich, bei der Ermittlung der Rinnen und ggf. von Querneigungen des tragfähigen Baugrundes,
- ungenügende Überwachung des Bohrbetriebes (Bohrgerät, Probeentnahmetechnik, Einmessung der Bohransatzpunkte, Probenaufbewahrung, Transport ...),
- fehlerhafte Klassifizierung der Böden, ungenügende Laborprüfungen, Anwendung falscher Versuchsdurchführungen, statistisch nicht abgesicherte Bodenkennwerte,
- falsche oder unvollständige Schlussfolgerungen des Baugrundgutachters aus den Aufschlüssen, den bodenphysikalischen Kennwerten, mangelhafte Erfahrung in der praktischen Realisierung bei den anzuwendenden Gründungsverfahren und der Erdbautechnologie,
- Nichtbeachtung der Veränderungen der Bodenkennwerte durch technologische Vorgänge oder andere Nebenwirkungen,
- Nichterkennen der kritischen Bauzustände,
- ungenügende Beachtung der Auswirkungen aus der angewandten Bautechnologie auf die anliegende Bebauung.

Was allerdings trotz der vermeintlichen wirtschaftlichen Vorteile häufig der Auftraggeberseite große Probleme bereitet, ist die Anwendung der funktionalen Ausschreibung bei Vorhaben mit schwierigen Baugrundverhältnissen. Gerade solche Vorhaben erfordern eine sehr gründliche Analyse der Baugrundsituation im Voraus wie:

- Literatur- und Archivrecherchen, um Informationen aus der Herstellungsphase des Erdbauwerkes und seiner Veränderungen in der Nutzungsphase einschließlich Schadensbeseitigung zu erhalten,
- bautechnischer Zustand (Erhaltungsaufwand) und seine Beanspruchungen,

- Bedeutung des Bauwerkes bisher und die zu planenden Veränderungen (technische Parameter),
- Bewertung alter Gutachten und sonstiger Dokumentationen.

Aus den genannten Informationen wird sich die spezielle Sanierungsmethode abzeichnen. Hier müssen Baugrundgutachter und Auftraggeber beweisen, dass sie den Erfahrungsschatz aus der Vergangenheit mit den Ergebnissen der modernen Technik verbinden können. Der Auftraggeber ist gut beraten, wenn er die Aufgabenstellung für den Komplex der Baugrunduntersuchung, wie auch erste Vorplanungen, schon unter dem Blick möglicher Lösungen beeinflusst. Der Baugrundgutachter muss die Qualität der geforderten Aussagen im Baugrundgutachten deutlich erkennen lassen, ob es sich um

- eine Abschätzung der Baugrundverhältnisse mit einem Minimum an Baugrundaufschlüssen für eine Vorplanung geht,
- ein Baugrundgutachten für die Anforderungen einer Entwurfsplanung handeln soll. Dann ist in jedem Falle den Forderungen aus DIN, Betriebsnormen und Erkenntnissen der Analyse des Langzeitverhaltens des Erdbauwerkes zu entsprechen. Hier muss der Auftraggeber bereits auf evtl. kritische Bauzustände hinweisen, denn diese können bei schwierigen Baugrundverhältnissen eine noch so gute konstruktive Lösung im Endzustand in Frage stellen.

Der Baugrundgutachter ist der Berater des Auftraggebers. Der Auftraggeber trägt alle Risiken des Baugrundes, wenn diese nicht aus der Erkundung deutlich werden. Der Auftraggeber erkennt bei solchen Problemdiskussionen, ob der vorgesehene Baugrundgutachter überhaupt über die nötigen Erfahrungen und Kenntnisse verfügt, also für die Aufgabe ausreichend qualifiziert ist. Mit dem Ergebnis solcher Fachgespräche sind die Voraussetzungen für die Ausschreibung der baugrundtechnischen und der Erkundungsfragen zur Entwurfsplanung gegeben. Bedauerlicherweise wird häufig dem billigsten Anbieter der Baugrunduntersuchungen diese Aufgabe übertragen. Durch Bietergespräche mit den in die engere Wahl gezogenen Ins-

tituten sollten folgende Kriterien berücksichtigt werden:

- Referenzobjekte in Planung und Realisierung,
- Nachweis des notwendigen Fachpersonals und der technischen Voraussetzung,
- plausible Angebotsgestaltung mit allen Aspekten, die der Auftraggeber zu berücksichtigen hat,
- statistische Sicherheit der Laborkennwerte für inhomogene Baugrundsicherungen.

Bei der Meinungsbildung kann der Auftraggeber durch eine entsprechende Analyse die Vergabe entscheiden. Das schließt nicht aus, Nachbesserungen zu fordern. Mit der Entscheidung muss eine vertrauensvolle Zusammenarbeit mit dem Baugrundgutachter beginnen. Soll das Baugrundgutachten auch allen Anforderungen der Ausführungsplanung genügen, so sind die Aufwendungen wegen der fehlenden Angaben der zu wählenden technischen Lösung mit entsprechenden Varianten relativ hoch. Wenn es auch manchmal terminlich schwierig ist, so sollte dieses Ergänzungsgutachten erst nach dem Vorliegen der Vorentwurfsplanung erstellt werden. Hier können offene Fragen zu den Baugrundverhältnissen, den Berechnungskennwerten und der Optimierung zur Bewältigung der kritischen Bauzustände auf der Basis einer konkreten Planung bearbeitet werden. Besonders wird dies bei Verkehrsbauobjekten, z. B. bei der Kreuzung von Verkehrswegen deutlich. Dann sind meist die Geschwindigkeitskonzeptionen für den Fahrbetrieb und damit die Anforderungen einer zulässigen Setzung in der Bauzeit, Mindestforderungen an die Standsicherheit, die voraussichtliche Bauzeit und die Einflüsse auf die Natur bei den Partnern bekannt. Auf dieser Basis lässt sich eine konkrete Aufgabenstellung für das Ergänzungs-Baugrundgutachten (Hauptuntersuchung) bearbeiten und beauftragen. Durch diese stufenweise zu erarbeitenden Baugrundaussagen wird erreicht:

- der Auftraggeber trägt ein vertretbares Baugrundrisiko,
- der Baugrundgutachter kann stärker in die Verantwortlichkeit eingebunden werden,
- Planungsänderungen werden auf ein Minimum begrenzt,

Tab. 4.2 Geotechnische Beurteilung der Erdbauwerke

| |
|---|
| Standsicherheit |
| Tragfähigkeit |
| Frostsicherheit |
| Verformungsverhalten |
| Elastizität |
| Filterstabilität |
| Schwingstabilität/Dynamische Stabilität |

- die Grundlagen der Vertragsgestaltung sind weniger anfällig, Störungen in der Bauzeit sind geringer, Nachträge in einem begrenzten unvermeidlichen Rahmen sind zu erwarten,
- die Qualität des hergestellten Erdbauwerkes ist wesentlich höher.

Die Baugrundbegutachtung in der Planungsphase durchzuführen oder über das Planungsbüro zu vergeben, ist – wie die Praxis zeigt – mit einem hohen Risiko für den Auftraggeber behaftet. Es ergibt sich meist keine optimale Lösung. Die baugrundtechnischen Belange sind nicht genügend verwertet, weil eine Parallelarbeit immer Annahmen voraussetzt, die sich in der Endphase ggf. nicht bestätigen. Außerdem sind die Mittel für den baugrundtechnischen Teil der Planungsphase nicht auskömmlich, weil die Systematik der HOAI ein allgemeines Gutachten, was unter der Regie des Auftraggebers erstellt wird, voraussetzt. Häufig wird ein Gutachten als eine beschreibende Aufgabe angesehen. Die Erfahrung sagt, dass ein Baugrundgutachten eine beschreibende und eine technisch orientierende Aufgabenstellung für die zu wählende Konstruktion und das Bauverfahren bezüglich der realen Baugrundverhältnisse zu liefern hat. Inhaltlich muss das Erdbauwerk nach den geotechnischen Kriterien der Tab. 4.2 beurteilt werden. Diese Bewertung muss in allen relevanten Phasen gesichert sein.

Dabei fordert eine Sanierung das umfassendste Untersuchungsprogramm:

- Zustandsbewertung vor Baumaßnahme (Istzustand),
- Veränderung durch die geplante Lösung,
- Auswirkungen der Bauzustände, Definition des kritischen Bauzustandes mit den zutreffenden Randbedingungen,
- Fertigstellung und Nutzungsbeginn,
- Bewährung in der Nutzungsphase.

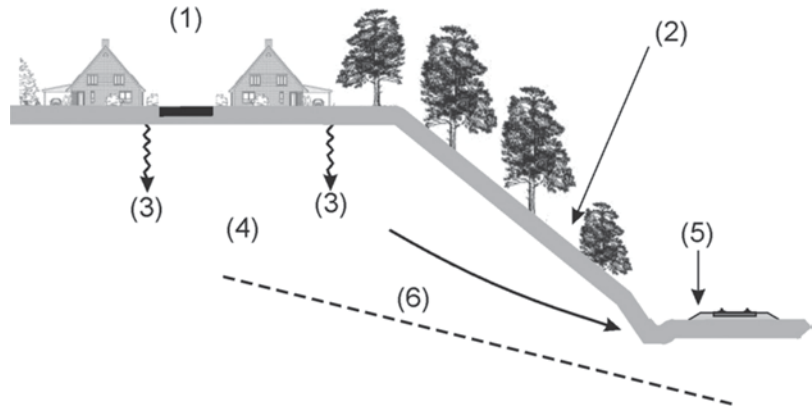
Allein die Aufzählung dieser Faktoren beweist, dass ein umfassendes und fundamementiertes Baugrundgutachten, gültig für alle Bauphasen, nur bei sehr einfachen Verhältnissen ausreichend ist. Deshalb ist ein Gutachten mit entsprechenden Ergänzungen in den Planungsphasen meist die wirtschaftlichere Lösung. Sie bietet die besten Voraussetzungen für eine umfassende und ausgereifte bautechnische Lösung, die mit den Boden- und Baugrundverhältnissen harmoniert.

4.2.1 Geologische, hydrologische Situation, Einfluss aus der Verwitterung

Eine intensive Bewertung geologischer und hydrologischer Bedingungen vor Ort ist eine wichtige Voraussetzung, um die Schwachpunkte des Baugrundes vor einer Baumaßnahme, soweit diese aus dem Entstehungsprozess der Erde herühren, zu erkennen. Dazu gehören geologische Störzonen, wie

- alte Vulkanschote mit den stark wechselnden Materialeigenschaften (Verwitterung, Frostempfindlichkeit und Tragfähigkeitsunterschiede),
- Übergänge von Festgesteinen zu Sedimenten durch das verschiedene Setzungsverhalten,
- Tuff und porphyrische Gesteine mit großen Unterschieden der Wasserdurchlässigkeit,
- veränderlich feste Gesteine, z. B. Tonschiefer, Buntsandstein durch Lösung der Gesteinsfestigkeit nach Entlastung und Verwitterung,
- Tonablagerungen mit Harnischflächen, die bei Anschnitt zu Wasseraustritten, Rutschungen und Verlust der Oberflächenstruktur durch die Verwitterung führen können. Sie sind erschütterungsempfindlich (Neigung zu Thixotropie und Quellen),
- Karst und Erdfallgebiete als Folge von Auslaugungen in unterirdischen Räumen,
- Eiszeitlich geprägte Gebiete mit Rinnen organischer Ablagerungen und Auftümmung von wasserempfindlichen Böden als Reste der Endmoränen,
- lockere Sande (Dünen/Aufschüttungen) wegen der Gefahr des Setzungsfließens,

Abb. 4.1 Situation an der Strecke Weimar–Gera 1981. 1 bebautes Hochplateau mit Gartenanlage; 2 begrünzte, standsichere Festgesteinböschung; 3 Versickerung; 4 poröser Porphyr; 5 angeschnittener Bahnkörper; 6 wasserundurchlässiges Gestein



- Lössablagerungen durch wechselnde Kalkgehalte und Struktur mit Auswirkungen von Setzungen.

Diese Störzonen können in einer Verkehrsfläche, wenn sie nicht mit bautechnischen Mitteln unwirksam gemacht werden, zu Einschränkungen des Fahrbetriebes und hohen Unterhaltungsaufwendungen bis zur Streckensperrung führen. Nachfolgende Beispiele sollen einige fehlerhafte Einschätzungen der geologischen Situation einschließlich der aus Materialeigenschaften entstandenen Schadensfälle erläutern.

4.2.1.1 Starke Verwitterung eines Felsgesteins

In den Jahren 1962 bis 1964 wurde eine Bahnstrecke bei Ronneburg in Thüringen durch ein Bergmassiv aus veränderlich festem phylitischen Tonschiefer als Einschnitt von ca. 15 m Tiefe hergestellt. Die Lösung sah Böschungen von 1: 2 und eine Abdeckung mit Mutterboden von 0,30 m vor. Schon während der Bauarbeiten zeigte sich die sehr unterschiedliche Gesteinsqualität. In der Winterperiode aufgefrorene Böschungflächen rutschten im Frühjahr erst als punktförmige Störstellen, im folgenden Winter aber großflächig ab. Die Verwitterung durch die Auflockerung und den Frost führte zu einer sehr schnellen Entfestigung und so zum Abfließen bzw. Abrutschen. Die Folge war, dass in den aufgefahrenen Einschnitt ein massives Tunnelbauwerk eingebaut und der Einschnitt wieder verfüllt werden musste. Die Baukosten hatten sich mehr als verdoppelt, die geplante Bauzeit

wurde um zwei Jahre überschritten. Die Klärung der Schuldfrage war schwierig, weil zu diesem Zeitpunkt eine objektive Bewertung über die Schnelligkeit und die Auswirkung einer solchen Verwitterung des Tonschiefers nur verbal möglich war. Warnungen gab es, aber es war politisch eine Priorität zum Bau der Strecke vorgegeben (Urangesteinsabbau).

4.2.1.2 Dammschäden durch Unterspülung an einem porphyrischen Bergmassiv (siehe Abschn. 4.3.2.8)

Mitte August des Jahres 1981 wurden um die Stadt Gera in wenigen Tagen Niederschläge bisher nicht festgestellter Intensität und Zeitdauer gemessen. Diese führten auch bei der Bahn zu erheblichen Schäden an Erdbauwerken. Von dem sehr porösen und zum Teil sehr inhomogenen Porphyrgestein wurden die starken Niederschläge mühelos aufgenommen. Das Wasser trat nach entsprechender Sättigung des Gesteins unter starkem Druck am Böschungsfuß aus und führte zur Unterspülung des Bahnkörpers (s. Abb. 4.1 und 4.2).

Diese Schäden führten zur Streckensperrung über mehrere Monate.

4.2.1.3 Streckenbau in eiszeitlich geprägtem Gebiet

Die Strecke Berlin–Rostock-Hafen wurde in den Jahren 1960 bis 1970 mit dem Ziel höherer Belastbarkeit und Zuggeschwindigkeiten bis 140 km/h rekonstruiert bzw. in einigen Ab-



Abb. 4.2 Unterspülung des Bahnkörpers im Anschnitt, Gera 1981

schnitten mit neuer Trassenführung als Neubau-
strecke errichtet. Geologisch betrachtet quert die
Strecke das Berliner Urstromtal, die Grund- und
Endmoränen des Frankfurter und des Pommer-
schen Stadiums der Weichseleiszeit. Die Folgen
der eiszeitlichen Prägung im nördlichen Teil der
Strecke sind ein sehr kuppiges Gelände und rela-
tiv tiefe Täler. Die Hügel werden von Ablage-
rungen des Geschiebemergels (SU*, ST^X, TL)
aus Nestern von Feinsanden/Kiessanden (SE,
SU/SE, SI, GE) und aus großflächigen Sand/
Kiesablagerungen gebildet. In der Regel findet
man mehrere Grundwasserhorizonte und häufig
gespanntes Wasser. Dies bedeutet, dass die ge-
wonnenen Böden häufig sehr fest und nur mit
Hilfsmitteln gelöst werden können bzw. ander-
erseits eine sehr weiche Konsistenz aufweisen und
ohne künstliche Austrocknung mit Branntkalk
diese Böden oft nicht einbaufähig sind. Sie sind
frostempfindlich und neigen in der Frühjahrs-
periode zu flächenhaftem Abrutschen der Bö-
schungsflächen.

Die Täler sind in den Senken meist mit organi-
schen Ablagerungen gefüllt. Die Schichten sind
i. d. R aus 3 m bis 5 m starkem Torf (HN – HZ)
und dessen Verwitterungsprodukten sowie aus
den unterlagernden Mudden (F) (Faulschlamm,
Wiesenkalk) aufgebaut. Die Mächtigkeit ge-
nannter organischer Schichten wurde in Rinnen
(Laage Nord) bis 28 m Dicke erkundet. Die vor-
gesehene Kreuzung einer Strecke in einem sol-
chen Moorfeld ist bedingt durch den „Schlängel-
lauf“ der verfüllten Urströme und Bäche erfah-
rungsgemäß geprägt durch:

- ständig wechselnde Moormächtigkeit,
- Querneigungen des tragfähigen Baugrundes
mit wechselnden Richtungen,
- große Inhomogenität der organischen Stoffe,
- unterschiedliche Tragfähigkeit und Bruchge-
fahr,
- starke Setzungen bei Belastung.

Die Hinweise aus den geologischen Besonder-
heiten solcher Moorflächen erfordern in der Pla-
nung und Ausführung eine große Sorgfalt in der
Erkundung und Einschätzung der Bodeneigen-
schaften sowie eine kritische Bewertung der ge-
wählten technischen Lösung mit all den mög-
lichen Auswirkungen auf das Erdbauwerk. Beim
Bau der Strecke Berlin–Rostock hat die Deutsche
Reichsbahn aus zum Teil in der Planung nicht er-
kannten Risiken erhebliche Nacharbeiten an Bö-
schungen von Dämmen und Einschnitten sowie
in den Mooren wegen fehlendem Know-
how in Kauf nehmen müssen. Die Schlussfol-
gerungen prägen noch heute die Bautätigkeit in
diesen Gebieten. Die genannten Schäden haben
zu einer intensiven Aufklärungskampagne mit
regelmäßigen Schulungen aller Beteiligten ge-
führt und fanden Niederschlag in den gültigen
Vorschriften der DR (TGL 24 756 und TGL 11
482/08) und entsprechenden Schulungsheften. In
der jetzt gültigen RiL 836 werden die genannten
Erfahrungen der DR nicht berücksichtigt.

4.2.2 Umweltschäden

Neben den geologisch/hydrologisch bedingten
natürlichen Schwachstellen des Baugrundes hat
der Mensch diverse Schädigungen in der Natur,

die wir heute als Umweltschäden bezeichnen, zu verantworten. Sie umfassen die Veränderungen im Boden, im Wasser und in der Luft. Dazu tragen Deponien von Fest- und Flüssigstoffen, industrielle Bauwerke und Branchen, militärisch genutzte Flächen einschließlich diverser Übungsplätze bei. Im weitesten Sinne wird auch die Ausbreitung von Vibration und Schall sowie von Staub und Gerüchen dazu gerechnet.

Der Naturschutz weist in gesetzlich festgelegten Naturschutzgebieten erhöhte Anforderungen im vorgenannten Sinne, aber auch zum Schutz der Tier- und Pflanzenwelt aus. Zur Einhaltung der Vorgaben haben die Länder der Bundesrepublik Deutschland zum Teil unterschiedliche Richtlinien erlassen. Zur Vorbereitung einer Baumaßnahme werden durch den Auftraggeber von den Umweltbehörden Zustimmungen eingeholt, die mit der Vorgabe einzuhaltender Grenzwerte, Handlungs- und Vorbeugemaßnahmen sowie Kontroll- und Nachweispflichten verbunden sind. Diese werden in der Planung durch entsprechende Maßnahmepläne festgeschrieben und sind bei den entsprechenden Abnahmen vorzulegen. Die erste Orientierung für die Planung ist das Studium des Umweltatlasses bzw. Erhebungen bei den Nutzern. Hier haben die Länder jeweils bekannte Umweltschäden zusammengestellt. Die nächste Phase zur näheren Spezifizierung der Umweltfaktoren beginnt mit der Erkundung der Einzelstandorte. Aus der Praxis sollen einige Beispiele genannter Umweltschäden angeführt werden.

4.2.2.1 Altölablagerungen

Bei Erkundungs- und Bauarbeiten 1990 zur Herstellung der Zweigleisigkeit der S-Bahnstrecke Berlin-Königs Wusterhausen (S8/S46) wurden in einer Senke bei Wildau 3 m bis 4 m dicke Altölablagerungen ermittelt, die bei der Erkundung fälschlich als eine spezielle Mudde bezeichnet worden waren. Bei den Ausbaggerungsarbeiten erwies sich der Fehler durch intensiven Gasaustritt fast tödlich für den Baggerfahrer, der bei seiner Arbeit ohnmächtig wurde. Durch intensives Handeln konnten der Verletzte gerettet und andere Betroffene im Krankenhaus behandelt werden. Nach Erkennen der Explosionsgefahr

wurde der Bahnverkehr sofort unterbrochen und die Ursache der Umstände geklärt. Die Aushubmassen wurden in entsprechenden geschlossenen Kesselwagen einem großen petrochemischen Werk zur Aufbereitung zugeführt. Bei der Ermittlung des Verursachers wurde festgestellt, dass eine Panzerfabrik im 1. und im 2. Weltkrieg in einen abgeriegelten Altarm eines Wasserkanals die Altöle ohne Wissen der Kommune deponiert und schließlich mit Sanden überdeckt hatte. Auch die Anlieger kannten die Gefahr nicht. Die Nachweisführung bzw. das Entdecken dieser Verunreinigung war einer Baugrundlaborantin in der Bauphase zu danken. Bei einer Schlämmanalyse von einer Probe, die nahe der Schadensstelle aus gelben Sanden entnommen wurde, konnte die hochgradige Verschmutzung aus dem leichten Petrolgeruch und dem im Zylinder sich bildenden Film aus Treibstoffen erkannt werden.

4.2.2.2 Kerosin im Boden

An der Strecke Berlin–Magdeburg bei Werder wurden zur Untersuchung der Unterbauverhältnisse 1992 Schürfarbeiten durchgeführt. Auffällig waren an zwei benachbarten Entnahmestellen der Geruch und die Schmierigkeit der gewonnenen Sandproben. Nach einer Stunde hatte sich in den Schürfen eine Flüssigkeit angesammelt. Die Untersuchung zeigte später, dass es sich um Kerosin handelte. Der Verdacht fiel auf einen angrenzenden Flugplatz der Roten Armee. Verursacher war ein offenbar undichtes Tanklager. Die Entsorgung sollte im sog. Einpumpen von Verdünnungsmitteln und im Absaugverfahren erfolgen.

4.2.2.3 Gärungsstoffe im Baugrund

Bei Schürfarbeiten an der Strecke Berlin–Magdeburg wurde im Stadtgebiet Werder 1992 nach Öffnen mehrerer Schürfe starker Alkohol-/Gärungsgeruch wahrgenommen. Die sandigen Bodenproben enthielten 0,5% organische Bestandteile, der Alkoholgehalt war klein, d. h. es waren keine Maßnahmen erforderlich. Als Ursache stellte sich eine Abfalldeponie im naheliegenden Hof einer Obstmosterei heraus, die seit Jahrzehnten die Früchtereste dort kompostierte.

4.2.2.4 Chemikalien in Sanden des Bahnkörpers

Bei Sanierungsarbeiten 1996/1997 am Trag-schichtsystem des Unterbaus wurde in einem Bereich von ca. 200 m nach Abtrag des Schotters des Berliner Außenrings (BAR) in Höhe eines Pharma Betriebes in Berlin-Grünau der Geruch von Arzneistoffen festgestellt. Die obere Schüttung des Bahndammes bestand aus Sanden mit hellgrauer Färbung. Bei der Untersuchung der Bodenproben trat bei Wasserzugabe ein ätzender Geruch auf, der mit Kopfschmerzen und späteren Verätzungen der Hände der Laboranten verbunden war. Die Laboruntersuchungen wurden sofort abgebrochen und das Probenmaterial luftdicht verschlossen. Nach weiterer Untersuchung wurde das Material als chemisch verunreinigt befunden, vom Damm ca. 0,5 m abgetragen und einem Chemiewerk zur Aufbereitung übergeben. Wer war der Verursacher? Das Pharmawerk hat über Jahrzehnte auf dem Gelände zur Bahn ein größeres Absetz-/Verdunstungsbecken betrieben. Nach Verdunstung wurden die Sandfilter ausgetauscht und seitlich gelagert. Ein Baubetrieb hatte diese Massen ohne Prüfung als Damm-baustoff ca. 1959/1961 in den oberen Teil des Dammes eingebaut. Der Betrieb eines solchen Absetz-/Verdunstungsbeckens ist nach heutiger Rechtsprechung eine akute Gefährdung der Umwelt. Der Einbau der verseuchten Sande in den Bahnkörper ist nicht zulässig und strafbar.

4.2.2.5 Schwellentränkmittel im organischen Baugrund

Bei Erkundungsarbeiten an einem Bahndamm der Strecke Augsburg–München wurden 1995 ölartige Einlagerungen in den Bodenproben aus Torf und Mudde sowie der Geruch von Karbolineum oder ähnliches festgestellt. Die Untersuchungen ergaben, dass das gesamte Moorfeld betroffen war. Verursacher dieses schweren Umweltschadens war ein privates Unternehmen, welches bis etwa zum 2. Weltkrieg über viele Jahrzehnte dort einen Betrieb für hölzerne Bahnschwellentränkung betrieben hatte. Offenbar waren erhebliche Anteile der Tränkungsmittel im angrenzenden Moorfeld versickert, welches von der Bahnstrecke gekreuzt wird. Seit etwa acht Jahren betreibt

das Land Bayern eine mobile Waschanlage. Pumpen ziehen dabei Wasser aus dem Baugrund ab und führen gereinigtes Wasser zurück. Nur sehr langsam schreitet der Sanierungsprozess voran und wird mindestens noch 10 Jahre andauern. Die baulichen Maßnahmen der Bahn sehen einen Teilaushub (Reibungsfüße) und eine Entsorgung als Sondermüll vor.

4.2.2.6 Aktivierter Zementmörtel verändert Moorfeld

In den Jahren 1989/1990 gab es Ideen für die Sanierung eines Bahnkörpers auf organischem Baugrund mit Hilfe von Betonplatten und Ver-spannung des Dammes durch Injektionsanker. Diese Maßnahme wurde in der Fune-Niederung bei Halle angewandt. Das Einbringen der Verpresspfähle hatte zur Folge, dass größere Mengen des aktivierten Mörtels in den Untergrund und in die seitlichen Moorflächen austraten. Zum Ende der Bauarbeiten zeigte das angrenzende Moor eine Gelbfärbung des Bewuchses, Absterben der typischen Moorpflanzen und Gasblasenaustrieb in den Wasserflächen. Das Moor war in seinem natürlichen Milieu gekippt, der PH-Wert als äußeres Zeichen verändert. Es roch nach Vermoderung, der Anblick auf größere Flächen war der einer Kloake. Es ist zu hoffen, dass das Moorfeld sich auf natürlichem Wege wieder regeneriert hat.

4.2.2.7 Müllablagerungen in Erdbauwerken

Bedingt durch die Teilung der Stadt Berlin im Jahre 1961 wurden zahlreiche Strecken der S-Bahn stillgelegt. Die Anlieger haben in den 35 Jahren auf ihre Art mit der Verwilderung einer solchen Bahnlinie davon Besitz ergriffen, so z. B. an der S-Bahn-Strecke 25 von Berlin-Tegel nach Hennigsdorf. Hier wurden in Aufgrabungen Müllkippen im Bahnkörper angelegt und abgedeckt, der Bahnkörper als Reitplatz genutzt, der Damm abgetragen, um im eigenen Grundstück eine höhere Lage durch Auftrag zu erreichen. Swimming-pools oder Terrassen wurden in die Böschung des Dammes eingebracht oder als Deponien benutzt. Bei der Vorbereitung zur Inbetriebnahme war es äußerst schwierig, solche Schwachpunkte der Dämme zu finden und mit hohem Aufwand

zu sanieren, da natürlich die wenigsten Anlieger sich als Verursacher bekannten. Die vorgenannten Beispiele lassen sich zu einer nicht endenden Kette von Vorgängen fortsetzen. Ziel muss es sein, dass der Baugrundfachmann aus kleinen Hinweisen bei der organoleptischen Prüfung der Boden- und Wasserproben durch einen geschulten Blick, mit langjähriger Erfahrung Umweltschäden aufdecken kann. Es muss uns bewusst sein, dass solche Schäden die Sicherheit des Bahnbetriebes, die Gesundheit Einzelner im hohen Maße gefährden können und eine fachgerechte Entsorgung immer trotz der hohen Kosten vorzuziehen ist.

4.2.2.8 Munitionsverseuchung, Kampfmittelberäumung

Sie dient dem Schutz der auf der Baustelle Tätigen gegen Explosionen als Folge von Erdarbeiten, wie auch bei Bohrungen/Sondierungen während der Erkundung und letztlich auch im Bauprozess durch den Einsatz von Rammtechnik, Baggern und Transportfahrzeugen. Man unterscheidet vier verschiedene Phasen bei der Durchführung von Maßnahmen zur Freigabe:

- Auswertung von Luftbilddaufnahmen bei entsprechenden Bombenabwürfen der kriegsführenden Länder. Hieraus lässt sich das Gefahrenpotenzial abschätzen und die weitere Vorgehensweise festlegen.
- Einsatz einer Oberflächensonde in Funktion eines Metalldetektors, die eine Untersuchungstiefe bei ca. 1,50 m ermöglicht. Untersucht wird je nach Bodenart bis auf ein Raster von 1,50 m × 1,50 m. Für die Durchführung solcher Arbeiten benötigt der Untersuchungsbetrieb eine an strenge Auflagen gebundene staatliche Zulassung (Lizenz).
- Bei vermuteten Bomben und Granaten in größerer Tiefe (sandiger oder organischer Untergrund, Wasserflächen) sind verrohrte Bohrungen (Spülbohrungen) notwendig. In das in Teilabschnitten ausgeräumte Bohrrohr werden Spezialsonden herabgelassen, die Metalle horizontal bzw. den Vorlauf an der Bohrspitze erkunden. Für das Bergen solcher Verdachtskörper sind ggf. Spundwandkästen oder Großrohre erforderlich, je nach Größe und Lage der Sprengkörper.

- Bleiben dennoch Verdachtsmomente, so wird für Baggerarbeiten an der Baggerbrust durch eine Fachkraft des Munitionsbergungsbetriebes eine ständige Kontrolle notwendig. Bei Abtragsarbeiten wird in ca. 1-m-Schichten gearbeitet und so die folgende Ebene geprüft. Mit Beendigung der Munitionssuche und Bergung der Verdachtskörper wird ein Freigabeprotokoll durch den Munitionsbergungsbetrieb in Person des Lizenzträgers erstellt. Der Auftraggeber ist verpflichtet, alle Verantwortlichen der Beschäftigten durch ein Protokoll vor Baubeginn über das Ergebnis einschließlich der Auflagen des Abschlussprotokolls über die Untersuchungen zur Munitionsbergung aktenkundig zu informieren.

4.2.2.9 Archäologische Fundstellen

In die Vorbereitung einer Baumaßnahme werden die für Genehmigungsverfahren zuständigen Stellen der Länder einbezogen. Von diesen werden Informationen gegeben zu

- archäologischen Fundgebieten die für eine Bebauung ausgeschlossen werden,
- vermutete Fundgebiete mit besonderen Auflagen bei Überbauung,
- archäologische Freiflächen.

Die Auflagen bei Verdacht solcher Fundstellen sind hoch. In der Praxis haben Verkehrsbauprojekte erhebliche Bauzeitverzögerungen, bedingt durch die Bergung/Registrierung dieser archäologischen Kulturgüter, in Kauf nehmen müssen.

4.2.2.10 Halden, Deponien

Die Überbauung solcher Bereiche stellt an ein Erdbauwerk eine große Herausforderung wegen der zu erwartenden Inhomogenität der Haldenmaterialien bezüglich der Setzungen, der Standicherheit und Entsorgung von Schadstoffen dar. Im Regelfall werden solche Flächen nicht genutzt oder abgetragen.

4.2.3 Aufschluss des Baugrundes

Für die Planung, das Bauen und die Instandsetzung von Erdbauwerken gilt die RIL 836 der Deutschen Bahn [1]. Diese Richtlinie legt zur Abwicklung der geotechnischen Untersuchungen

unter 836.0200 die Rahmenbedingungen fest. Dabei sind die Grundlagen gelegt durch

- DIN 18 196 Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke,
- DIN 1054 Baugrund, zulässige Belastung des Baugrundes,
- DIN 4020 Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke,
- ZTVE-StB Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau,
- EURO-Normen.

Begleitend gelten diverse DIN und besondere Regelungen für die Durchführung von Baugrunduntersuchungen. Die RIL 836 fordert von dem einzusetzenden Baugrundgutachter eine besondere Qualifikation, die bei der Bahn als Sachverständiger für Geotechnik definiert ist. Damit soll eine baugrundtechnische Betreuung von der Aufgabenstellung bis zur Bauausführung mit hoher Fachkompetenz erfolgen. Die Inhalte einer solchen Aufgabe des geotechnischen Sachverständigen soll im Sinne der hier genannten Probleme vorbeugend wirken, d. h. Fehler vermeiden. Es sollen Konstruktionen entstehen, die eine hohe Qualität darstellen und geringe Unterhaltungsaufwendungen verursachen. In den nachfolgenden Ausführungen wird auf die Darlegung der genannten Vorschriften und Richtlinien verzichtet. Dafür soll über praktische Erfahrungen berichtet werden.

4.2.3.1 Aufgabenstellung für Aufschlussarbeiten

Die Aufgabenstellung ist das Kernstück einer Baugrunduntersuchung. Diese ist vom Auftraggeber zu erarbeiten und sollte verschiedene Phasen der Baugrunduntersuchung festlegen, d. h.

- Vorplanung/Vorentwurfsplanung,
- Entwurfsplanung,
- Ausführungsplanung,
- Bauphase.

In Tab. 4.3 wird versucht, die Zusammenhänge die bei einer Erkundung und Baugrundbegutachtung zu bewerten sind, darzustellen. Darin wird deutlich, wie hoch die Anforderungen an den Auftraggeber und den ausgewählten Baugrundgutachter zu stellen sind. Die Vielzahl der Aussagen

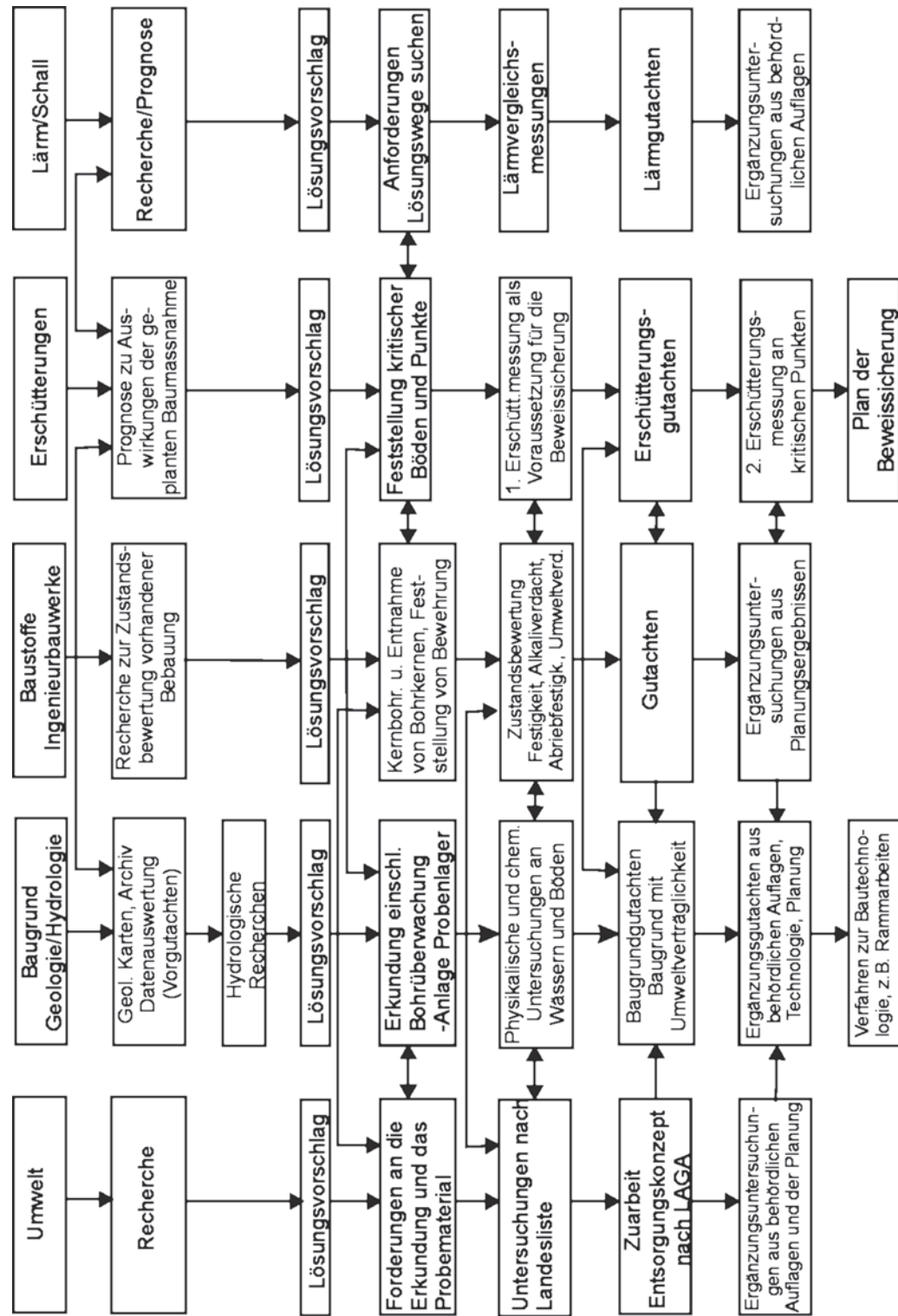
der Teilgebiete erfordert eine gute Koordination vor Beginn der Probenahme, damit alles mit einer Erkundung erledigt werden kann. Sonst drohen erhebliche Mehrkosten. Je detaillierter der Auftraggeber die Angaben zur technischen Lösung, zur voraussichtlichen Bauausführung und den von Behörden zu erwartenden Auflagen machen kann, umso mehr können die Phasen zusammen verzahnt werden. Voraussetzung ist die Freigabe der zu bebauenden Flächen bezüglich Munitionsverseuchung/Kampfmittel. Die Aufgabenstellung muss folgende Anforderungen enthalten:

- Aufschlussdichte und Erkundungstiefe,
- Bohr-/Sondierverfahren mit Gerätevorgaben,
- Anforderungen an die Qualität der Probenahme,
- Ansprache der Bohrprofile, Probengewinnung,
- Feststellung von einzelnen oder mehreren Wasserhorizonten, gespanntem Wasser, Notwendigkeit von evt. Wasserstandsbeobachtungspegeln,
- Anzahl der Bodenprüfungen bzw. Wasseranalysen mit Vorgabe spezieller Aussagen zu Bodeneigenschaften bei erwarteten Belastungsvorgängen,
- Gefahrschätzungen aus Bodenschichtungen mit wenig tragfähigen Eigenschaften (Moor, Ton ...),
- Einflüsse aus vorhandener Bebauung, Störzonen, Trümmer, Halden ...,
- Aussagen zur Empfindlichkeit des Baugrundes und anliegender Bebauung gegenüber Einsatz von Vibration, Sprengverfahren, Grundwasserabsenkung, Befahrbarkeit,
- Auflagen der Rechtsträger, die Auswirkungen auf die gewählte technische Lösung haben können,
- Aufbewahrung von Bodenproben(Rückstellproben).

4.2.4 Baugrundgutachten/ geotechnischer Bericht

Nach DIN 4020 [2] ist das Ergebnis der Baugrunduntersuchungen aus folgenden Teilprüfungen zu entwickeln:

Tab. 4.3 Einflussfaktoren bei der Baugrundbegutachtung



- geologisch-hydrologische Situation des Standortes,
- Erkundung des Baugrundes,
- Baustoffprüfungen in situ und im Labor,
- Umweltsituation,
- Schlussfolgerungen und Empfehlungen zur Gründung sowie zur Bautechnologie.

Die DIN 4020 nennt im Vorwort die Anforderungen an die Bearbeiter der Begutachtung, d. h. des Baugrundes und der Baustoffe.

Sie sollen vielseitige und gründliche Kenntnisse sowie Erfahrungen vorweisen können. Die Analyse von Schadensfällen belegt, dass eine Reihe von „Gutachtern“ diesen Ansprüchen nicht genügt. Sie beurteilen selbst Objekte, die nach DIN 4020 in die höchste Schwierigkeitsstufe einzuordnen sind. Ohne Reglementierungen das Wort zu reden – ohne einen Qualifikationsnachweis in Form einer Zulassung sollte kein Bauingenieur als Baugrundgutachter tätig werden können. Solange ein solcher Qualifikationsnachweis nicht verbindlich vorgeschrieben ist, liegt die Verantwortung bei den technischen Kräften des Auftraggebers. Erst in zweiter Linie darf der Preis des Angebots den Zuschlag an einen Bewerber entscheiden. Im Verkehrsbau, insbesondere im Bahnbereich, muss dazu eine entsprechende Sensibilität für die Dynamik und den Einfluss auf die Baustoffe sowie damit auf das Langzeitverhalten des Bauwerkes vorhanden sein. Die Bestellung „Geotechnischer Sachverständiger“ durch die Länder ist der richtige Weg. Er wird leider in der Praxis meist nur bei Schadensfällen wirksam.

Die DIN 4020 macht deutlich, dass es nur in sehr einfachen Fällen eine Einphasen-Begutachtung geben kann. Der Regelfall sollte folgende Etappen der Baugrundbewertung vorsehen:

- Voruntersuchung des Baugrundes für die Standortwahl und Vorplanung des Bauwerkes,
- Hauptuntersuchungen für Entwurf, Ausschreibung und Baudurchführung,
- baubegleitende Untersuchungen zur Beobachtung des Baugrundverhaltens, der Wasserverhältnisse und des Tragverhaltens von Einzelbauelementen.

Bei sehr schwierigen Baugrundverhältnissen kann die Notwendigkeit weiterer Etappen bestehen.

4.3 Gründung von Erdbauwerken auf tragfähigem Baugrund

Im Verkehrsbau bestimmen die Anforderungen an die Fahrbahn die an den Erdkörper und dessen Gründung zu stellenden Qualitätsbedingungen. Dabei ist der Begriff Tragfähigkeit so zu verstehen, dass die Beanspruchungen aus der Verkehrsbelastung keine unverträglichen Verformungen am Zustand der Fahrbahn auslösen bzw. diese Veränderungen durch planmäßige Erhaltungsmaßnahmen beseitigt werden können. Zu den Erdbauwerken zählen nach RIL 836:

- die Aufschüttung von Dämmen,
- der Abtrag des Geländes zu Einschnitten,
- die Ausbildung von Anschnitten,
- die Gründung im anstehenden Baugrund durch erdbautechnische Bauweisen,
- die Ausbildung bauwerksbezogener und flächenhafter Entwässerungssysteme,
- die Herstellung des Planums und besonderer Trag-, Frostschutz- und kapillarbrechender Schichten,
- Böschungen mit und ohne Bermen.

Von wesentlicher Bedeutung für die Wahl der technischen Lösung ist, ob es sich

- um die Reparatur eines bestehenden Erdbauwerkes,
- um eine Ertüchtigung zu vorgesehenen höheren Beanspruchungen als bisher (Geschwindigkeit, Achslast ...) oder
- um einen Neubau handelt.

Deshalb spielt der Boden als dominierender Baustoff, seine Dichte, Kornverteilung, Konsistenz u. a. für die geometrische Ausbildung der genannten Erdbauwerksteile eine besondere Rolle. Sowohl bei der Sanierung als auch bei der Ertüchtigung ist das Erkennen der Schäden und ihrer Ursachen die Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche Baumaßnahme. Dies wird umso wichtiger, wenn die Aufrechterhaltung des Eisenbahnbetriebes und seine besonderen Randbedingungen, wie

- Langsamfahrstellen,
- Teil- und Vollsperrungen oder
- Schwerlasttransporte

den Ablauf der Bauarbeiten bestimmen. In Abschn. 4.4 wird auf solche Situation einge-

Tab. 4.4 Verzeichnis der Begriffe nach RiL 836 bis 2008

| Bild A 99.1 Begriffe bei Schotteroberbau (SchO) | | | |
|---|-----------------------------|--|--|
| Oberbegriffe | Ebenen | Schichten | Stoffe |
| | SO Schienenoberkante | | |
| Oberbau | SwUK Schwellenunterkante | Gleis (Gleis- und Weichen- konstruktionen) | Schienen, Schwellen, Schienenbefestigung |
| | PL Planum | Bettung | Gleisschotter |
| Schutzschichten | EPL Erdplanum | Schutzschichten PSS / FSS | Korgemisch |
| Unterbau (Erdkörper) | | verbesserte Dammschüttung / verbesserter Untergrund | Verbesserte Böden, Korgemische |
| | UPL Untergrundplanum | Damm | geschüttete Böden |
| Untergrund | | Untergrund | anstehende Böden |

| Bild A 99.2 Begriffe bei der Festen Fahrbahn (FF) | | | |
|---|---------------------------------|--|---|
| Oberbegriffe | Ebenen | Schichten | Stoffe |
| | SO Schienenoberkante | | |
| Oberbau | FF-Konstruktion (bauartbedingt) | | |
| | PL Planum | Untere gebundene Tragschicht oder Schottertrag- schichten | Hydraulisch gebundene Korgemische, Schotter |
| Schutzschichten | EPL Erdplanum | Schutzschichten PSS | Korgemische, Tragschichten nach ZTVT-StB |
| Unterbau (Erdkörper) | | verbesserte Dammschüttung / verbesserter Untergrund | Verbesserte Böden, Korgemische |
| | UPL Untergrundplanum | Damm | geschüttete Böden |
| Untergrund | | Untergrund | anstehende Böden |

gangen. Ein wirksames Überwachungssystem erlaubt, das Verhalten des Bauwerks besser zu bewerten und so zielsicher die Entscheidungsfindung vorzubereiten. Zur besseren Orientierung des Lesers werden die im Eisenbahnbau verwendeten Begriffe (Tab. 4.4) und das Beispiel einer Regelausbildung des Unterbaus mit den Qualitätsanforderungen (Abb. 4.3a, 4.3b und 4.4a, 4.4b) als Auszüge der RiL 836 beigefügt (Abb. 4.5).

4.3.1 Oberbodenabtrag und Untergrundplanum

4.3.1.1 Oberboden

Bei einem zu errichtenden Eisenbahndamm wird das Gründungsplanum nach Abtrag des Oberbodens freigelegt. Der Begriff des Oberbodens (auch als Mutterboden oder Kulturboden bezeichnet) ist häufig umstritten. Nach DIN 18 300

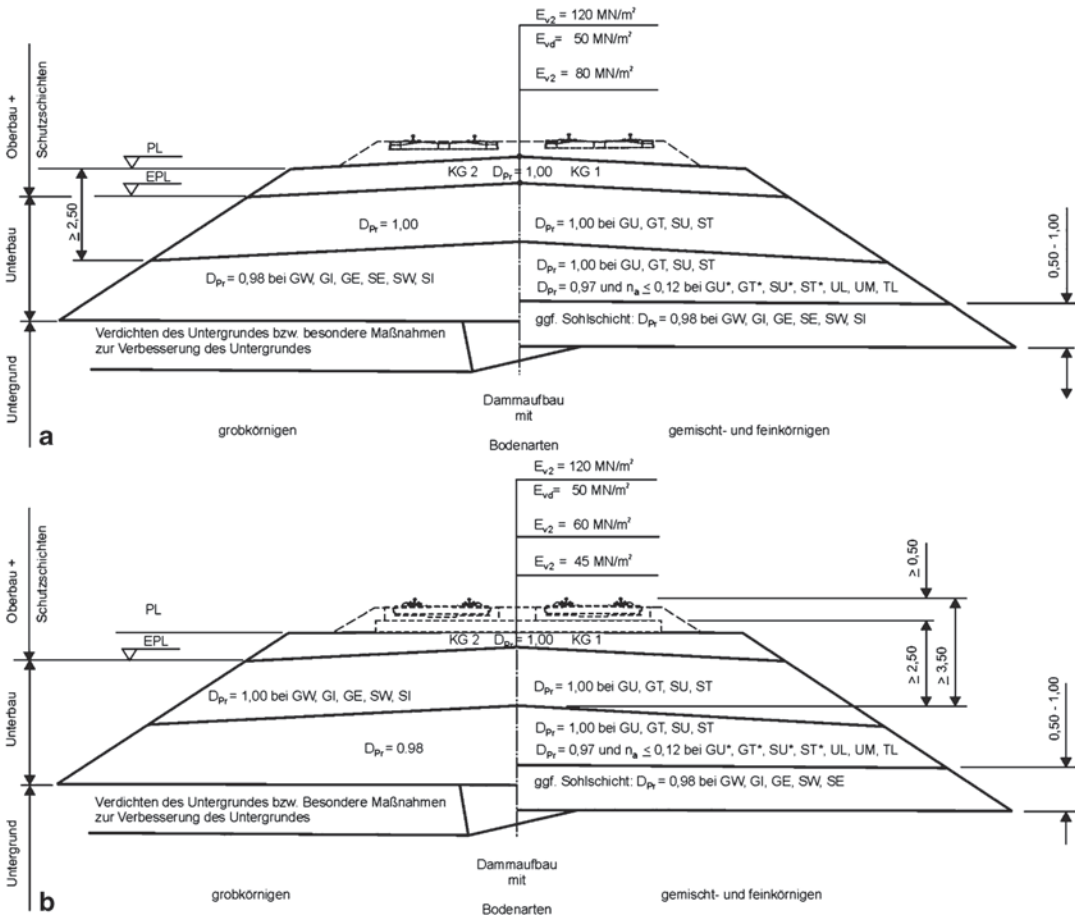


Abb. 4.3 Beispiele von Regelausbildungen des Unterbaus P300 – Damm. **a** Schotteroberbau, **b** Feste Fahrbahn

wird Oberboden grundsätzlich in die Bodenklasse 1 eingestuft, was bei einigen Böden, z. B. den Bördeböden in Sachsen-Anhalt, aufgrund des mehrfachen „Gewinnungswiderstandes“ gegenüber einem sandigen Oberboden nicht immer berechtigt ist. Oberboden ist die oberste Schicht des natürlichen Bodens, die neben anorganischen/mineralischen, z. B. Sand- und Kiesanteilen, sowie Schluffen und Tongemischen als Hauptbestandteilen auch organische Anteile, wie Humus, Nährstoffe und Bodenbakterien, enthält. Häufig wird gemeint, dass alles, was schwarz ist oder eine dunkelgraue Farbe hat, automatisch auch ein Oberboden sein muss. So sind die obere Deckschicht in Buchen- oder Eichenbeständen sowie auch der Nadelteppich in Nadelwäldern völlig ungeeignet. Von der Wiederverwendung als Abdeckung der Böschungen oder Flächen mit

solchen „Oberböden“ wird dringend abgeraten, weil sich eine Wachstumskultur wegen fehlender Mikroorganismen, Humus und Nährstoffen nicht bilden kann. In der Regel sind Oberböden von begrünten Weiden, mit Ausnahme von Moorflächen, oder von landwirtschaftlich genutzten Flächen geeignet. Erfahrungsgemäß hat die obere Bodenschicht von 25 bis 30 cm, Ausnahmen bis 50 cm, die gewünschten Eigenschaften. Im strittigen Fall klärt ein Begrünungsversuch die Situation. Der Humusanteil wird für das Wasserspeichervermögen (Glühverlust 1 bis 5%) des Bodens benötigt. Allerdings darf man neben der Aufgabe einer „grünen“ Schutzfunktion für die Erdbauwerke nicht vergessen, dass beim Einbau auf Böschungen auch die innere Stabilität und Frostsicherheit des Baustoffes Oberboden gegeben sein muss. Entsprechender Kornaufbau,

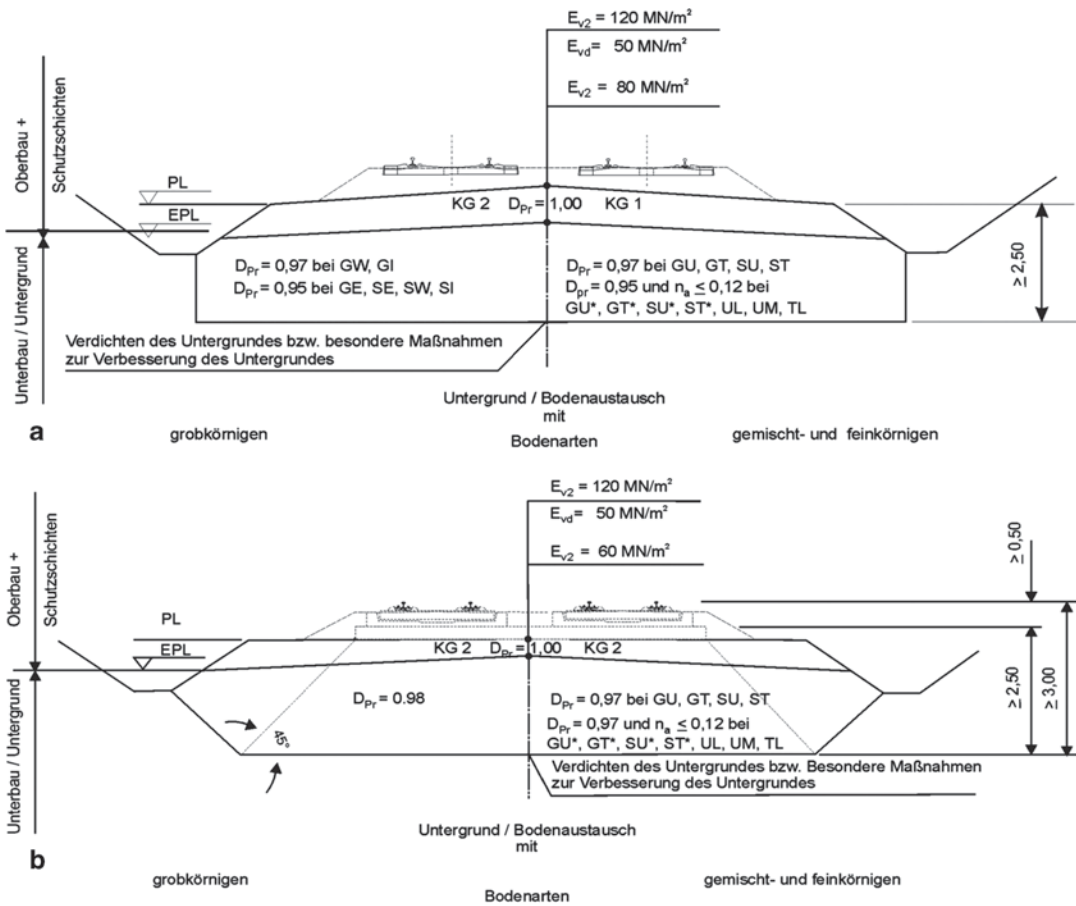


Abb. 4.4 Beispiele von Regelausbildungen des Unterbaus P300–Einschnitt. **a** Schotteroberbau, **b** Feste Fahrbahn

Verdichtungsfähigkeit und eine Mindestdichte, verbunden mit einer rauen Oberfläche als Grundlage (Grobplanum) sind Garant einer guten Qualität, d. h. ein Abgleiten wird verhindert, s. auch Abschn. 4.3.2.7. Es sei dringend darauf verwiesen, dass Oberböden ein wichtiges Kulturgut darstellen und deshalb eine besondere Lagerung und Reinhaltung erfordern.

4.3.1.2 Untergrundplanum und Gründungsplanum

Mit dem Abtrag des Oberbodens soll nach entsprechender Verdichtung eine für die Auflagerung des Dammes standsichere und verformungsarme Gründung gewährleistet werden. Häufig sind wasserangereicherte weichplastische Böden, organische Weichschichten, bei felsigem

Untergrund unterschiedliche Verwitterungsgrade und andere Störungszonen anzutreffen. Anwendungen finden dabei:

- Bodenaustausch,
- Bodenverbesserung bei bindigen Böden mit Kalk (s. Abschn. 4.3.2.5),
- kapillarbrechende Schichten bei hohen Wasserständen oder einem Untergrund aus Böden mit erheblicher Kapillarität (SU* ... TL/TM) oder zu erwartendem einseitigem Wasserstau.

Zielstellung ist ein sehr fester und nicht verformungsempfindlicher Untergrund bzw. Gründungsplanum. Bei geneigtem Gelände müssen im Regelfall Verzahnungen des Schüttmaterials mit dem Untergrund hergestellt werden. Diese Verzahnungen/Abtreppungen müssen bei bindi-

Tab. 4.5 (4.4/2) Verzeichnis der Betriffe nach RiL

| Bild A 99.1 Begriffe bei Schotteroberbau (SchO), Regelwerkszuordnung | | | | |
|--|---------------------------------------|---|--|-----------|
| Oberbegriffe | Ebenen | Schichten | Stoffe | Regelwerk |
| | SO Schienenoberkante | | | |
| Oberbau | SwOK/SwUK Schwellenober/unterkante | Gleis/Schwellen (Gleis- und Weichenkonstruktion) | Schienen, Schwellen, Schienenbefestigungen | RiL 820 |
| | OFTS Oberfläche Tragschicht | Bettung | Gleisschotter | RiL 820 |
| | PI Planum | Schutzschichten PSS / FSS | Baustoffgemische grobkörnige Böden *) | RiL 836 |
| Unterbau (Erdbauwerk) | OFU Oberfläche Untergrund | verbesserte Damm- schüttung/ verbesserter Unter- grund | verbesserte Böden, Baustoffgemische | RiL 836 |
| | | Damm | geschüttete Böden | RiL 836 |
| Untergrund | | Untergrund | anstehender Boden | RiL 836 |

PSS/FSS gem. RiL 217.0103 Teil des Bahnkörpers, die erstmalige Herstellung ist aktivierungspflichtig

| Bild A 99.2 Begriffe bei Fester Fahrbahn (FF), Regelwerkszuordnung | | | | |
|--|------------------------------------|--|--|-----------|
| Oberbegriffe | Ebenen | Schichten | Stoffe | Regelwerk |
| | SO Schienenoberkante | | | |
| Oberbau | OFTS2 Oberfläche 2. Tragschicht | <i>FF-Konstruktion (bauartbedingt)</i> | | AKFF **) |
| | OFTS1 Oberfläche 1. Tragschicht | Untere gebundene Tragschicht oder Schottertrag- schichten | Hydraulisch gebundene Baustoffgemische, Schotter | AKFF |
| | PI Planum | Frostschutzschicht FSS / KG2 | grobkörnige Böden | RiL 836 |
| Unterbau (Erdbauwerk) | OFU Oberfläche Untergrund | verbesserte Damm- schüttung/ verbesserter Unter- grund | verbesserte Böden, Baustoffgemische | RiL 836 |
| | | Damm | geschüttete Böden | RiL 836 |
| Untergrund | | Untergrund | anstehender Boden | RiL 836 |

FSS gem. RiL 217.0103 Teil des Bahnkörpers, die erstmalige Herstellung ist aktivierungspflichtig

*) Für FSS dürfen auch natürliche grobkörnige Böden, GW, SE verwendet werden
 **) AKFF = Anforderungskatalog zum Bau der Festen Fahrbahn

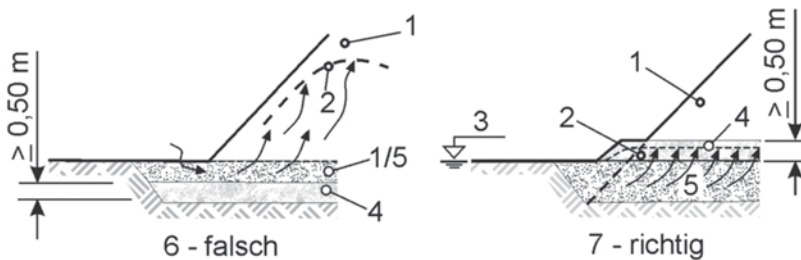


Abb. 4.5 Beispiele für die Anwendung kapillarbrechender Schichten bei tragfähigem Baugrund und Wasserspiegel in Geländehöhe. 1 kapillarwirkendes Schüttmaterial; 2 Kapillarsaum; 3 Wasserspiegel (WSP); 4 kapillarbre-

chende Schicht; 5 durchlässiges Material; 6 Kapillarität wird nicht zurückgehalten; 7 kapillarbrechende Schicht voll wirksam

gem Untergrund talwärts zur Vermeidung von Wasserstau geneigt hergestellt werden. Häufiger Streitpunkt ist die Höhe der Abstufungen. Eine übliche Schütthöhe in schwerem Erdbau mit einer Dicke von ca. 0,5 m blieb bei den bekannten Erdbauvorhaben bisher ohne negative Auswirkungen. Schäden entstehen, wenn Schüttmaterial mit erheblichen kapillaren Eigenschaften (SU*, ST*, TL) auf gleiches Material ohne den Einbau einer kapillarbrechenden Schicht oder in falscher Lage aufgebaut wird (Abb. 4.5).

Die Anreicherung des Wassergehaltes durch die Kapillarität, die durch dynamische Einflüsse aus dem Verkehr noch weiter aktiviert wird, führt in Folge von Frosthebungen in der Böschung zur Wasseranreicherung (Eislinsen) und so zu Böschungsbrüchen bis zum flächenhaften Abfließen der weichen Massen in der Tauperiode. Die RiL 836 schreibt keine verbindliche Materialqualität für eine kapillarbrechende Schicht vor. Nach Erfahrungen des Verfassers und der Festlegung in der Literatur [3] sollten die Bedingungen für Schüttmaterialeinbringung „unter Wasser“ angewandt werden (s. Abschn. 4.4.4)

4.3.2 Dammaufbau

4.3.2.1 Schüttmaterial

Im Allgemeinen wird davon ausgegangen, dass alle Böden mit folgenden Ausnahmen als Dammbaustoff verwendet werden können:

- natürliche Böden mit einer Fließgrenze $W_L \geq 50\%$ (TA),
- Böden mit organischen Anteilen $> 5\%$,
- Böden mit Wassergehalten, die den optimalen Wassergehalt um mehr als 2% überschreiten.

Bei Erdbauwerken mit sehr hohen Anforderungen an die Lagestabilität müssen weitere Böden ausgeschlossen oder durch spezielle Behandlung, z. B. mit Branntkalk, aufbereitet werden. Bei der Verwendung von gebrochenem Fels sind nach praktischen Erfahrungen folgende Grenzen zu setzen:

- das Größtkorn soll max. 2/3 der vorgesehenen Schüttlage betragen,

- verwitternde Felsgesteine bzw. gebräucher Fels sind häufig setzungsempfindlich. Ursprünglich stabile Böschungen rutschen in der Frost-Tau-Periode ab (Buntsandstein, Muschelkalk, Tonschiefer ...).

In neuerer Zeit wird versucht, Stoffe aus dem Recyclingprozess oder industrielle Nebenprodukte als Dammbaustoff einzusetzen. Hier sind allerdings die Schwankungen in der Qualität und das Verhalten gegenüber Wasser häufig Hindernisgründe. Hingegen hat die Anwendung von Geokunststoffen zugenommen. Die gewollten Anwendungsfälle bieten dem Ingenieur zahlreiche Möglichkeiten der Konstruktion, wie Gestaltung von Entwässerungssystem, Tragschichten, Böschungen. Leider ist das Langzeitergebnis solcher Lösungen nicht nur mit positivem Ausgang zu erwarten. Es gibt einige Negativbeispiele bei der Bahn, die eine gesunde Skepsis bei neuen Anwendungen notwendig machen. Im Versagensfall ist festzustellen, dass Geokunststoffe bei einem Ausbau nur von Hand vom Boden getrennt werden können, oder es ist Abfall.

4.3.2.2 Dichteproofung und andere Qualitätsnachweise

Hohe Stabilität eines Bodens (Tragfähigkeit, Setzungsverhalten, Widerstand gegen Kornumlagerungen), einer Schicht oder des Erdbauwerkes sind bestimmt durch das Verhältnis von Masse Boden, Luftporen und Wasser. Dabei spielen die Festigkeit der Einzelkörner und der Anteil aktiver Tonminerale eine entscheidende Rolle. Der Proctorversuch nach DIN 18 127 versucht mit einer genormten Verdichtungsarbeit, die einer wirtschaftlichen Verdichtung nachempfunden ist, das optimale Verhältnis von

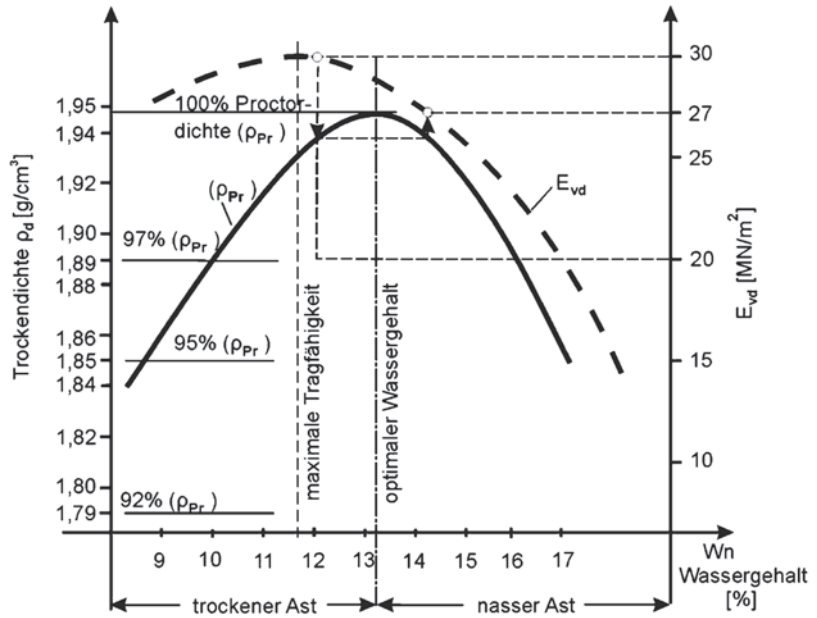
- Dichte des Bodens,
- Wassergehalt,
- Luftporen

im Labor zu bestimmen. Das Ergebnis ist die Proctorkurve (Abb. 4.6).

Das Verhältnis von Trockendichte ρ_d und Wassergehalt w lässt sich an i. d. R. mindestens 5 Teilpunkten ablesen. Die Bestimmung von Dichte ρ bzw. ρ_d erfolgt über nachfolgende Beziehung:

$$\rho = m/V, \rho_d = \rho/1 + w = m_d/V \text{ [g/cm}^3\text{]}$$

Abb. 4.6 Verhältnis von Dichte, Wassergehalt (Proctorkurve) und Tragfähigkeit eines bindigen Bodens



Proctorkurve und Verhältnis zur Tragfähigkeit E_{vd} eines gut abgestuften Geschiebemergels SU*

Eine Tragfähigkeitsmessung im “trockenen Ast” täuscht eine höhere Tragfähigkeit vor.
Bei Zunahme der Feuchtigkeit sinkt die Tragfähigkeit E_{vd} auf den zur entsprechenden Dichte und Wassergehalt passenden Tragfähigkeitswert ab.

Siehe Beispiel Dichte Anfangsmessung $\longrightarrow E_{vd}=30 \text{ MN/m}^2$
bei Messungen nach Niederschlag $\longrightarrow E_{vd}=27 \text{ MN/m}^2$

Beim Proctorversuch ist V das Volumen des Proctorzylinders. Die Masse der nach dem Einstampfen vorbereiteten Probe (mindestens 5) mit verschiedenen Wassergehalten wird jeweils mit m (m_d = Trockenmasse) bezeichnet. W sind die verschiedenen Wassergehalte. Der Wassergehalt wird im Trockenschrank bei vorgeschriebener Temperatur von 105°C mit entsprechender Trockendauer je nach Bodenart und Probemenge zwischen 6 und 24 Stunden bestimmt. Wesentliches Merkmal, die Trocknung, ergibt Massekonstanz. Dieses Verfahren der Dichtebestimmung ist bei Einsatz entsprechenden Fachpersonals (Baustoffprüfer) sehr zuverlässig. Der Boden muss

den Gruppensymbolen eines Bodens mit einem Größtkorn (Überkornkorrektur) von 20 mm für Typ A entsprechen. Vorausgesetzt wird auch, dass es sich um Boden mit natürlichem Rundkorn handelt. Bei Gemischen, die Bedingungen für die Anwendung Proctorversuch Typ A nicht erfüllen, können die Anlagen B + C mit höherem Größtkorn (B = 31,5 mm, C = 63 mm) angewendet werden. Die entsprechenden Anlagen Typ B + C sind sehr kostenaufwendig und teuer in der Vorhaltung. Nur wenige Baugrundinstitute verfügen über diese Einrichtungen. In der Praxis werden leider häufig die Anwendungsgrenzen des Proctorversuchs nicht beachtet und führen

so zu falschen Schlussfolgerungen, ja irreparablen Schwachstellen/Schäden. Verwiesen sei auf die Anwendung des Proctorversuchs bei Brech- oder Mischprodukten Brechkorn/Rundkorn. Bei praktischen Arbeiten hat sich eine Grenze von 30% Brechkorn im Korngemisch aus Rundkorn als noch vertretbar ergeben. Bei mehr als 30% Brechkorn sind die bautechnischen Schlussfolgerungen zur

- Dichtebewertung (Porenvolumen),
- Tragfähigkeit,
- Filterstabilität,
- Kornverteilung (Schlamm-analyse) u. a.

nicht mehr zuverlässig. Fehlbewertungen sind die Folge. Mit dem Vergleichsmaß aus der Proctorkurve sind die spezifischen Erdstoffeigenschaften zur Verdichtung festgehalten. Auf der Baustelle muss nun die tatsächliche Dichte bestimmt werden. Dazu bedient man sich zur Volumenbestimmung i. d. R. eines Einschlag- oder Einpressstutzens mit möglichst gleichem Volumen wie der Proctortopf. Bewährt haben sich auch solche Ersatzmethoden wie das Densitometer nach Haas. Das Verfahren zur Bestimmung der Dichte unterscheidet sich von der klassischen Stutzenentnahme nur in der Art der Volumenbestimmung. Die Dichteforderung ist mit D_{Pr} (Dichte Proctorversuch) bezeichnet. $D_{Pr} 1,0$ bedeutet eine Dichteforderung von 100%. Das Maß D_{Pr} wird je nach Qualitätsanspruch für einzelne Bauteile mit 92%, 95%, 97%, 100% in Anforderungsblättern festgelegt (s. Beispiel aus RiL 836, Abb. 4.4 und 4.5). Durch die Dichteprüfung auf der Baustelle an einem Punkt ist also nachzuweisen: vorhandene Dichte \geq geforderte Proctordichte

$$\rho_d \geq D_{Pr} \times \gamma_{Pr}$$

Da aus der Inhomogenität der Böden und möglicher Prüffehler eine Verkehrsfläche nicht korrekt bewertet wird, ist nach ZTVE – StB 96/97 eine flächenhafte Bewertung (Baulos, Teilstrecke ...) vorgeschrieben. Mit ZTVE 94 ist die Vorgehensweise bei der Prüfung der Verdichtung neu geregelt. Es wurden eingeführt:

- Methode M 1 mit statistischem Prüfplan,
- Methode M 2 als flächendeckende Prüfung, dynamische Arbeits-/Messwalze (FDVK),

- Methode M 3, erweitertes bisher übliches Nachweisverfahren (Arbeitsverfahren, Überwachung, Prüfung ...).

Dazu gibt es die generelle Festlegung, dass die vorgeschriebenen Dichteforderungen D_{Pr} als Mindestforderung gelten (vor 1994 Mittelwerte). Die notwendige Bewertung erfolgt nach dem System der gaußschen Glockenkurve, wobei ein 10%-Mindestquantil zugelassen ist. Die Qualitätsforderungen sind damit seit 1994 wesentlich erhöht. Die Reaktion auf die Neuordnung der Verfahren bei der Führung der Dichte- und Tragfähigkeitsnachweise (ZTVE 94/97, Kap. 14) sind zwiespältig.

- Die Festlegung zur Anwendung der FDVK (M 2) sind ein Gewinn für die Praxis. Damit wird eine Homogenisierung des Festigkeitsverhaltens eines Erdbauwerkes über die Fläche in verschiedenen Ebenen erreicht. Voraussetzung ist allerdings, dass der Aufbau der einzelnen Schichten bis zur Prüffläche weitgehend homogen ist. Der „Eichaufwand“ in einem Prüffeld ist momentan noch recht groß, denn es muss ein zulässiges Ω (Bomag-System) oder ein CMV-Wert (Dynapac) definiert werden, welcher die Anforderung nach Dichte und Tragfähigkeit gewährleistet. Wegen der hohen Aufwendungen vor den Verdichtungsarbeiten wird die Anwendung der Methode M 2 nur bei Großflächen, z. B. Flughafenbau, Straße, Bahn bei Neubaustrecken, begrenzt einsetzbar sein. Eine sehr gute Anwendung hat sich im Verkehrsbau-Sanierungsprogramm ergeben, wenn man die Messwalze auf dem beräumten Erdplanum zum Einsatz bringt. Hier kann man Schwachpunkte, wie Quellen, Schottersäcke, organische Einschlüsse und andere Unstetigkeiten im Baugrund gut erkennen. So können diese bisher für die Qualität der Fahrbahn bestimmenden Schwachpunkte durch Wasserfassung, Bodenaustausch u.ä. vor dem Überbauen beseitigt werden. Dies ist eine echte Hilfe und Ergänzung zur punktförmigen Baugrunduntersuchung in der Planungsphase. Eine neue Information der Industrie besagt, dass in Zukunft die Prüfwalze eine direkte Anzeige des Tragfähigkeitswertes E_{v2} ermöglicht. Die Anwendung der FDVK kann nur Erfolg haben,

wenn der dazu notwendige präzise Ablauf (Stationierung, Einhaltung der Bahnen, Fahrgeschwindigkeit, Funktionstüchtigkeit der Walze ...) und ein guter Ausbildungsstand des Fahrers wie des Bewerter garantiert sind. Dazu gehört eine aktuelle Ausrüstung mit der erforderlichen PC-Technik für Aufnahme und Auswertung der Daten sowie die notwendige Erfahrung der beteiligten Personen.

- Die Methode M 1 stößt bei erfahrenen Erdbaufachleuten häufig auf Ablehnung, weil die Bewertung zu stark den mathematischen Grundsätzen folgt, die eine Homogenität des Bodens als Stoff und seiner Einbaubedingungen voraussetzt. Es beginnt mit der Auswahl der Prüfpunkte nach sog. Stichprobenprüfplänen. Die Prüfpunkte werden nach dem Zufallsprinzip bestimmt. Der Ablauf einer solchen Auswertung wird im Merkblatt für die „Verdichtung des Untergrundes und Unterbaues im Straßenbau“ beschrieben. Nach Erfahrungen des Verfassers ist M 1 für allgemeine Erdarbeiten nicht von Vorteil, weil die erkennbaren Schwachpunkte nicht in die Prüfung einbezogen werden. Die Anwendung wird damit auf Großprojekte mit großen Flächen und vergleichbaren Randbedingungen begrenzt bleiben.
- Die Methode M 3 ist in der Praxis die Regelanwendung. Allerdings ist die Ähnlichkeit mit der bis 1994 üblichen Anwendung nur formal. M 3 kann sich in drei Schritten in verschiedenen Varianten (M 3.1 bis M 3.4) entwickeln. Das sind: Nachweis der Eignung des Verdichtungsverfahrens und Aufstellung der Arbeitsanweisung (Schütthöhe, Zahl der Übergänge, Ablauf des Verdichtungs Vorgangs für das vorgesehene Gerät), Einhaltung der Arbeitsanweisung und Durchführung von Einzelversuchen. Die Prüfpunkte werden hier an kritischen Stellen innerhalb eines Prüfloses festgelegt. Selbst bei kleineren Losen ist die Mindestanzahl der Prüfpunkte mit 3 Stück einzuhalten.

Indirekte Prüfverfahren Wenn man die Veröffentlichungen des Straßenwesens verfolgt (ZTVE-StB), so gibt es in der Bewertung für die

Qualität der Verdichtung ein absolutes Primat für die Dichte (Verdichtungsgrad). Dementsprechend werden die Verfahren der Dichtebestimmung als „direkte Prüfverfahren“ definiert. Folgende „indirekte Prüfverfahren“ kommen zum Nachweis des erreichten Verdichtungsgrades und Luftporenanteiles nach ZTVE-StB-94/97, Abschn. 14.2.5, in Frage:

- statischer Plattendruckversuch nach DIN 18 134,
- dynamischer Plattendruckversuch nach TP-BF Teil B 8.3 und Richtlinie für die Anwendung des leichten Fallgewichtsgerätes im Eisenbahnbau seit 01.02.1997,
- Prüfung der Einsenkung mit dem Benkelman-Balken nach TP-BF Teil B 9,
- Prüfung des Sondierwiderstandes durch Ramm- oder Drucksondierungen nach DIN 4094, in Leitungsgräben auch mit speziellen Grabensonden,
- Prüfung durch Setzungsmessungen nach den einzelnen Verdichtungsübergängen bei Felschüttungen und öden mit Steinen über 200 mm oder mit hohem Kies- und Steinkornanteil,
- dynamische Messung der Beschleunigungsaufnahme an der für das Verdichten eingesetzten Arbeitswalze oder einer speziellen Messwalze.

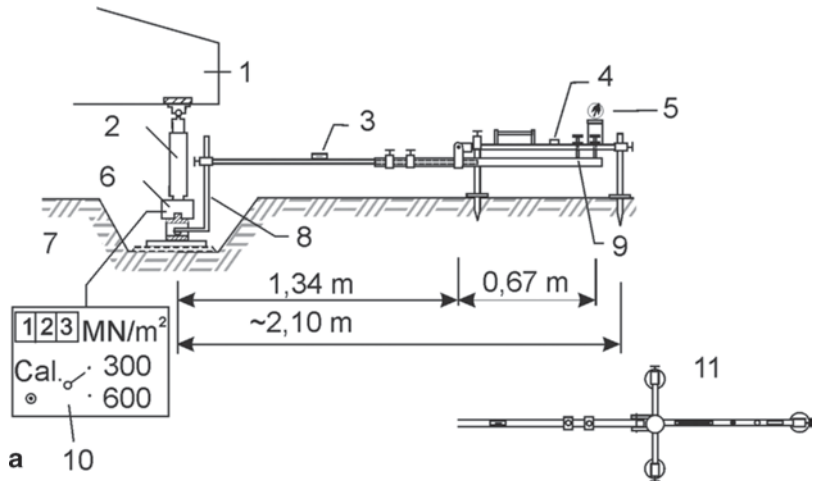
Neben der Bestimmung von Dichte bzw. Verdichtungsgrad wird für einige Teile des Erdbauwerkes zusätzlich der Nachweis der Tragfähigkeit gefordert. Momentan ist es möglich, diesen Nachweis als

- statischen Versuch (Plattendruckversuch E_{V1}/E_{V2}) Abb. 4.7a, 4.7b, (Tab. 4.6),
- dynamischen Versuch (dynamisches Plattendruckgerät/leichtes Fallgewichtsgerät) nach TPBF Teil 8.3 Abb. 4.8a, 4.8b (Tab. 4.7)

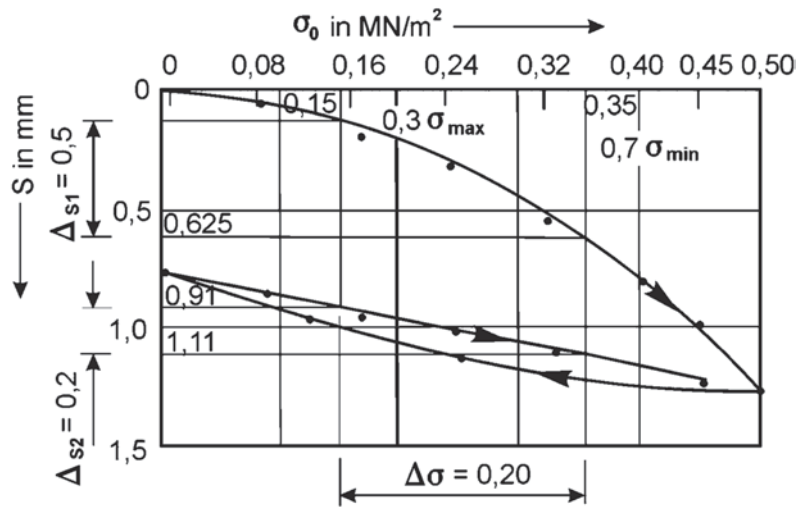
zu erbringen.

Beide Verfahren ermitteln einen Tragfähigkeitswert, der aus unterschiedlichen Randbedingungen ermittelt wird. Sie ergeben einen direkt bestimmten Wert der Tragfähigkeit E_{V2} oder E_{Vd} . Die derzeit übliche Praxis nennt dies dennoch „indirektes Prüfverfahren“. Dadurch kommt man natürlich denen, die meinen, mit der Dichte gleichzeitig die Tragfähigkeit bewertet zu haben, entgegen. Die ZTVE 94/97 Tab. 4.8 gibt Richt-

Abb. 4.7 Statischer Plattendruckversuch nach DIN 18134. **a** Skizze der Messanordnung. 1 Widerlager; 2 Druckstempel; 3 Libelle; 4 Dosenlibelle; 5 Messuhr; 6 Kraftmessdose 0 bis 100 kN; 7 aufgelockerter Boden; 8 verschiebbarer Tastarm; 9 Feststellschraube; 10 Anzeige; 11 Draufsicht, **b** Auswertung



Erstbelastungskurve E_{v1}
 Zweitbelastungskurve: E_{v2}
 Verhältnis: E_{v2} / E_{v1} (Verdichtungsverhältnis)



b

$$\Delta s_1 = 0,5 \text{ mm}$$

$$\Delta s_2 = 0,2 \text{ mm}$$

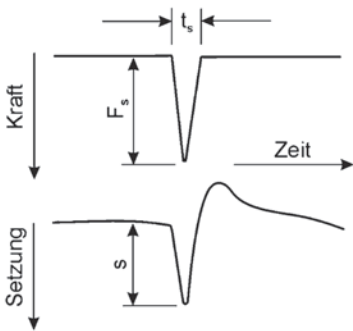
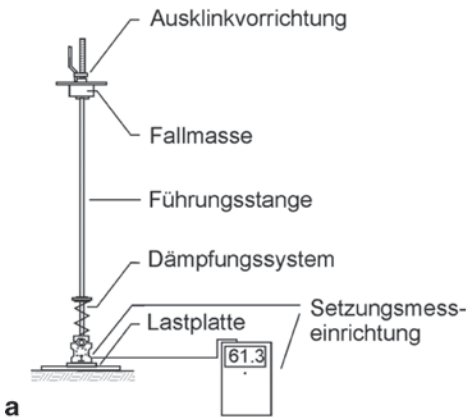
$$\Delta \sigma = 0,2 \text{ MN/m}^2$$

$$\frac{E_{v2}}{E_{v1}} = 2,5$$

$$E_v = \frac{(1,5 \cdot r \cdot \Delta \sigma)}{\Delta s} \geq E_{v \text{ gefordert}}$$

$$E_{v1} = \frac{(1,5 \cdot \frac{300}{2} \cdot 0,2)}{0,5} = 90 \text{ MN/m}^2$$

$$E_{v2} = \frac{(1,5 \cdot \frac{300}{2} \cdot 0,2)}{0,2} = 225 \text{ MN/m}^2$$



zeitlicher Verlauf der Stoßkraft und der Setzung bei Stoßbelastung mit dem Leichten Fallgewichtsgerät

F_s stoßartig aufgebraachte maximale Kraft für Sohlnormalspannung $\sigma = 0,1 \text{ MN/m}^2$
 s gemessene Setzungsamplitude bei F_s

b $E_{vd} = 1,5 \cdot r \cdot \sigma / s$

Abb. 4.8 Dynamischer Plattendruckversuch. **a** Skizze des Messprinzips für Leichtes Fallgewichtsgerät. *Lastplatte*: Masse 15 kg, Durchmesser 300 mm; *Fallmasse*: Masse 10 kg; *Führungsstange*: Masse 5 kg; *Dämpfungssystem*: Tellerfedern; *Setzungsmesseinrichtung*: elastisches System, **b** Auswertung

werte für D_{Pr} und E_{V2} an, die häufig in der Praxis im falschen Zusammenhang verwendet werden.

Folgende „indirekte Prüfverfahren“ kommen zum Nachweis des erreichten Verformungsmoduls nach ZTVE-StB-94/97, Abschn. 14.3 in Frage:

- dynamischer Plattendruckversuch nach TP-BF Teil B 8.3,
- Einsenkungsmessungen mit dem Benkelman-Balken nach TP-BF, Teil B 9,

Tab. 4.6 Orientierungsgrößen des Verformungsmoduls zum statischen Plattendruckversuch zur Dichte

| Bodengruppe | Statischer Verformungsmodul EV2 in MN/m^2 | Verdichtungsgrad DPr in % |
|----------------|--|---------------------------|
| GW, GI | > 120 | > 103 |
| | > 100 | > 100 |
| | > 80 | > 98 |
| | > 70 | > 97 |
| GE, SE, SW, SI | > 80 | > 100 |
| | > 70 | > 98 |
| | > 60 | > 97 |

Tab. 4.7 Orientierungsgrößen des Verformungsmoduls zum dynamischen Plattendruckversuch zur Dichte

| Bodengruppe | dynamischer Verformungsmodul EV2 in MN/m^2 | Verdichtungsgrad DPr in % |
|----------------|---|---------------------------|
| GW, GI | > 65 | > 103 |
| | > 50 | > 100 |
| | > 40 | > 98 |
| | > 30 | > 97 |
| GE, SE, SW, SI | > 50 | > 100 |
| | > 40 | > 98 |
| | > 35 | > 97 |

- dynamische Messungen der Beschleunigungsaufnahme der für das Verdichten eingesetzten Arbeitswalze oder einer speziellen Messwalze gemäß TP-BF Teil E 2.

Auch die Tatsache, dass der dynamische Plattendruckversuch als „indirektes Prüfverfahren“ in einer neueren Fassung des genannten Merkblattes zum statischen Plattendruckversuch festgelegt ist, ist nicht akzeptabel. Unbestritten ist, dass der dynamische Plattendruckversuch seinen Siegeszug in der Praxis in Ost und West fortgesetzt hat. Die Praxis hat mit sog. Teilschritten die Wissenschaft überholt.

Stoffbezogene Anforderungswerte für den dynamischen Plattendruckversuch (E_{vd}) Die Entwicklung des dynamischen Plattendruckgerätes begann schon 1970 mit einem Forschungsthema im Auftrage der Deutschen Reichsbahn. Dieses wurde im Laufe der Jahre in gemeinsamer Arbeit von Straße und Bahn in der DDR bis zur Standardreife (TGL 11 461/10 vom Oktober 1980)

Tab. 4.8 Tragfähigkeitsanforderungen zur Anwendung „Leichtes Fallgewichtsgesät“ bei der DB

| Streckenart | | Erdplanum | | | | | | | | |
|-------------|--|-------------------|----------------------------------|--|--|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----|
| | | natürliche Böden | | | | mit Kalk verfestigte Böden | | | mit Kalk verbesserte Böden | |
| | | nach Verdichtung | | | | | | | | |
| | | | | | | < 48 h | > 48 h | | | |
| | | D_{Pr} | E_{v2} [N/mm ²] | Abhängigkeiten | | E_{vd} [N/mm ²] | E_{vd} [N/mm ²] | E_{vd} [N/mm ²] | E_{vd} [N/mm ²] | |
| Neubau | 1. durchgehende Hauptgleise von Hauptbahnen (außer S-Bahn) | 1,00 | 80 | GE,GI,GW,GU,SI,SW andere Bodengruppen | | 40 35 | 40 | 45 | 40 | |
| | 2. durchgehende Hauptgleise von S-Bahnen und Nebenbahnen | 0,97 | 60 | GE,GI,GW,GU,SI,SW andere Bodengruppen | | 35 30 | 35 | 40 | 35 | |
| | 3. übrige Gleise | 0,95 | 45 | GE,GI,GW,GU,SI,SW andere Bodengruppen | | 30 25 | 30 | 35 | 30 | |
| Erhaltung | Bestehende Eisenbahnstrecken | 4. $v > 160$ km/h | 0,95 | 45 | GE,GI,GW,GU,SI,SW andere Bodengruppen | | 30 25 | 30 | 35 | 30 |
| | | 5. $v < 160$ km/h | 0,93 | 20 | GE,GI,GW,GU,SI,SW andere Bodengruppen | | 25 20 | 25 | 30 | 25 |

entwickelt und bei Straße und Eisenbahn verbindlich eingeführt. In den alten Bundesländern wurden ähnliche Versuche entwickelt. Nach der Wiedervereinigung wurde 1991 eine Richtlinie für den Bereich der Deutschen Reichsbahn und 1997 die für die Deutsche Bahn gültige Fassung *Richtlinie für die Anwendung des leichten Fallgewichtsgesätes im Eisenbahnbau vom 01.02.1997* eingeführt (s. Tab. 4.8).

Eine einheitliche Richtlinie für die praktische Anwendung im Straßenwesen existiert derzeit noch nicht. Die Basis ist der Gerätetyp nach TPBF-StB, Teil B 8.3 (Tellerfedersystem). Bei der Festlegung der Einzelparameter sind folgende Arbeitsergebnisse berücksichtigt:

- E_{vd} -Werte sind bodenabhängig. Deshalb müssen Relationen für SE, SI, SU, GE, GI jeweils gesondert ermittelt werden.
- Dichte und Tragfähigkeit (E_{v2}/E_{vd}) zeigen nur im Bereich des nassen Astes der Proctorkurve eine ausreichend mathematisch vertretbare Übereinstimmung. Deshalb sind sog. Umrechnungen von Dichte und Tragfähigkeit und umgekehrt meistens falsch. Dichte und Tragfähigkeit sind unterschiedlich zu bewertende Parameter.
- Plattendruckversuch und Leichtes Fallgewichtsgesät sind zwei verschieden wirkende Messsysteme und zeigen deshalb bei gleichen Spannungen unterschiedliche, aber vergleichbare Verformungsgrößen, insbesondere bei unterschiedlichen Wassergehalten im Boden, an.
- Für den Verkehrsbau muss dem dynamischen Plattendruckversuch (leichtes Fallgewichtsgesät) nach Erfahrung des Verfassers eine höhere Wertigkeit/Zuverlässigkeit eingeräumt werden als dem statisch wirkenden Plattendruckversuch.
- Bei unterschiedlichem Wassergehalt ($w_n > w_{opt}$) von Böden mit Schluffkorn (SU*, ST*, TL, UT* ...) fällt der Zahlenwert bei der Bestimmung E_{vd} stärker ab als beim Plattendruckversuch E_{v2} . Während beim Plattendruckversuch Wasser unter der langsam wachsenden Lasteinwirkung je nach Durchlässigkeit abfließen kann (Konsolidierungsvorgang), wird beim dynamischen Plattendruckversuch ein Teil vom Porenwasser getragen und so zunehmend eine plastische Verformung, d. h. ein Abfall der Tragfähigkeit (Reibung) verursacht.

- Grobkornanteile >30 mm sowie Brechkorn $>30\%$ verursachen ungerechtfertigt Erhöhungen der Tragfähigkeit bei gleicher Dichte. Bei diesen Grenzen wird die Zulässigkeit des Nachweissystems der Dichte nach Proctor verlassen.
- Aus den Vergleichsuntersuchungen (Dichte, E_{V2} , E_{Vd}) zeichnet sich ab, dass einige Vorgaben zur Dichte/Tragfähigkeit bestehender Vorschriften fehlerhaft sein müssen (RiL 836 und ZTVE 94/97). Der durchgeführte Vergleich einer Messeinrichtung mit Dreipunktmessung mit dem Plattendruckversuch zu einem neueren Typ mit Einpunktmessung brachte bei gleichen Voraussetzungen unterschiedliche Ergebnisse. Deshalb müssen die als identisch im Vorschriftenwerk angegebenen Parameter Dichte und E_{V2} überprüft werden.

4.3.2.3 Verdichtung der Schüttstoffe

Für die Erdarbeiten im Eisenbahnbau gelten generell die „Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau ZTVE-StB 94“ in Verbindung mit DIN 18 300 – Erdarbeiten. In diesem Abschnitt sollen nur einige Punkte, die durch technologische Fehler im Eisenbahnbau immer wieder zu Schäden in der Nutzungsphase einer Strecke führen, behandelt werden.

Einsatz von Verdichtungsgeräten Durch die Baumaschinenindustrie werden von namhaften Firmen Geräte mit unterschiedlichem Leistungsvermögen, d. h. Flächenleistung, Tiefenwirkung, Verdichtung für bestimmte Bodengruppen u. a. angeboten. Der Baubetrieb ist gut beraten, sich an die Empfehlungen des Anbieters zu halten und den technischen Zustand seines Gerätes durch gutes Fachpersonal regelmäßig prüfen zu lassen (tatsächliche Frequenz, Drehzahl, Energieübertragung, Zahl der Übergänge). Deshalb ist gerade bei hohen Qualitätsanforderungen die Prüfung des Leistungsvermögens der Geräte durch Probeverdichtung der zum Einbau vorgesehenen Böden im Interesse von Auftraggeber und Auftragnehmer. In der Qualitätsvereinbarung sind solche Abstimmungen, insbesondere auch wegen sonst möglicher Streitigkeiten, einvernehmlich lösbar. Dies gilt umso mehr, wenn Verdichtungs-

geräte frisch gestrichen auf der Erdbaustelle, z. B. von Reparaturen oder einer Generalüberholung, eintreffen. Es gilt die Erfahrung, „nicht alles was Krach macht, verdichtet auch gut“. Beim Verdichtungsvorgang sollen sich die Bahnen überlappen. In den Dammaußenzonen sollte die Schütthöhe vermindert werden. Da der Energieverbrauch zur Erzielung einer geforderten Dichte, bedingt durch den Grobkornanteil, den Anteil von Brechkorn und der Kornabstufung im Schüttboden stark wechseln kann, werden vom Hersteller unterschiedliche Wirkungstiefen und die Zahl der Übergänge ohne konkretes Verdichtungsergebnis (Proctordichte in %) angegeben. Dies ist häufig nur durch Probeverdichtung klärbar. Die Wirkungstiefe ist nicht identisch mit der zulässigen Schütthöhe, weil Schüttstoffe beim Verdichtungsvorgang, z. B. von Vibrationswalzen, durch die Art der Abstützung bei der Vorwärtsbewegung eine Störungszone (Auflockerung) erzeugen (siehe Skizze Abb. 4.9). Diese muss beim Verdichten der nächsten Schüttlage mit verdichtet werden. Die Vibrationswalzen sind das bestimmende Verdichtungsgerät (Wirtschaftlichkeit) beim Einbau größerer Bodenmassen auf Baustellen in Deutschland. Verdichterplatten haben i. d. R die Aufgabe eines Ergänzungsgerätes, z. B. bei:

- Verdichtungsabschluss von Tragschichten (Oberflächenverdichtung),
- Verdichtungsarbeiten hinter Brückenwiderlagern und anderen Ingenieurbauwerken,
- Arbeiten in Dammrundzonen,
- Arbeiten bei Grabenverfüllungen.

Diese Geräte haben den Vorteil, bedingt durch die nahezu vertikale Schlagwirkung, quasi keine Auflockerungszonen zu erzeugen und sehr beweglich in engen Bauräumen einsetzbar zu sein (s. Abb. 4.10).

Einsatz von Verdichtungsgeräten beim Verfüllen der Widerlager, Baugruben u. a. Für diese Fälle kommt in der Praxis überwiegend nur eine Verdichterplatte in Frage. In alten Vorschriften war die Schütthöhe auf $\leq 0,30$ m begrenzt. Dies hatte folgende Gründe:

- Beim Einsatz von Walzen wurde häufig die Brückenisolierung und die Entwässerungsleitung durch die hohe Energie beschädigt

Abb. 4.9 Schematische Darstellung des Verdichtungsvorgangs mit einer Vibrationswalze. 1 Auflockerungszone; 2 Schütthöhe; 3 $\rho_d \geq \rho_{Pr}$; 4 Wirkungstiefe; 5 Einwirkungsbereich; 6 Auflockerungszone vorangegangener Walzverdichtung

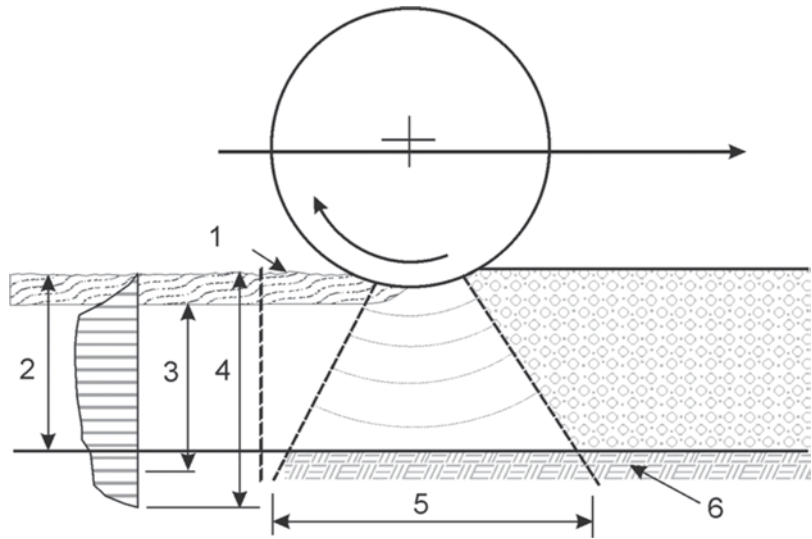
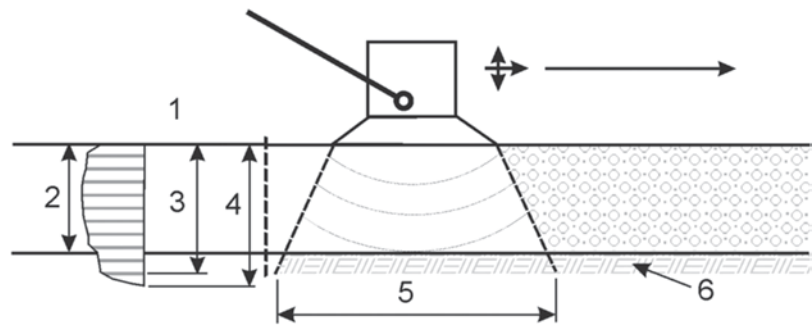


Abb. 4.10 Verdichtung mit einem Plattenrüttler. 1 Auflockerungszone nicht vorhanden; 2 Schütthöhe; 3 $\rho_d \geq \rho_{Pr}$; 4 Wirkungstiefe; 5 Einwirkungsbereich; 6 Auflockerungszone vorangegangener Walzverdichtung



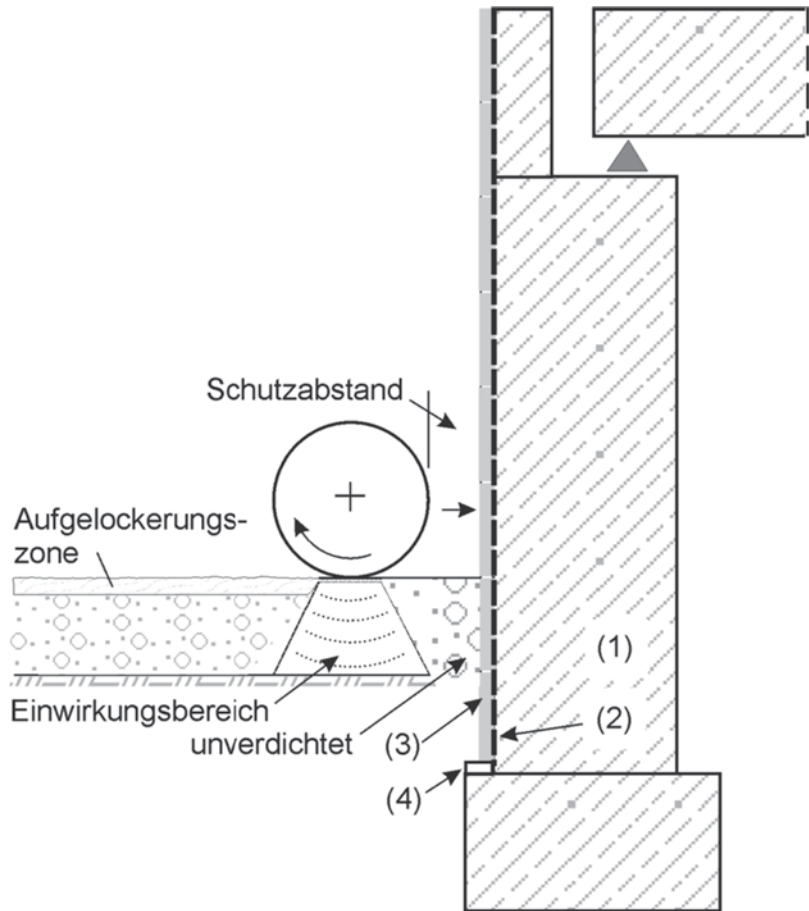
- Die Walze kann nicht alle Bereiche wirklich verdichten (siehe Abb. 4.11), deshalb gibt es bei deren Einsatz immer wieder Setzungen im Verfüllbereich, die zu häufigen Gleisstopfungen führen und letztlich Schottersäcke unmittelbar am Widerlager ausbilden.
- Nur der Einsatz einer Verdichterplatte oder spezielle Stampfer sind bei 30 cm Schütthöhe wirtschaftlich; und dafür wird der entsprechende Preis kalkuliert.

Beim Einsatz von Verdichterplatten kann bei einem funktionstüchtigen Gerät eine hohe Qualität der Verdichtung gesichert werden, sofern man sich an die alte Regel einer maximalen Schütthöhe von 0,30 m hält und eine ständige Kontrolle gewährleistet (s. Abb. 4.12) wird. Der Energieeintrag auf das Ingenieurbauwerk ist wesentlich geringer und damit die Gefahr von Schädigungen kleiner.

Verdichtung der Randzonen/Böschungsbereiche Zahlreiche Böschungsrutschungen, insbesondere bei Dämmen aus bindigen, frostempfindlichen Materialien weisen auf den neuralgischen Punkt der nach Einführung der Verdichtungstechnik erstellten Bahndämme, die Böschungsbereiche, hin. Untersuchungen an großflächigen Rutschungen an Dämmen und Einschnitten aus Geschiebemergel der Bahnstrecke und Autobahn Berlin–Rostock haben bei der Ursachenermittlung zu folgenden Erkenntnissen geführt:

- Die Herstellung der Dämme mit Hilfe einer seitlichen Verbreiterung von ca. 1 bis 2 m, um die Verdichtungsgeräte auch im Böschungsbereich wirksam werden zu lassen (nach Abb. 4.13), ist selten ausreichend. Abbildung 4.14 zeigt die Situation einer Schüttlage bei späterer Frosteinwirkung. Die Frosteindringung bis zu 1,50 m bei einem lang anhalten-

Abb. 4.11 Vibrationswalze und Verdichtung im Widerlagerbereich. 1 Widerlager; 2 Isolierung; 3 Schutzverkleidung; 4 Entwässerung



den Winter war besonders an der Windseite (ohne Schneeabdeckung) festzustellen.

- In der Tauperiode wird im unteren Teil der jeweiligen Schüttlage die Fließgrenze des Geschiebemergels weit überschritten. Der aufgeweichte, fast flüssige Geschiebemergel dringt unter der Grasnarbe in Rissen, Mäuselöchern und anderen Störstellen hervor. Mit dem Auftauprozess wurden einzelne Stellen zu Großflächen. Der begrünte Oberboden reißt ab und schwimmt auf dem abfließenden Geschiebemergel nach unten. Bermen sind wegen Schneebedeckung ebenfalls Auslöser solcher Flächenrutschungen. Auch sog. Pflanzmulden für Jungbäume sind Auslöser.
- Die Rutschungen sind kein Standsicherheitsproblem, sondern vorrangig stoffliches Versagen.
- Die Ableitung der Oberflächen- und Schichtenwässer war weitgehend gesichert. Teil-

weise wurden Kieskeile und Zusatzdrainagen an den Böschungsfüßen schon in der Bauphase eingebaut. Die Bermen wurden zugunsten einer Böschungsverflachung und als Ursache vieler Schäden aufgegeben.

Als Schlussfolgerung wurde die für die Deutsche Reichsbahn gültige TGL 11 482/08 Erdarbeiten im Straßen- und Eisenbahnbau geändert.

- Die zeitweilige Verbreiterung der Böschung wird je nach gewählter Schütthöhe mit 1,5 bis 2,0 m festgelegt (s. Abb. 4.13)
- Die Böschungen an Dämmen und Einschnitten ($SU^* \dots TL$) > 3,0 m werden durch Verdichtung in der Böschungsebene nach Abb. 4.15 hergestellt.
- Die Verdichtung mit eingeschalteter Vibration wird nur vom Dammfuß bis hoch zur Dammschulter vorgenommen. Die Dichteforderung in der Böschungsebene betrug $D_{Pr} \geq 95\%$.

Abb. 4.12 Verdichtertafel und Verdichtung im Widerlagerbereich. 1 Widerlager; 2 Isolierung; 3 Schutzverkleidung; 4 Entwässerung

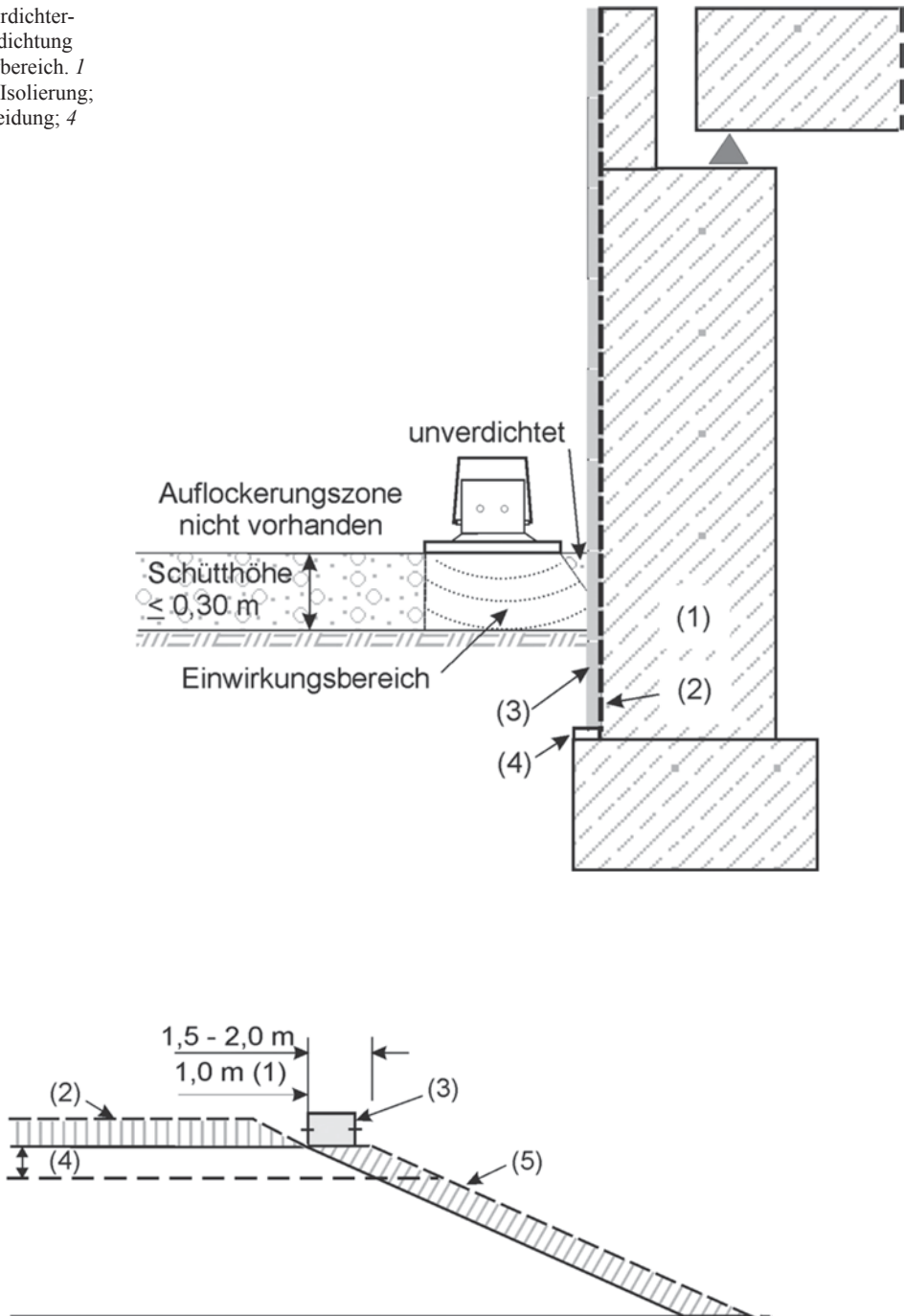


Abb. 4.13 Technologie der üblichen Dammverdichtung der Randzonen mit zeitweiliger Überschüttung nach Ril 836: 1,0 m, nach TGL 11482/08: 1,5–2,0 m. 1 lt. Ril 836.05.06 Pkt. 2(3); 2 Auftrag aus Böschungsabtrag; 3 Vi-

brationswalze Walzenzug; 4 Schütthöhe = Wirkungstiefe bei entsprechender Auflockerungszone; 5 Abtrag nach lagenweiser Verdichtung der Schüttlage

Abb. 4.14 Ergebnisse von Untersuchungen an Böschungsrutschungen bei bindigen Böden in den Wintern 1963/1964 und 1964/1965 nach Frostaufgang. 1 Verdichtungsgerät; 2 Auflockerungszone; 3 Dichte; 4 Wassergehalt; 5 Frostlinsenbildung; 6 Abtrag

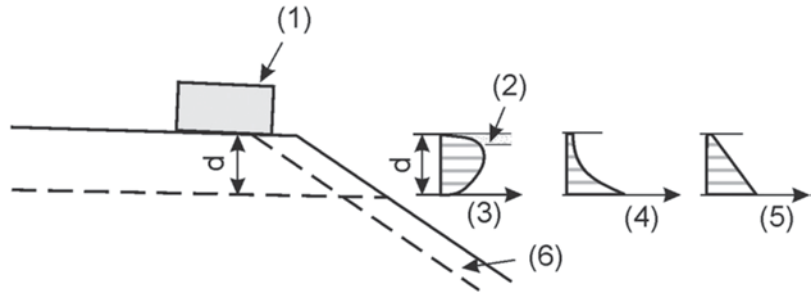
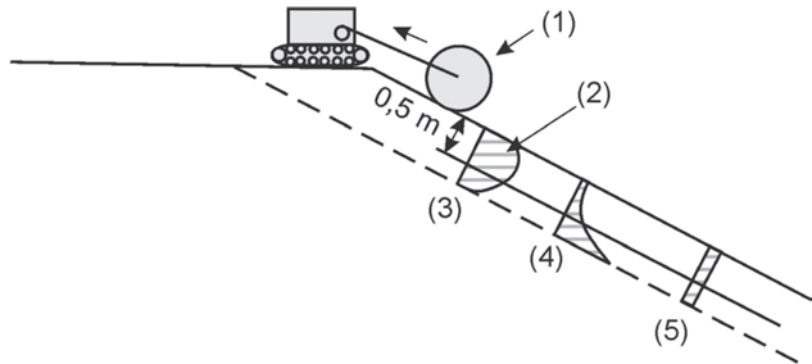


Abb. 4.15 Situation nach Verdichtung in der Böschungfläche bei bindigen Böden. 1 Vibrationswalze; 2 Zone gleicher Dichte und gleicher Wassergehalte; 3 Dichte; 4 Wassergehalt; 5 Frostlinsenbildung



Schutz des Schüttplanums Zur gefahrlosen Ableitung von Niederschlägen sollen die jeweils oberen Lagen zum Arbeitsschluss oder nach Fertigstellung mit einem Quergefälle von ca. 6% versehen werden. Leider wird dies bei längeren Schüttpausen durch Transportfahrzeuge immer wieder zerstört und das Quergefälle nicht wirksam. Die Folgen in Regenperioden durch Erosion sind häufig beträchtlich. Bei sandigen Böden spielt die Erosion durch Wassereinfluss nur eine geringe Rolle. Eine fehlende Oberflächensicherung führt häufig bei Windeinfluss zum erheblichen Abtrag und kann begrünte Böschungen in wenigen Stunden ersticken.

4.3.2.4 Erdplanum/Planum (siehe Tab. 4.1 und 4.2)

Das Erdplanum trennt den eigentlichen Erdkörper (Unterbau) von dem darüber einzubauenden Tragschichtsystem. Ein dauerhaft stabiler Zustand entscheidet über die Funktion der Tragschichten und damit über den Erhaltungsaufwand

des Oberbaus. Deshalb sind die folgenden Eigenschaften des Planums von entscheidender Bedeutung für das Funktionieren des Gesamtsystems Ober- und Unterbau:

- homogene, nicht verwitterungsempfindliche und zertrümmerungsfeste Böden bilden die oberflächennahen Schichten des Erdbauwerkes und gewährleisten eine gleichmäßige Elastizität,
- Tragfähigkeit und Dichte erfüllen die Anforderungen, d. h., es werden nur unschädliche Verformungen entstehen,
- das Quergefälle von 1: 20 und entsprechende Ebenföchigkeit gewährleisten den Abfluss durchsickernder oder aufgetriebener Wässer aus Kapillarität,
- die Oberfläche wird zum Abschluss mit einer Vibrationsplatte verdichtet (s. Abschn. 4.3.2.3 und Abb. 4.10).

Dabei ist es selbstverständlich, dass eine so hergestellte Fläche vor Befahren geschützt wird und eine funktionstüchtige Entwässerung dauerhaft wirksam ist.

4.3.2.5 Sanierung des Erdplanums

Eine besondere Bedeutung gewinnen die zuvor genannten Anforderungen der Neuherstellung, wenn es sich um eine Sanierung/Ertüchtigung des Unterbausystems handelt. Die Mehrzahl der Strecken ist vor 1900 entstanden. Dementsprechend sind solche Erdbauwerke nicht mit heutigen Ansprüchen des Erdbaus vergleichbar. Die Unterschiede sind:

- Es gab keine Auswahl der Schüttstoffe, so dass neben organischen Verunreinigten Böden auch ein Gemisch aus bindigen und sandigen Erdstoffen vorgefunden wird.
- Die Verdichtung im technischen Sinne gab es seinerzeit nicht, so dass sich die natürlichen Dichten zu einer Proctordichte um 92% unter Eisenbahnbedingungen entwickelt haben. Das bedeutet Setzungen bei neuer Last bzw. dynamischen Laststeigerungen.
- Die Kapillarität ist bei feuchtem Untergrund nicht durch kapillarbrechende Schichten unterbunden und so häufig im Planum voll wirksam (weiches Planum).
- Die dynamischen und statischen Lasten haben sich im Laufe der Jahrzehnte erheblich erhöht und so unterschiedliche Verformungen ausgelöst.
- Der Gleisabstand hat sich erheblich vergrößert mit daraus resultierenden Aufwölbungen und Senken im Erdplanum.

Daraus entwickeln sich Schäden, die nur beim Freilegen des Erdplanums sichtbar werden:

- Schottersäcke, häufig in sehr unterschiedlichen Formen, Breiten und Tiefen aus Setzungen und Vermischungen der Stoffe,
- Materialwechsel aus früheren Anschüttungen bei Planumsverbreiterungen, aus zweigleisigem Ausbau, Auswirkungen früherer Anwendung des Klotzverfahrens und manchmal aus Brucherscheinungen bzw. deren Reparatur,
- Aufweichen bindiger Böden und daraus entstehende plastische Verformung (Aufwölbung), teilweise aus fehlender Frostsicherung,
- Entfernen alter Schutzschichten durch Bettungsreinigungen und so Erzeugung eines unebenen, nicht durchgehenden Planums mit Verlust der Querentwässerung.

Solche Schäden am Erdplanum machen sich immer wieder auch bei vorhandenen Trag-schichten, z. B. Einbau mit Planumsverbesserungsmaschinen, durch eine unruhige Gleislage bemerkbar, wenn eine Sanierung der o. g. Schadensbilder im Erdplanum nicht erfolgt ist. Die schlechte Gleislage ist bedingt durch die ungleichmäßigen Auflagerbedingungen der Schwelle, die aus unterschiedlichem Trag- und Schwingverhalten des Unterbaus herrühren und letztlich zu Setzungen und horizontalen Verschiebungen des Gleises führen. Wesentlich für die Planung der Sanierung ist, die Ursache der Schadensbilder zu finden. Sind es Schäden, die aus der Gründung, z. B. bei schwimmenden Dämmen in Mooregebieten herrühren, so ist deren Ursache vor einer Sanierung des Erdplanums vorzunehmen, wenn ein dauerhafter Erfolg gesichert werden soll (siehe 4.4.4). Zur Sanierung der genannten Schadensbilder am Erdplanum dienen folgende Hinweise, s. auch Abb. 4.16 und 4.17:

- Schottersäcke müssen nicht bei sandigen Böden in voller Tiefe abgetragen werden, sondern es reicht ein Aushub von 0,5 m. Die Verfüllung sollte möglichst mit grobkörnigem Material (Vorschlag Korngemisch 2) durchlässig, $U \geq 15$, filterstabil mit einer Mindestdicke von 0,30 m erfolgen. Die KG-2-Auffüllung sollte durch Verdichtung mit Vibroplatte erfolgen. Der Fehlbetrag kann durch anstehendes Material des Planums ergänzt werden. So hat die Oberfläche weitgehend homogene Eigenschaften.
- Organische Linsen im Planum sollten wie Schottersäcke behandelt werden, sofern diese nicht dicker als 0,50 m sind.
- Kapillare Einflüsse in Form von Nassstellen lassen sich nur durch Bodenaustausch einer $\geq 0,30$ m dicken Schicht mit KG 2 oder bei geringen Wirkungen durch eine verstärkte PSS KG 2 ausschalten. Bei letzterer Verfahrensweise muss mit einer geringeren Dichte und Tragfähigkeitsverlust gerechnet werden. Dies kann durch eine größere Dicke der PSS ausgeglichen werden.

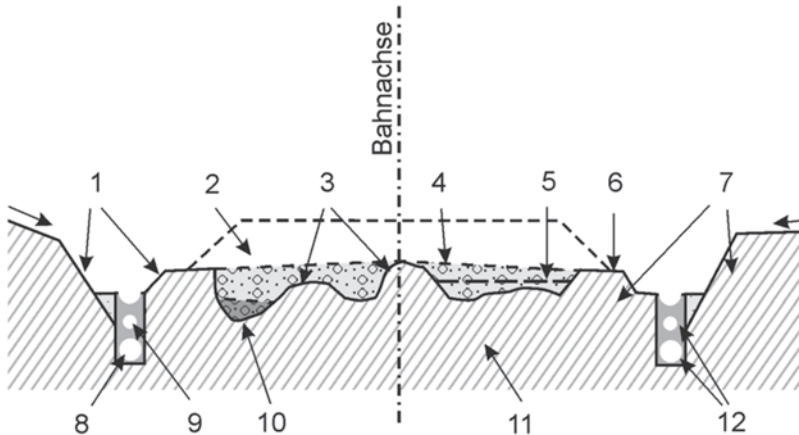
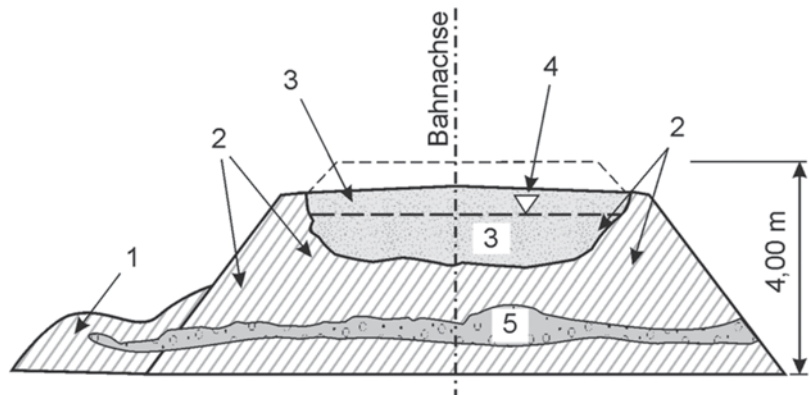


Abb. 4.16 Einschnitt einer Bahnstrecke nach mehr als 150-jähriger Nutzung im Bänderton nach geometrischen Änderungen, Achslasterhöhungen, punktuellen Sanierungen und Versagen des Entwässerungssystems. 1 natürlicher Bänderton; 2 Schotterdicke zum Teil $> 0,80$ m völlig durchsetzt; 3 Aufwölbungen; 4 Sandauffüllung mit Schot-

ter vermischt; 5 Wasserstand; 6 Punkt der Erkundung; 7 natürlicher Bänderton TA bis TL; 8 halbgelochtes Steinzeugrohr \varnothing 300 bis 500 mm; 9 Tonrohr 30 bis 100 mm; 10 Grabenprofil mit Schotter verfüllt (Schotter völlig mit Tonmaterial versetzt); 11 Bänderton mit Sandzwischenlagen; 12 Tonrohre völlig versetzt

Abb. 4.17 Dammquerschnitt nach misslungener Unterbausanierung (Bodenaustausch vor 1923, anstehender Ton ist in plastischen Zustand übergegangen $I_c < 0,5$). 1 Reste eines verwachsenen Grundbruchs; 2 Weichzonen (Konsistenz $I_c < 0,5$); 3 Bodenaustausch > 1 m SE/SU; 4 Wasserstand; 5 Sandlinie (SE/SU)



- Quellenähnliche Wasseraustritte müssen gefasst und das Wasser durch Drainagen zur Tiefenentwässerung geführt werden.
- Aufgeweichtes Planum bei bindigen Böden (SU* ... TL) muss entweder im Bodenaustausch ersetzt oder durch eine Bodenbehandlung/Bodenverbesserung im Planum stabilisiert werden.

Da der Bodenabtrag aus dem Gleisbereich immer ein Problem ist, hat die Deutsche Reichsbahn von 1964 bis 1990 ein System zur „Kalkstabilisierung des Erdplanums“ realisiert, wobei

laut ZTVE-StB heute der Begriff Bodenverbesserung/Bodenverfestigung dafür verwendet wird. Mit großem Erfolg wurden in 10 Jahren ca. 500 km Gleis auf diese Weise saniert. Leider hat die Deutsche Bahn diese sehr positiven Erfahrungen in der Theorie der Eignung der Böden, Technologie der Vorbereitung und Durchführung sowie bei den Langzeituntersuchungen nicht fortgeführt. Es ist dennoch geraten, das genannte Verfahren wegen seiner Wirtschaftlichkeit und seines Sanierungseffekts planmäßig in das Programm der Streckensanierung der Deutschen

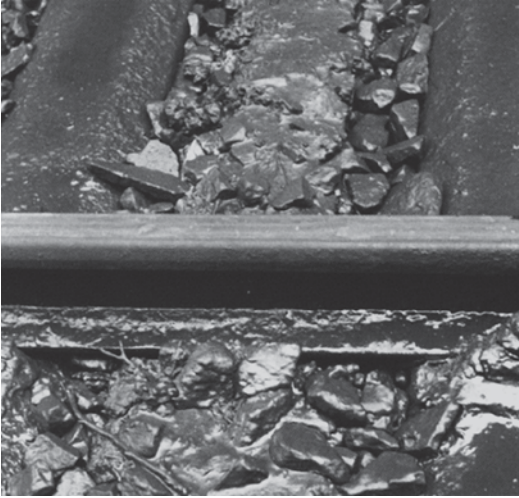


Abb. 4.18 Tragfähigkeitsschäden durch unbehinderte Kapillarität bei fehlender Planumsschutzschicht nach Bettungsreinigungsarbeiten und Tragfähigkeitsverlust

Bahn wieder aufzunehmen (s. Abb. 4.18, 4.19, 4.20, 4.21 und 4.22).

Der Ablauf ist in folgenden Schritten zu organisieren:

- Baugrundgutachten sind zu erstellen und bei einer Eignung der Böden auf Kalkhydrat-/Brantkalk-Reaktion ist eine Rezeptur für den praktischen Einsatz zu entwickeln. Durch den Einsatz von Brantkalken (CaO) wird die Minderung der Wassergehalte (1% CaO in guter Qualität bindet ca. 1% bis 2% Wassergehalt) vordergründig angestrebt. Häufig wird durch Kalkzugabe (Kalkhydrat) zusätzlich der Effekt einer Materialumwandlung der aktiven Tonanteile in den Böden erreicht. Damit wird ein neues Material mit optimalen Eigenschaften für den Unterbau hergestellt.

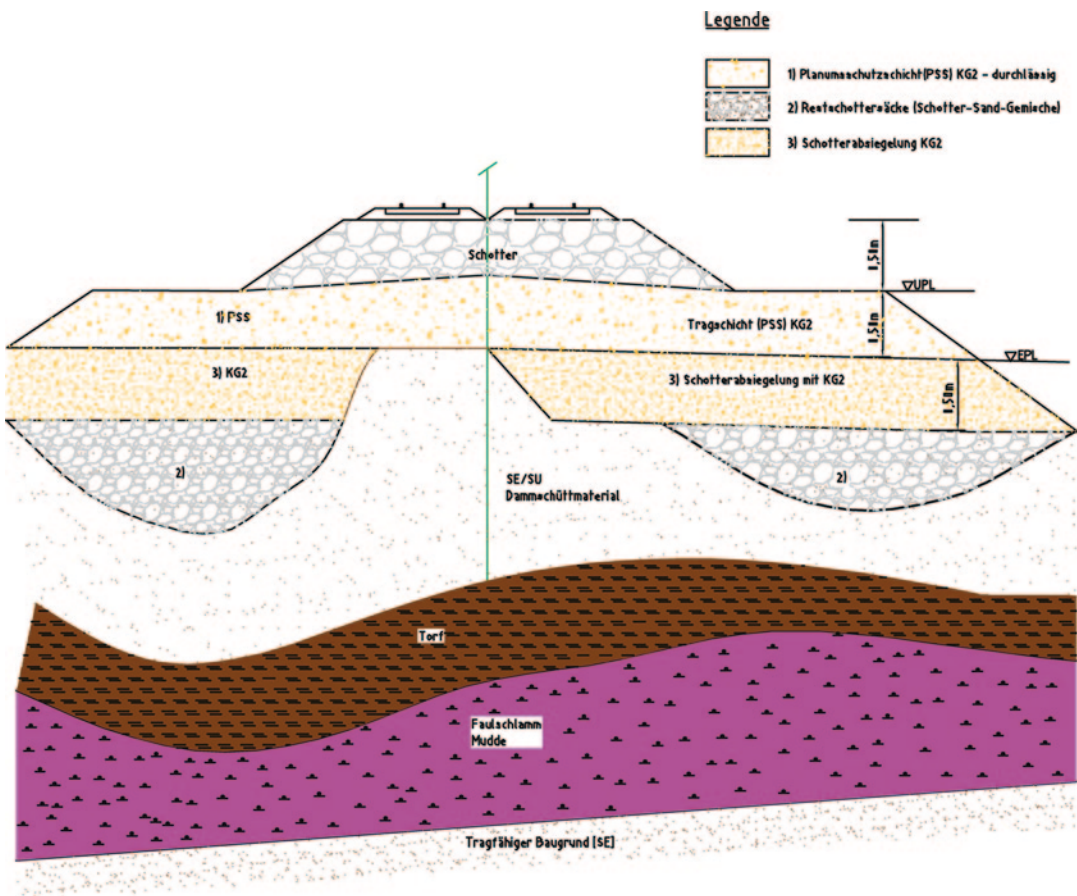


Abb. 4.19 Schottersäcke und ihre Sanierung bei schwimmender Dammgründung

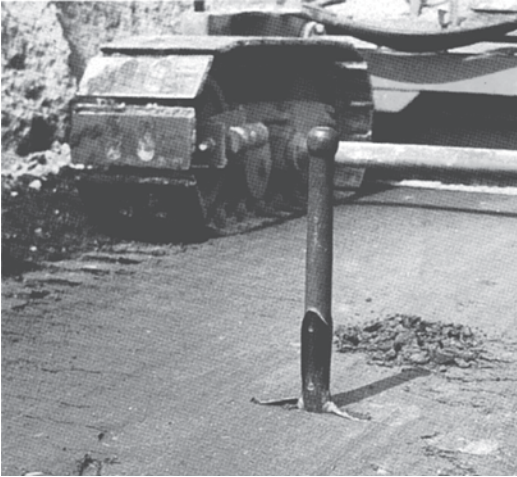


Abb. 4.20 Durchgeführte Kalkstabilisierung/Bodenverbesserung am Erdplanum



Abb. 4.22 Prüfung der Qualität der Durchmischung, Dicke der Schicht und Homogenität



Abb. 4.21 Boden-Kalkgemisch hat gute Krümelstruktur, zeigt optimale Reaktion

- Entwurfs- und Ausführungsplanung berücksichtigen die Wirkung der kalkbehandelten Schicht in der Bemessung als verbessertes Planum oder Teil der Tragschicht. Es wird die Technologie für den Ablauf der Kalkbehandlung einschließlich der notwendigen Qualitätsüberwachung festgelegt.

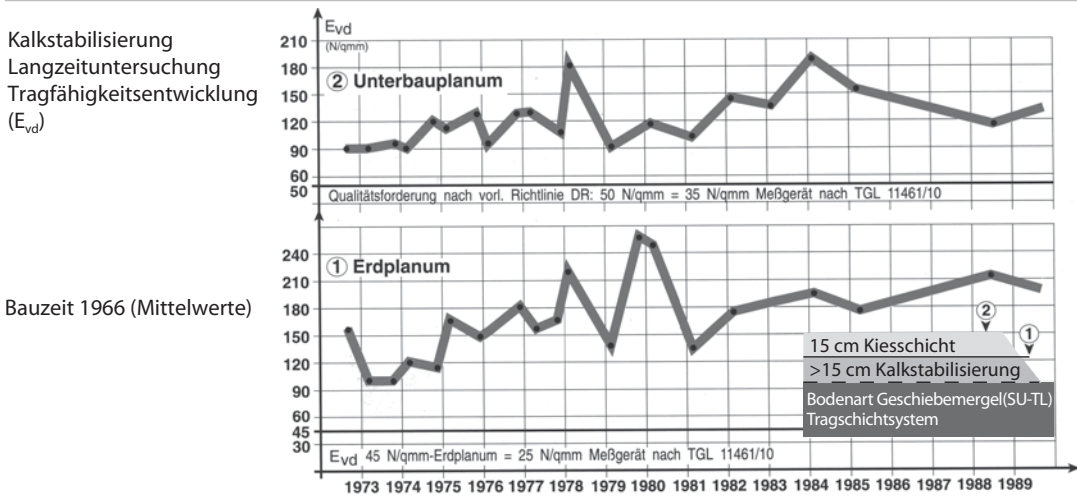
- Im Gegensatz zum häufig vorgeschlagenen Einsatz von Bindemitteln (Zement u.ä.) ist die kalkbehandelte Schicht elastisch und erfüllt alle Tragfähigkeitsforderungen. Dazu ist sie spätestens nach 6 Monaten frostsicher und rissefrei. Selbst nach mehr als 20 Jahren Nutzungsphase waren solche Abschnitte voll funktionstüchtig, s. Tabelle 4.9).

4.3.2.6 Schutz-, Trag- und Frostschutzschichten

Tragschichten sind das Bindeglied zwischen dem Oberbau (Fahrbahnkonstruktion) und den anstehenden oder geschütteten Böden. Ihre Eigenschaften entscheiden über die Langlebigkeit der Erdbaukonstruktion, und diese sollte 50 Jahre, möglichst mehr als 100 Jahre halten. Natürlich ist die Größe der Beanspruchung aus dem Verkehr durch

- statische Last,
 - dynamische Kräfte/Schwingungen und
 - Verkehrsdichte und Zuggeschwindigkeit
- die Ausgangsgröße für die Dimensionierung (Dicke) und die Auswahl der materialtechnischen Beschaffenheit der Tragschicht.

In diesem Abschnitt wird versucht, praktische Erfahrungen und wissenschaftliche Erkenntnis-

Tab. 4.9 Langzeituntersuchungen an einer Bodenverbesserung durch Einmischen von Kalkhydrat/Branntkalk

se mit den geltenden Richtlinien in Einklang zu bringen. Die Kernfragen dabei sind:

- Was muss bei der Auswahl des Materials für die Tragschichten beachtet werden?
- Stimmen die Qualitätsvorgaben mit den Anforderungen der Tragschichtsysteme noch überein?
- Wo gibt es wissenschaftlichen Klärungsbedarf?
- Was kann man den Produzenten von PSS empfehlen, wo können neue Impulse bei der Herstellung eines für die Kunden optimalen Korngemisches gesetzt werden?

Vorschriften, Richtlinien Seit Juli 2007 gilt der DBS 918 062 (alt BN) „Technische Lieferbedingungen (TL) – Korngemische für Trag- und Schutzschichten zur Herstellung von Eisenbahnfahrwegen“. Damit werden die Bezüge zu den Anforderungen des Straßenwesens (ZTVE) aufgenommen. Für die Herstellung und Lieferung von Trag- und Schutzschichten gilt derzeit:

- die Liefererlaubnis wird vom Besteller auf der Grundlage vorgelegter Eignungsnachweise und ggf. durch Vorlage der Prüfzeugnisse des Fremdüberwachers vereinbart und
- die Zentrale der DB Netz AG behält sich Stichprobenprüfungen der beim Besteller eingereichten Unterlagen vor und führt eine Lieferliste zur Kontrolle.

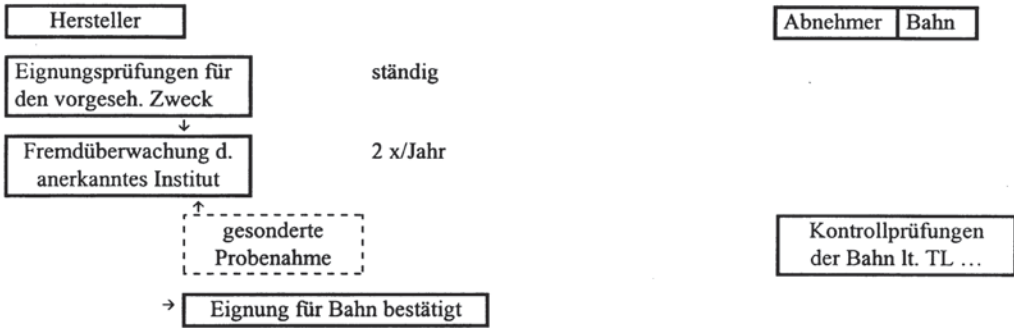
Wie wirkt sich die Neuregelung auf die Vertragspartner aus? Das System der Qualitätsüberwachung nach DIN 18 200 gilt für beide Partner, den Hersteller/Lieferer und den Empfänger, s. Abb. 4.23.

Lediglich die stoffliche Bewertung des Materials nach TL erfolgt allein durch die Prüfinstitute bei der Eignungsprüfung und Fremdüberwachung bzw. der Kontrollprüfung in der Bauphase. Dies setzt eine höhere Verantwortung und damit Sachkenntnis bei den Vertragspartnern voraus, denn die Zentrale Kontrollinstanz der DB Netz (AG) zieht sich aus dem Tagesgeschäft zurück, behält sich aber Informationsleistungen der Partner vor. So verständlich diese Maßnahme aus Gründen der Rationalisierung bei der Bahn auch sein mag, so werden in der nächsten Zukunft viele Fragen offen bleiben, weil der Grundsatzbearbeiter sie nicht erfährt. Bei der Bewertung der Tragschichten sind die Festlegungen in der RIL 836 im Modul Schutzschichten zu beachten.

Anforderung an Trag- und Schutzschichten Wer die Anforderungen an eine Planumschutzschicht bewertet, muss verschiedene materialtechnische Aspekte unter Berücksichtigung der Oberbaukonstruktion zu einer für das Gesamtwerk optimalen Lösung führen.

Die Anforderungen an natürliche oder gebrochene Materialien (Tab. 4.10) sind:

★ Prüfungen von im Werk hergestellten Produkten
 [hier: Planumsschutzschichten (PSS); Frostschutzschichten (FSS);
 Tragschichten für Feste Fahrbahn; Filterkiese ...]



★ Qualitätsüberwachung (Baustelle)

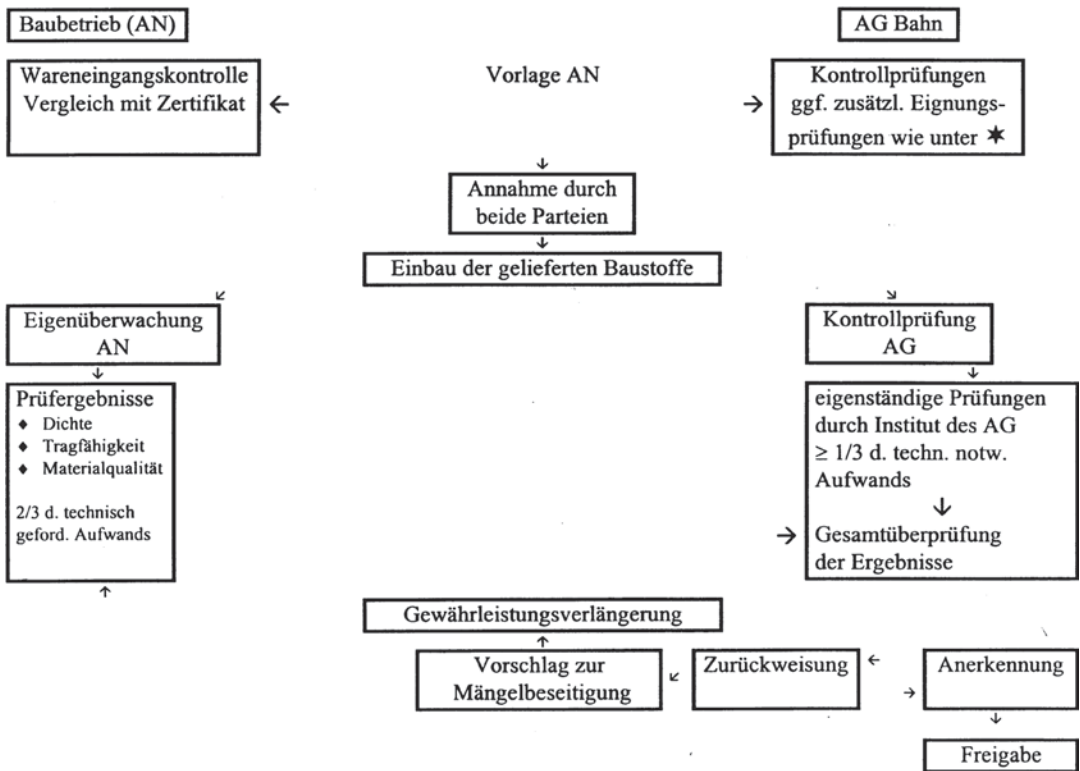


Abb. 4.23 System der Qualitätsüberwachung im Erd- und Tiefbau analog DIN 18200

Tab. 4.10 Übersicht zu Anforderungen an eine Planumsschutzschicht

| Eigenschaften | Anforderung | Bewertung |
|-------------------------------------|--|--|
| Tragfähigkeit | Dichte (Fullerkurve) | Proctorversuch |
| | Tragfähigkeit | Plattendruck-/Leichtes Fallgerät |
| | Elastisches Material | Elastische Verformung |
| Setzung (plastische Verformung) | Dichte s. o. | Nach Proctorversuch |
| | Minimierter Porenraum | na. < 15 % |
| | Verschleißfreies Material | Doppelter Proctorversuch |
| Frostsicherheit | Begrenzte Schluffkornanteile | Kornverteilungskurve |
| | | $d < 0,063 \text{ mm} < 5 \%$ |
| | Gute Entwässerungsbedingungen | Hydrologischer Fall |
| | Wirkt nicht kapillar | |
| Filterstabilität | Einhaltung Filterregeln | Kornverteilung |
| | Durchströmen des Wassers wird erwünscht, Feinkorntransport durch Porengeometrie verhindert | Filterregeln |
| Elastizität (elastische Verformung) | Anforderung ist von der DB Netz zu definieren | Noch offen |
| | Planung der Materialien für die PSS entsprechend vorgegebenem Zweck | Vorschlag: Messung der elastischen Einsenkung der Schwelle bei Befahren mit ausgewähltem Regelfahrzeug (Lok) |
| | Möglichst großen Anteil von Quarzsand im Korngemisch | |

- Tragfähigkeit, d. h. Lasten ohne schädliche Verformungen übertragen und lastverteilend wirken,
- elastisch reagieren, d. h. elastische Verformungen mitmachen, die zum Vorgang der Energievernichtung gehören und die Rückstoßkräfte in das Fahrzeug minimieren,
- keine plastischen Verformungen, also bleibende Setzungen erzeugen,
- frostsicher sein, d. h. Eislinsenbildungen in der Frostperiode nicht zuzulassen und damit Frosthebungen auszuschließen,
- Filterstabilität garantieren, also die Durchdringung von Feinteilen in die angrenzenden Schichten oder den Übergang zum Oberbau (Planum) nicht zuzulassen,
- Kornfestigkeit muss gegeben sein, es darf keine Verfeinerung des Materials in der Langzeit eintreten,
- Entmischung des Materials beim Verdichtungsprozess während der Einbauarbeiten bzw. in der Nutzungsphase darf nicht erfolgen und
- keine umweltschädigenden Bestandteile dürfen vorhanden sein.

Die DBS 918062 nennt zwei Korngemische mit unterschiedlichen Eigenschaften, aber nicht die

Einsatzbedingungen. Diese sind in der RiL 836 (1) nicht eindeutig festgelegt.

Einheitliche Anforderungen an Tragschichten Momentan werden für den Schotteroberbau folgende Schutzschichten angewendet:

- Planumsschutzschichten und
- Frostschutzschichten.

Für die Feste Fahrbahn sind dies nach Tab. 4.11:

- obere ungebundene Tragschicht – zugleich Frostschutzschicht und
- untere ungebundene Tragschicht.

Tabelle 4.11 soll einen Überblick über die wesentlichen Anforderungen für die im Bahnbau angewandten Tragschichten geben.

Es ist anzunehmen, dass die nach den technischen Lieferbedingungen oder DBS 918062 festgelegten Korngemische 1 und 2 sowohl für den Schotteroberbau als auch die Tragschichten der Festen Fahrbahn definiert sein müssten. Es ist auffällig, dass die Anforderungen der Tragschichten für die Feste Fahrbahn großzügiger ausgelegt sind als die Tragschichten für den Schotteroberbau, obwohl man aus den viel geringeren zulässigen Verformungen bei der Festen Fahrbahn ein umgekehrtes Bild erwartet. Es ist verwunderlich, dass in den Darstellungen für

Tab. 4.11 Planumsschutzschichten für Schotteroberbau und Feste Fahrbahn nach DBS 918062

| Kiessandgemische (KSG) ¹⁾ | | | | | | | Breckkorn-Kies-Sandgemisch (BSKG) ¹⁾ | | | | | |
|---|----------------------------------|-------------------------------|--|-------------|------|-------------------------|---|----------------------------------|------------------------------|--|------|-------------------------|
| > 70 % Rundkorn (natürliche Kiessande) | | | | | | | ≥ 30 % Rundkorn (natürliche Kiessande) | | | | | |
| ≤ 30 % Brechkorn (geeignete Festgesteine) | | | | | | | < 70 % Brechkorn (geeignete Festgesteine) | | | | | |
| Schotteroberbau | | | | | | | Feste Fahrbahn nach [4.16] | | | | | |
| Planumsschutzschichten/Tragschichten | | | | | | | Ungebundene Tragschichten | | | | | |
| | Boden- klasse DIN 18196 | Allgem. Liefer- körnung | Korngröße/ Ungleichförmigkeit/ Wasserdurchlässigkeit | | | | | Boden- klasse DIN 18196 | Allg. Liefer- körnung | Korngröße/Ungleich- förmigkeit/Wasser- durchlässigkeit | | |
| | | | 0,02 mm | 0,063 mm | U | k _f [m/s] | | | | 0,063 mm | U | k _f [m/s] |
| Korn- gemisch 1 | GW GI | 0–32 mm Größtkorn 63 mm | ≤ 3 % | ≤ 5 % | > 15 | ≤ 1*10 ⁻⁶ | Obere Zone der PSS (OT) | GW GI | KG2 nach DBS 918062 | ≤ 5 % | > 15 | ≥ 5*10 ⁻⁵ |
| Korn- gemisch 2 | GW GI | 0–32 mm 0–45 mm 0–56 mm | – | ≤ 5 % | > 15 | ≥ 5*10 ⁻⁵ | Untere Zone der Trag- schicht | GW GI GE | KG2 nach DBS 918062 | ≤ 5 % | > 15 | ≥ 5*10 ⁻⁵ |

¹⁾ Auswahl je nach Elastizitäts- und Lebensdauerforderung

die Feste Fahrbahn der Begriff der Frostschutzschicht verwendet wird, obwohl von jeder Tragschicht auch Frostsicherheit verlangt wird, aber nicht umgekehrt von den Frostschutzschichten ein tragfähigkeitserhöhender Effekt. Das Tragverhalten einer PSS ist dominant und es sichert i. d. R auch Filterstabilität und Schwingstabilität. Deshalb wird angeregt, dass der Auftraggeber

- eine einheitliche Definition der Tragschichten für beide Systeme Schotteroberbau und Feste Fahrbahn festlegt,
- gleiche Materialparameter auswählt,
- die jetzigen Festlegungen zu den Frost- bzw. Tragschichten für die Feste Fahrbahn überprüft und auf den gleichen Stand bringt, der aus dem Schotteroberbau mit der DBS 918062 sich im Laufe der Jahre unter Verwertung wissenschaftlicher Erkenntnisse und praktischer Erfahrungen entwickelt hat,
- deutlich macht, welchen Typ der nach DBS 918062 möglichen Korngemische (nach Tab. 4.11)
Kiessandgemische bis 70 % natürliches Rundkorn

Breckkorn-Kiesand-Gemisch bis 70 % Brechkorn, dem eine elastische Tragschicht oder starre Tragschicht zuzuordnen sind und

- den geotechnischen Sachverständigen nicht die Grundsatzfragen entscheiden lässt. Dies ist nicht der richtige Weg. Auch ein Sachverständiger braucht Richtwerte, um die Anpassungen zur Örtlichkeit vornehmen zu können. Nicht jeder Sachverständige ist Spezialist für solche baustofflich zu entscheidenden Fragen. Nach RiL 836.0503 3 ist festgelegt, dass für Frostschutzschichten unter Festen Fahrbahnen KG 1 (undurchlässig) nicht verwendet werden darf. Es wird offen gelassen, welche Tragschicht nach ZTVT StB mit einer Wasserdurchlässigkeit von $KG > 5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ anzuwenden ist. Warum heißt es nicht, KG 2 ist zu verwenden? Man hat reagiert, s. Tab. 4.11.

Elastizitätsverhalten der Tragschichten Neue Zuggenerationen, z. B. ICE, erfordern ein umso gleichmäßigeres Verhalten des Tragsystems, je mehr die Geschwindigkeit zunimmt, um letztlich den Fahrkomfort und die Sicherheit zu gewährleisten. Die Bahn hat auf höhere Anforderungen

Tab. 4.12 Empfohlene Elastizitätsmodule bei der Festen Fahrbahn

| Schicht/Bauteil | E (N/mm ²) |
|-------------------|------------------------|
| Beton BT S | 40.000 |
| Obere Tragschicht | 400 |
| Anstehender BG | 50–80 |

an den Unterbau in den letzten Jahrzehnten für die Tragschichten reagiert durch

- höhere Dichteforderungen,
- höhere Tragfähigkeitsmindestwerte,
- Forderung nach größeren Dicken der Tragschichten und
- Verbesserung der Materialqualität.

Das Maß aller Dinge war dabei, eine hohe Tragfähigkeit zu sichern. Die praktischen Erfahrungen im Schnellfahrverkehr sagen aus:

- der Unterbau ist zu starr geworden,
- die Fahrzeuge haben einen zu hohen Verschleiß an den Federelementen,
- die Abnutzung an der Oberbaukonstruktion ist erheblich,
- die größten Probleme entstehen beim Übergang von unterschiedlicher Elastizität, z. B. Erdbauwerk und Tunnel/Brücke bzw. bei Schwächezonen im Untergrund (Moor-, Tonbereiche) und
- die überhöhten Dichteforderungen ($D_{pr} > 100\%$) führen zur Zertrümmerung des Materials beim Verdichtungsvorgang.

Sicher ist es ein guter Beitrag, die Elastizität des Oberbaus durch neue Zwischenlagen und Unterschottermatten im Tunnel zu erhöhen. Aber die Möglichkeit der Materialzusammenstellung für die Tragschichten auf dem Erdkörper bietet weitaus größeren Gestaltungsspielraum, um ein elastisches oder relativ starres Verhalten zu entwickeln.

Am Beispiel für die Feste Fahrbahn macht der Verfasser den Versuch, Tendenzen für die Elastizitätsanforderungen der Einzelschichten des Gesamtsystems darzustellen (Tab. 4.12). Die Anregungen haben sich aus zahlreichen Fehlschlägen bei der Verlegung von bewehrten Stahlbetonplatten für Straßenbahngleise und Versuche von Plattentragwerken (DR und CSD) entwickelt. Demnach war erkennbar:

- Betonplatten auf gut abgestuften Kiessanden mit einer Dicke $> 0,5$ m hatten eine gute Lagequalität,
- Platten auf bindigen Böden, Feinsanden o.ä. zeigten bei Durchfahrt von Zügen eine starke Vibration (Flattern) und bildeten große Fugen an den Plattenrändern. Die Platte schwamm, (s. auch Thema Kapillarwirkung),
- nach frostsicherem Ausbau $> 0,70$ m, Verwendung von guten Kiessandschichten und funktionierender Entwässerung war die Gleislage, z. B. bei der Straßenbahn, akzeptabel.

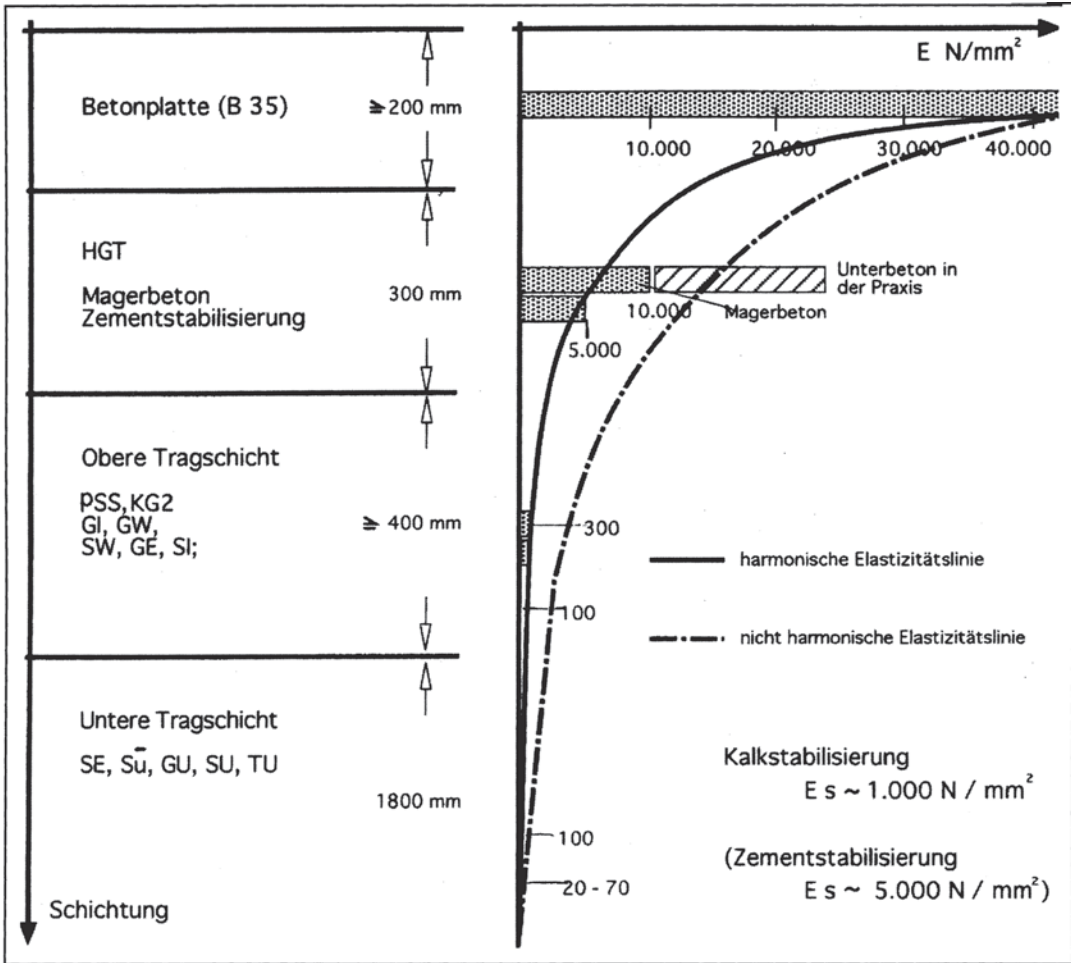
In den Diskussionen kam zum Ausdruck, dass in einem elastisch reagierenden System

- die Elastizität der aufgebauten Schichten sich max. um 1/10 verändern darf,
- die natürlichen Kiessande (Rundkorn-Quarz) aufgrund ihrer eiszeitlichen Beanspruchung die günstigsten Eigenschaften aufweisen.

In Abb. 4.24 wird folgende Tendenz erkennbar:

- die bisher verwendete Darstellung über die Abstufung der Elastizitätsmodule E in den Materialien für Feste Fahrbahn ist unrealistisch,
- die HGT sollte wirklich nur Magerbeton sein und den Elastizitätsmodul von 5.000 N/mm^2 nicht überschreiten,
- die obere Tragschicht der PSS sollte ein E von $300\text{--}500 \text{ N/mm}^2$ haben, d. h. die Merkmale eines KG 2 aufweisen,
- der untere Teil der OT sollte ebenfalls aus GI/GW bzw. KG 2 bestehen und
- die untere Tragschicht (UT) könnte bei diesem Vorschlag aus anstehendem Material beibehalten oder bei höheren Forderungen mit Grobkorn angereichert werden.

Aus den genannten Erwägungen heraus sollten die Elastizitätsmodule etwa die Größen wie in Tab. 4.12 angegeben für die Feste Fahrbahn aufweisen. Die Elastizitätsmodule sind abgeschätzt auf Grundlage von Literaturauswertungen. Aus dieser Abschätzung könnten Akzente für die Ausbildung der PSS durch die Hersteller abgeleitet werden (Tab. 4.11). Ein möglichst hoher Brechkornanteil steigert den Elastizitätsmodul, macht die Schicht steifer. Derzeit denkbar sind 70% Brechkorn und 30% Kiessandgemische. Ein hoher Brechkornanteil birgt folgende Gefahren:



Anforderungskatalog

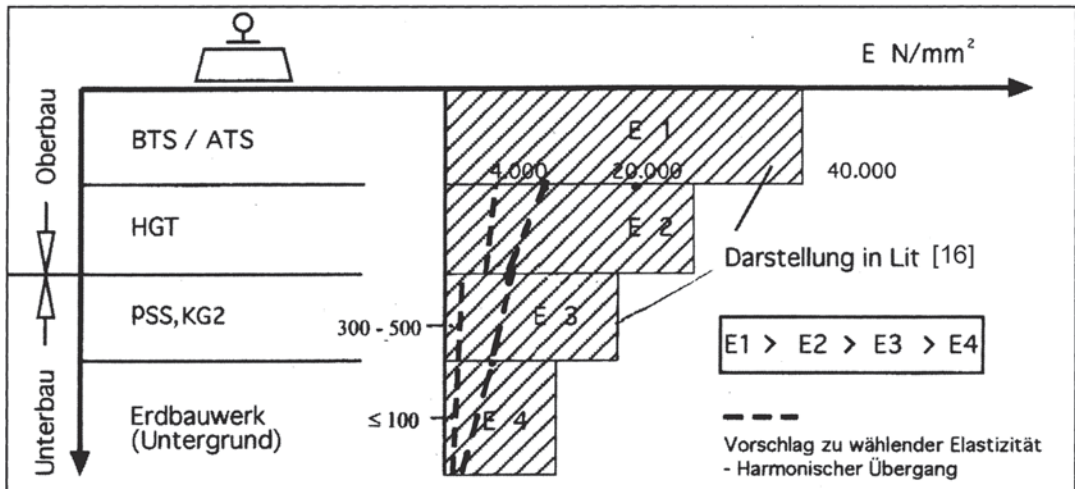


Abb. 4.24 Abschätzung notwendiger Elastizität beim Tragschichtsystem Feste Fahrbahn

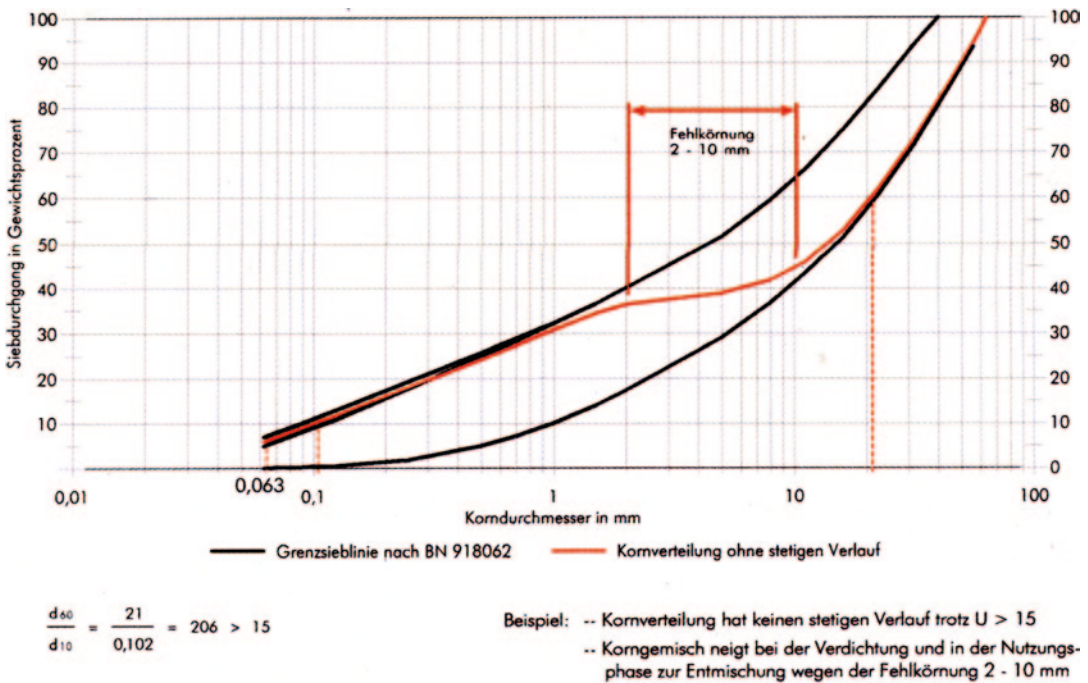


Abb. 4.25 Beispiel einer Kornverteilungslinie mit Fehlkorn 2–10 mm

- Es kann Materialverfeinerung in der Nutzungsphase auftreten, weil nicht die Kugelpackung von Kieskörnern, sondern eine schotterähnliche Verspannung (Kraftübertragung über Spitzen des gebrochenen Gesteins) vorliegt.
- Bedingt durch den Brechprozess in einem Backenbrecher hat das Brechkorn Anrisse, die sich letztlich bei dynamischer Beanspruchung lösen. Das Korn bricht.
- Die Porengeometrie führt durch den Brechproduktanteil zur Erhöhung des Porenvolumens und damit einer steigenden Gefahr des Versagens bezüglich der Filterstabilität.
- Die Verdichtbarkeit nach Proctor wird erreicht, weil es sich um ein relatives Dichtemaß aus gleicher Verdichtungsarbeit handelt. Im eigentlichen Sinne versagt der Proctorversuch bei hohen Brechkornanteilen. Hier müsste ein maximaler Porenanteil festgelegt werden.

Bei zu hohen Brechkornanteilen wird möglicherweise schon während des Verdichtungsvorgangs eine Entmischung erreicht. Ursache ist die hohe

Korndichte der Brechprodukte (z. B. Basalt 3 t/m^3 , Quarzkorn $2,65 \text{ t/m}^3$). Es ist auch denkbar, dass bei hochfrequentem Verkehr diese Entmischung eintritt. Der stetige Verlauf der Kornverteilungslinie ist gefordert (s. Abb. 4.25), um den notwendigen Stützkörper aus allen Kornfraktionen für die Tragfähigkeit abzusichern (keine Fehlkörnungen).

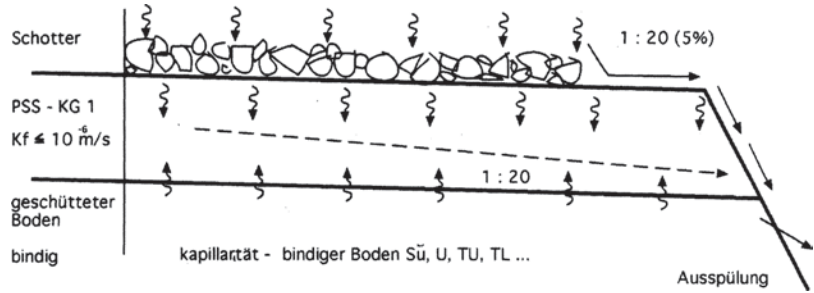
Obwohl für die Eigenschaftssicherung der Filterstabilität das Feinkorn aus Quarzsanden in den unteren Korngrößen 0–2 mm sehr wichtig ist, sollte auch in den größeren Fraktionen 2–63 mm Rundkorn zur Absicherung der Elastizität (mindestens 30%) vorhanden sein.

Die Optimierung des Korngemisches für die Feste Fahrbahn sollte bei

- 50% Rundkorn aller Fraktionen 0–32 mm aus Quarzsanden und
- 50% Brechkorn 0–63 mm liegen.

Die Tragschicht sollte den Anforderungen des KG 2 genügen. Bei Einsatz der PSS für den Schotteroberbau ist dringend zu empfehlen, die mögliche Definition einer Tragschicht nach den

Abb. 4.26 Die Planumsschutzschicht KG1 und die Entwässerung



Funktionsprinzip während der Nutzungsphase auf bindigem Untergrund:

- 95 % des Oberflächenwassers fließt auf der Planumfläche ab.
- 5 % versickert in der PSS und wandert mit wochenlanger Zeitverzögerung zur Böschungsfläche.
- PSS bildet eine Dampfsperre und behindert so die natürliche Verdunstung. Aufweichung des bindigen Bodens in der Grenzzone ist möglich und kann damit zum Tragfähigkeitsverlust führen.

Grundsätzen des Straßenwesens (ZTVT-StB) nicht zuzulassen (siehe [1], Pkt. 3.2).

Die Festlegung bei einigen Vorhaben, die Korngröße des Naturkorns mit $d_{\max} = 16 \text{ mm}$ zu begrenzen, ist nicht akzeptabel.

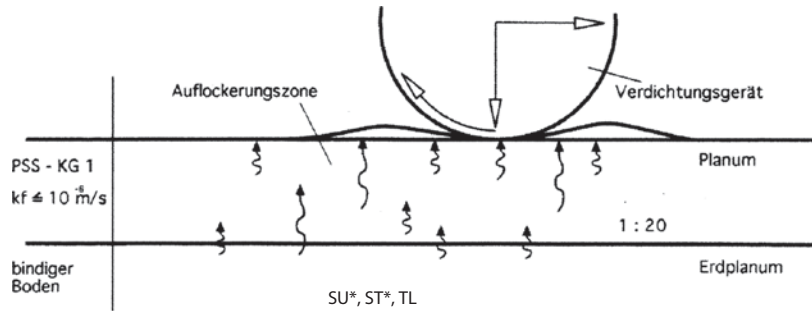
Effekte beim Einbauvorgang der Tragschichten aus KG 1 und KG 2 Noch vor wenigen Jahren gab es nur eine Planumsschutzschicht, das heutige Korngemisch 1. Die Überlegung zur Einführung bei der DB war, ein neues Material zur Gestaltung des Tragschichtsystems von Schnellfahrstrecken festzulegen, mit dem Ziel, das Wasser auf der Oberfläche des Planums zur Entwässerung, ohne Versickerung in den Unterbau, abzuführen und nur das Material vorzuschreiben, was durch Reibung und Kohäsion ein Maximum an Tragfähigkeitszuwachs, aber auch Frostsicherheit/Filterstabilität gewährleistet. Diese Überlegungen haben sich im Prinzip bewährt (s. Abb. 4.26).

Es gab dennoch Nachteile bei der praktischen Anwendung. Diese liegen vor allen Dingen in der Wasserempfindlichkeit und Undurchlässigkeit des KG 1, d. h., es gab immer wieder bei Regenwetter Schwierigkeiten, die vorgeschriebene Dichte bzw. Tragfähigkeit und die Ebenheit des Planums zu erreichen (Abb. 4.26). Eine Ursache war in der Überschreitung des optimalen Wasser-

gehalts schon bei Antransport oder bei offener Lagerung durch Regenfälle gegeben. Da nutzte es wenig, wenn die Hersteller zur Lieferung frei Baustelle mit einem Wassergehalt $< w_{\text{opt}}$ verpflichtet wurden. Bei günstiger Witterung kann man durch mehrfaches Umsetzen den Wassergehalt im angelieferten Material wieder herabsetzen. Es wäre auch eine künstliche Austrocknung bis max. 5% Branntkalk möglich, was allerdings vom Auftraggeber bisher wegen des vermeintlichen Verlustes an Undurchlässigkeit häufig abgelehnt wird. Probleme gab es auch immer dann, wenn die PSS KG 1 in Bereichen mit ungünstigen hydrologischen Bedingungen eingebaut werden sollte. Die Feuchtigkeit im Erdplanum wird natürlich durch die Kapillarkräfte im PSS Material aktiviert und steigt in die PSS vor und während des Verdichtungsvorgangs auf. Die Verformung des Planums und das Nichterreichen von Dichte und Tragfähigkeit sind die logische Folge (Abb. 4.27). Wählt man eine PSS mit einer Durchlässigkeit $K_f > 10^{-5} \text{ m/s}$ (wie die Deutsche Reichsbahn bis zur Bildung der DB AG nach Abb. 4.28), so wirkt dieses Material kapillarbrechend, die Feuchtigkeit sinkt nach und nach ab bzw. wird in den Poren ohne Probleme gespeichert.

Dichte und Tragfähigkeit werden erreicht, das Planum mit ansprechender Qualität hergestellt.

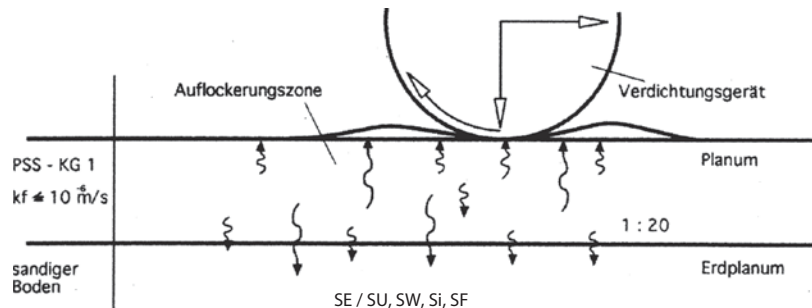
Abb. 4.27 Die Planum-
schutzschicht KG1 bei
Überschreitung des opti-
malen Wassergehalts



Funktionsprinzip während des Verdichtungsvorgangs mit einer Vibrationswalze auf bindigem Boden:

- Überschusswasser aus den Poren kann beim Verdichtungsvorgang nicht nach unten abfließen und tritt in der Oberfläche der PSS aus. Die Aufweichung im Planum ist die Folge.
- Verbleibendes Wasser bildet Porenwasserdruck aus, der zum plastischen Verhalten des Bodens führt (Walkerscheinung, „toter Elefant“). Das Planum deformiert.
- Die geforderte Dichte und Tragfähigkeit werden nicht erreicht.
- Bauzeitverlängerung oder Qualitätsmängel sind die Folge.

Abb. 4.28 Verdichtung
Planumschutzschicht
KG1 auf durchlässigem
Baugrund



Funktionsprinzip:

- Feuchtigkeitsüberschuss kann ins durchlässige Erdplanum versickern.
- Im Planum austretendes Wasser der oberen PSS verdunstet.
- Kein Problem bei Erreichen von Dichte und Tragfähigkeit.
- Auflockerung der Oberfläche aus Walzenverdichtung wird durch Verdichterplatte egalisiert.

Nachteile dieses durchlässigen Materials, heute als KG 2 definiert, sind:

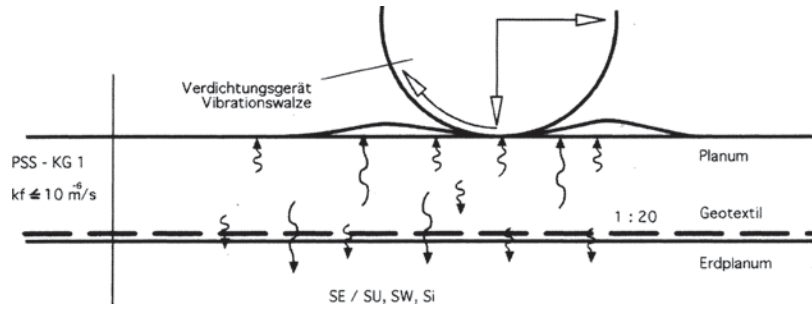
- Verlust an Tragfähigkeitszuwachs bei gleicher Dicke der PSS wie KG 1, Ausgleich durch mehr Dicke je nach Untergrund 5–10 cm (die Kohäsion fehlt gegenüber KG 1).
- Der Abfluss von Oberflächenwasser über das verdichtete Planum bei Niederschlägen geht auf ca. 80% zurück. Die Sickermenge

kommt mit Zeitverzögerung am Dammfuß an und mindert die zuweilen auftretenden Ausspülungen am Ende der PSS im Böschungsbereich.

- Bei Aufbau über weichen bindigen Böden ist eine künstliche Austrocknung des Erdplanums mit Branntkalk zu empfehlen.

Aber nennen wir auch die Vorteile des PSS-Materials KG 2:

Abb. 4.29 Verdichtung einer Planumsschutzschicht KG1 bei Einbau eines Geotextils auf durchlässigem Boden



Funktionsprinzip:

- Das Geotextil wird bei Feuchtigkeitsüberschuss in der PSS sehr schnell undurchlässig (Poren zugeschwemmt).
- Das durch den Verdichtungsprozess aus den Poren verdrängte Wasser weicht die PSS KG 1 über dem Geotextil auf (weiche Konsistenz der PSS).
- Die Oberfläche der PSS wandelt sich während des Verdichtungsprozesses in einen weichplastischen Zustand.
- Dichte und Tragfähigkeit werden nicht erreicht. Das Planum ist deformiert.
- Bauzeitverlängerung oder die Inkaufnahme von Mängeln sind die Folge.

- Der Widerstand gegen Kornumlagerung ist bei Forderung eines Ungleichförmigkeitsgrades $U \geq 15$ gegeben.
- Das Material ist nur gering wasserempfindlich, weil es Wasser relativ schnell abfließen lässt.
- Auch bei ungünstigen Witterungsbedingungen lässt sich das KG 2 einbauen und optimal verdichten. Es ist unverzichtbar bei Beta-Arbeiten.
- Für den Einbau unter der Festen Fahrbahn ist KG 2 von seinen Eigenschaften her bei Abschätzung anderer Tragschichten nach dem Modell des Straßenwesens gut geeignet. Richtig ist auch nach RiL 836, KG 1 unter der Festen Fahrbahn wegen seiner Kapillareffekte nicht zuzulassen.

Wer noch Zweifel hat, ob er KG 1 oder KG 2 anwenden soll und meint, mit der Einbringung eines Geotextils dem System etwas Gutes zu tun, der kann sich sehr irren (Abb. 4.29). Ein Beispiel zeigt, womit man die Situation bei ungünstigen hydrologischen Bedingungen erheblich verschlechtern kann. Erfahrungsgemäß ist der Einbau eines 2-Schicht-Systems (Abb. 4.30, oben ein KG 1 undurchlässig und unten ein KG 2

durchlässig) für viele Fälle eine optimale Lösung, weil

- Überschusswässer aus dem KG 1 und im Erdplanum, z. B. nach Regenfällen, durch den Verdichtungsprozess in das KG 2 austreten können,
- ein harmonischer Übergang bezüglich der Elastizität hergestellt wird,
- Dichte- und Tragfähigkeitsforderungen auch bei ungünstiger Witterung erreicht werden können und
- die Mehraufwendungen für den Einbau von zwei Materialien (KG 1 und KG 2) im Hinblick auf die Qualität und zuverlässige Einhaltung der Bauzeit – insbesondere in Sperrpausen – vertretbar sind.

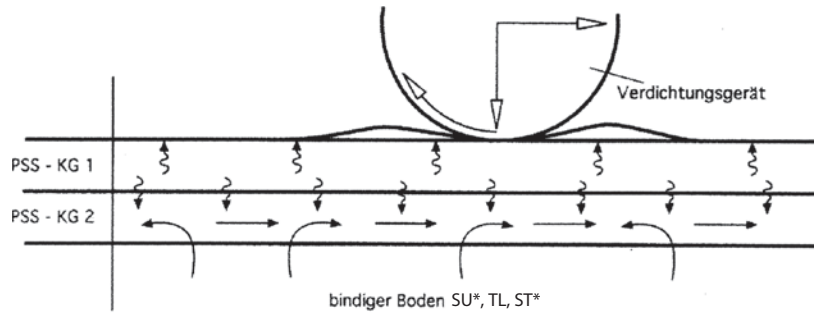
Wann wird man nun KG 1 und wann KG 2 einbauen? KG 1 erzeugt gegenüber KG 2

- höheren Tragfähigkeitszuwachs bei gleicher Dicke und Dichte,
- bessere Lastverteilung.

Des Weiteren

- verhindert es eine Entmischung der Körnung im eingebauten Zustand bei Zugverkehr und
- wirkt wasserableitend.

Abb. 4.30 Einbau einer Planumsschutzschicht als Zweischichtsystem auf bindigem Boden



Funktionsprinzip:

- Überschüssiges Wasser aus Korngemisch 1 wird während des Verdichtungsvorgangs vorwiegend in die durchlässige Schicht Korngemisch 2 ausgetrieben.
- Geringfügige Anreicherung der Feuchtigkeit an der Planumsoberfläche trocknet ab.
- Überschüssiges Wasser im Erdplanum tritt in das durchlässige KG 2 ein und wird von dort gefahrlos nach außen abgeführt.
- Dichte und Tragfähigkeit werden für das Gesamtsystem ohne Probleme erreicht.
- Vorteil ist ein harmonischer Übergang bezüglich der Elastizität, d. h., der Elastizitätsmodul nimmt nach unten ab.
- Lösung ist wegen des 2-Schichtsystems aufwändiger, aber weitgehend witterungsunabhängiger, d. h. besonders geeignet für Sperrpausenarbeiten.

Damit ist KG 1 für den Schotteroberbau im Hochgeschwindigkeitsverkehr unverzichtbar, zumindest als oberer Teil der Tragschicht. Die Nachteile bei schlechten Einbaubedingungen bzw. unsachgemäßer Bauausführung können jedoch die sonst guten Eigenschaften von KG 1 in Frage stellen. Deshalb empfiehlt es sich, KG 1 und KG 2 in der nach Abb. 4.30 vorgeschlagenen und oft schon realisierten Lösung zu kombinieren. Korngemisch 2 kann man nach Erfahrung für alle Vorhaben mit Streckengeschwindigkeiten $VB < 160$ km/h im Schotteroberbau und bei der Festen Fahrbahn zum Einsatz bringen.

Dichte und Tragfähigkeit Der Proctorversuch im Labor simuliert das Verhältnis von Dichte und Wassergehalt für eine Verdichtungsarbeit üblicher Verdichtungsgeräte im Erdbau auf der Baustelle (Abb. 4.31).

Proctor hat aus vielen Vergleichsuntersuchungen die Grenze dieser Verdichtungsarbeit auf eine Größe festgesetzt, wo eine höhere Energie-

eintragung zwar größere Dichten erreichen lässt – genannt sei z. B. verbesserte Proctordichte –, aber eine Zertrümmerung einzelner Körner erfolgt sowie der optimale Wassergehalt herabgesetzt wird. Das bedeutet, dies würde die Einbaufähigkeit natürlich gewonnener Böden stark einschränken. Insofern ist die Entscheidung der Bahn zu begrüßen, den Mindestwert für die Dichte der Tragschichten lt. RiL 836.0501 wieder auf 100% einfache Proctordichte zurückzunehmen. Diese Entscheidung ist auch im Hinblick auf die bereits diskutierte „Elastizität der Tragschichten“ zu befürworten.

Mit der Einführung der ZTVE 94, die die Bahn seinerzeit ohne Anpassung übernommen hat, sind die Dichteforderungen ohnehin durch die Festlegung als Mindestwert erhöht worden. Bis dahin galt, dass die Dichte als Mittelwert erfüllt war, wenn der Einzelwert bis 3% vom Sollwert abgewichen ist. Dies bedeutet, dass die Qualitätsforderungen im Schotteroberbau aus Sicht des Verfassers nach wie vor überhöht sind.

Abb. 4.31 Charakteristische Proctorkurve für KG1 mit 100% Rundkorn in Abhängigkeit von der Tragfähigkeit

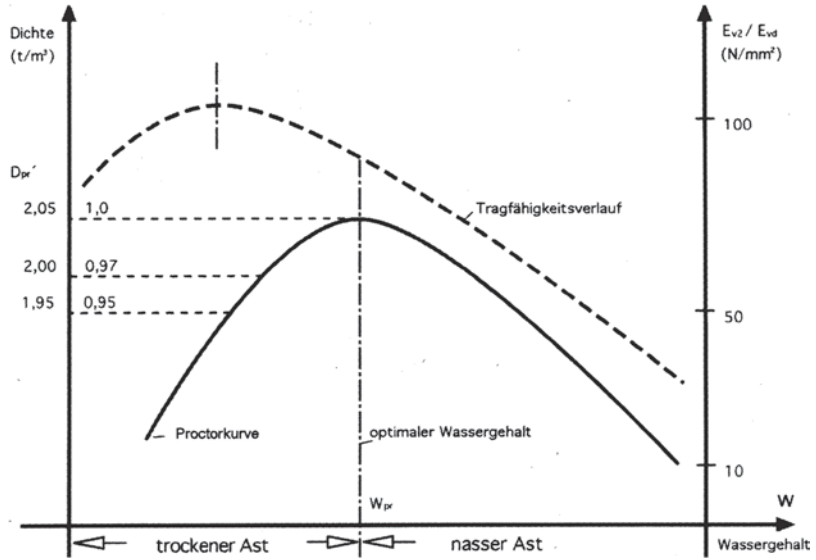
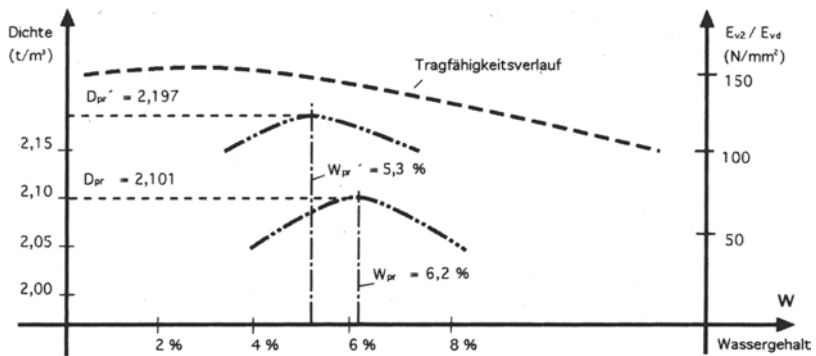


Abb. 4.32 Charakteristische Proctorkurve für KG2 mit 70% Brechkorn und 30% Sandkorn



Dem wichtigsten Aspekt der Homogenität der Planumsfläche bezüglich Dichte und Tragfähigkeit werden wir damit noch nicht immer gerecht.

Die Zulassung der flächendeckenden dynamischen Verdichtungskontrolle (FDVK), Methode M 2, ist dazu der richtige Schritt, aber eben nur auf großen Flächen mit gleichen Randbedingungen anwendbar.

Bei der Bewertung der Qualität einer Tragschicht besteht die Notwendigkeit, Dichte und Tragfähigkeit zu bestimmen. In Abb. 4.31 und 4.32 soll gezeigt werden, dass bei einem hohen Tragfähigkeitswert nicht automatisch auch eine ausreichende Dichte erreicht ist.

Hier sind praktische Erfahrungen, wie ein Dichte- bzw. Tragfähigkeitswert durch den Was-

sergehalt in einem Korngemisch beeinflusst wird, aufgetragen. Dabei ergibt sich, dass im nassen Bereich der Proctorkurve Dichte und Tragfähigkeit der gleichen Tendenz folgen, d. h. die Werte nehmen ab, je mehr der Wassergehalt zunimmt. Im sog. trockenem Ast der Proctorkurve steigt die Linie der Tragfähigkeit anfangs weiter an, während die Dichte mit sinkendem Wassergehalt abnimmt. Daraus dürfte erkennbar sein, dass das Errechnen einer Dichte aus der Tragfähigkeit, insbesondere wenn sich der Wassergehalt im trockenem Ast befindet, falsch ist. Diese Erkenntnisse werden um so komplizierter zu bewerten sein, je mehr gebrochenes Korn dem Korngemisch zugegeben ist. Während bei einem Rundkorngemisch die Dichtewerte gleichzeitig

auch Aussagen zum Porenvolumen und damit zur Sättigungsgrenze liefern, ist dies mit steigender Menge der Zugabe von gebrochenem Korn nicht mehr eindeutig.

Zum Beispiel sind die Kriterien für die Filterstabilität generell auf die Porengeometrie eines Rundkorns ausgerichtet. Was passiert, wenn diese Kriterien für plattiges oder scharfkantiges Korn angewandt werden? Man sieht, es gibt genügend offene Fragen, die nur in Gemeinschaft mit den Herstellern der Korngemische und wissenschaftlichen Instituten geklärt werden können.

Probleme bei der Ermittlung der Kornverteilung

Die DBS 918062 [5], Technische Lieferbedingungen schreibt vor, dass die Kornverteilung der Korngemische nachzuweisen ist für Körnungen $d=0,02$ mm bis $0,063$ mm durch die Sieb- und Schlämmanalyse nach DIN 18 123 und für Körnungen $d>0,063$ mm durch Nasssiebung.

Es gibt kaum Prüfergebnisse mit so vielen Unterschieden der Eigenüberwacher, Fremdüberwacher und Kontrollprüfer bei gleichen Materialien, wie bei der Sieb- und Schlämmanalyse. Diese Fehler nehmen zu, je mehr gebrochenes Korn in den Feinfraktionen enthalten ist. Natürlich führen solche Differenzen zu Misstrauen unter den Partnern, zu Unsicherheit und Fehlentscheidungen. Bei einer Ringanalyse an homogenisierten KG-1-Proben wurde die Kornverteilung bei verschiedenen Instituten, beim Fremdüberwacher und beim Hersteller bestimmt. Im Ergebnis sind folgende Fehlerquellen zu erkennen:

- große Unterschiede der Korndichte bei Kiesen und Sanden (Quarzsande) natürlicher Vorkommen von $2,65 \text{ t/m}^3$, z. B. bei gebrochenem Basaltkorn von $3,10 \text{ t/m}^3$,
- Anschluss des Schlämmastes bei $0,063$ mm bzw. $0,125$ mm,
- individuelle Fehler durch Einsatz von Anlernkräften (Bedienungsfehler),
- Verwendung von verklebten Sieben,
- Nutzung von Leitungswasser statt destilliertem Wasser,
- das Mischen der Flüssigkeit von Hand oder mit Mischsteller,
- abweichende Raumtemperaturen und
- ungenügendes Vorweichen der Probe.

Das Gesetz von Stookes geht von einer Korndichte $=2,65 \text{ t/m}^3$ aus:

- Sinkgeschwindigkeit gleicher Korngrößen wird durch unterschiedliche Korndichten erheblich beeinflusst. Bei der Zugabe z. B. von Basalt wird ein zu großes Korn vorgetäuscht,
- bei plattigen rauen Kornformen wird die Sinkgeschwindigkeit kleiner und damit ein erhöhter Feinkornanteil ermittelt und
- die Angleichung des Schlämm- und des Siebastes sollte wieder bei $0,063$ mm und nicht, wie jetzt vorgeschrieben, bei $0,125$ mm erfolgen.

Die gewonnenen Erfahrungen zeigen die Tendenz, dass

- eine Nass- und Trockensiebung mit dem Kleinstsieb $d=0,063$ mm bei Korngemischen verschiedener Korndichten eine wesentlich höhere Zuverlässigkeit liefert als die geforderte Sieb- und Schlämmanalyse,
- im Bedarfsfall der Anteil $d<0,02$ mm auch mit dem entsprechenden Sieb nachgewiesen werden kann,
- das Einsümpfen bzw. Einweichen bei Brechkornanteilen auch für eine Nass- und Trockensiebung von großer Bedeutung ist (puzzolane Effekte),
- Nass- und Trockensiebungen sind schneller durchführbar und damit für die Eigenüberwachung bezüglich der Einflussnahme auf die Produktion wesentlich effektiver. Dazu sind die Kosten eines Versuchs erheblich geringer und erlauben bei gleichem Aufwand wie bisher mehr Prüfungen. Die daraus abzuleitende Statistik liefert den Nachweis von mehr Sicherheit und Zuverlässigkeit des Produktes.

Schlussbemerkungen zur Materialauswahl der Tragschichten

Die DB Netz AG hat in der Einführungsverfügung zur DBS 918062 an die höhere Verantwortung der Prüfinstitute appelliert. Dennoch bleibt die Entscheidung zu Grundsatzfragen der Materialauswahl für Tragschichten bei der DB Netz AG. Dabei sind aktuelle Fragen, z. B. bei der Prüfung von Korngemischen mit Brechkornanteilen, fachtechnisch zu lösen. Die

Schlammanalyse sollte für Korngemische mit Brechkorn nicht mehr zur Anwendung kommen.

Die Elastizität der Fahrwegkonstruktion wird durch deren Einzelelemente bestimmt. Während es intensive Bemühungen gibt, einen starren Untergrund durch besondere Zwischenlagen im Oberbau weicher zu machen, wird derzeit das mögliche Elastizitätspotenzial der Korngemische für die Gesamtkonstruktion nicht systematisch genutzt. Vorschläge, dies zu ändern, wurden vorgestellt.

Der Verfasser ist davon überzeugt, dass die Abnutzungserscheinungen des Schotters an besonderen Stellen der Schnellfahrstrecken ihre Ursache ebenfalls in einem zu starren Untergrund haben. Die Diskussion sollte dazu auffordern, in Anbetracht der rasanten Entwicklung des Verkehrs und insbesondere der Herausforderungen für den Schienenverkehr in den nächsten Jahren die Möglichkeiten des natürlichen Materials besser zu nutzen. Der Eisenbahningenieur sollte erkennen, dass die Betrachtung der Zusammenhänge nicht an der Schotterunterkante endet. Eine Optimierung der Anforderungen an ein Gleis für höchste Ansprüche und lange Liegedauer sowohl für Schotteroberbau als auch für Feste Fahrbahn ist nur erreichbar über bessere Kenntnisse der Wechselbeziehungen von Ober- und Unterbau.

Einbau von Planumsschutzschichten mit Planumverbesserungsmaschinen (PVM) Der Einbau von Planumsschutzschichten (PSS) mit typischen Erdbaugeräten im sog. „gleislosen Einbau“ ist bei einer notwendigen Sanierung des Erdplanums (Schottersäcke, Bodenaustausch/Bodenbehandlung bei weicher Konsistenz von Bodenpartien, Fassung von Quellen) trotz eines hohen Mechanisierungsgrades „gleisgebundener Verfahren“ noch immer notwendig.

Bei überschaubaren Schadensbildern, Notwendigkeit der Verstärkung der PSS, Gründe begrenzter Bauzeit, ist der Einsatz der gleisgebundenen Maschinenkomplexe eine gute Lösung. Die Betreiber solcher PVM bieten in Form von Arbeitsbehelfen und anderen Dokumentationen die Leistungsparameter an. Aus geotechnischer Sicht sind folgende Faktoren gegeneinander abzuwägen:

- Die Leistungsgrößen übertreffen die Bauweise des gleislosen Einbaus erheblich, Transporte werden gleisgebunden mit Rollcontainern bzw. MFS-Spezialwagen realisiert. Die Bauarbeiten werden in größeren Sperrpausen und mit maximalen Schichtleistungen bis 500 m Gleislänge durchgeführt.
- Die Dicke der PSS kann bis 0,5 m in einem Arbeitsgang eingebracht werden.
- Neuere Maschinenkombinationen solcher PVM bieten Schotterwaschanlagen und Schotterrecycling an.
- Der Mittelverbau bei mehrgleisigen Strecken ist nicht erforderlich (Flanke wird abgestützt).
- Da die Beräumung des Erdplanums durch eine Planumsaushubkette erfolgt, ist die herzustellende Querneigung in der geforderten Qualität des Erdplanums nur bedingt möglich (Ebenheit).
- Es erfolgt nur ein Glätten (Abziehbohle) und keine Verdichtung des Erdplanums.
- Der Nachteil einiger Maschinen auf eine Begrenzung der Aushubbreite (Ausbildung eines Wassersackes) ist bei neueren PVM mit Breiten bis 6,60 m in den meisten Anwendungen behoben.

Die Entscheidung über den Einsatz einer PVM oder eine Arbeit im gleisfreien Planum muss nach Abwägung aller Einflussfaktoren erfolgen. Entscheidend sind letztlich der Zustand des Erdplanums mit den Untergrundverhältnissen (Schadensbild) und die angestrebten Anforderungen der Nutzung nach den Bauarbeiten.

4.3.2.7 Böschungen

Für die Herstellung von Böschungen und deren Sanierung im Schadensfall gilt RiL 836.0506. Diese Richtlinie hat sehr allgemeinen Charakter, so dass der Leser vergeblich nach klaren Handlungsvorgaben für einen speziellen Fall sucht. Dies ist aber die Frage des Praktikers, der die Zusammenhänge im Einzelfall nicht immer erkennen kann und so häufig eine fehlerhafte Entscheidung trifft.

Im Entscheidungsprozess muss man erkennen, ob

- erdstatische Probleme oder
- materialtechnisches Versagen

die Ursache eines Böschungsschadens sind. Letzterer Fall wird in der RiL 836 überhaupt nicht erwähnt. Das materialtechnische Versagen tritt bei Böschungsschäden umso deutlicher hervor, je feinkörniger und bindiger ein solcher Erdstoff ist. Damit wird er empfindlicher gegen die verschiedenen Wirkungen des Wassers (Erweichen, Fließen, Ausspülungen durch Strömungsdruck) und gegenüber Frosteinwirkungen (Frostlinsenebildung, Ausdehnung). Die genannten Faktoren sind mit einer statischen Bewertung allein nicht zu fassen. Diese liefert lediglich die Konturen einer Böschung im Falle, dass ein Materialversagen nicht entsteht (Böschungsneigung). Umso mehr muss man bei feinkörnigen Böden die Ursache einer Materialveränderung bis zum Versagen mit Merkmalen eines Böschungsschadens kombinieren und dafür die Sanierungsmöglichkeiten definieren. Dies ist letztlich eine Frage langjähriger Erfahrung, die mit wissenschaftlich-technischen Langzeituntersuchungen unteretzt werden muss.

Materialtechnisches Versagen von Böschungen

Die Deutsche Reichsbahn hat mit massenhaften Böschungsrutschungen von 1960 bis 1975 in eiszeitlich geprägten Gebieten Mecklenburg-Vorpommerns und Nordbrandenburgs, vorrangig an der Strecke Berlin–Rostock, schmerzliche Erfahrungen machen müssen. Teilweise gab es Mehrfachsanierungen, weil die Sanierungsverfahren fehlschlügen. Diese Schäden verursachten nicht nur ein Mehrfaches der ursprünglich geplanten Kosten, Bauzeitverlängerungen und Einschränkungen des Eisenbahnbetriebes (eingleisiger Betrieb, Geschwindigkeitsreduzierung bis zur völligen Sperrung von Teilabschnitten). Deshalb hatte die Leitung der Deutschen Reichsbahn eine Kommission eingesetzt, um die hinter den Schäden vermuteten Qualitätsverstöße und Fehlhandlungen Einzelner zu klären. Heraus kam:

- die gültigen Vorschriften waren den Anforderungen einer so schwierigen geotechnischen Aufgabe nicht gewachsen,
- politische Entscheidungen zum Einbau solcher bindiger Böden unter Winterbedingungen hatten großen Einfluss auf das Ausmaß der Schäden,

- die Sparpolitik zur Frostsicherung mit frostsicheren Kiesen erwies sich als falsch.

Diese Erkenntnisse hatten zur Folge, dass bei der Deutschen Reichsbahn und den Autobahnverwaltungen eine wissenschaftliche Begleitung der Baumaßnahmen solcher Böschungssanierungen und die Zusammenarbeit beider Verkehrsträger organisiert wurden. Die gewonnenen Erfahrungen brachte die Deutsche Reichsbahn als „Vorläufige Richtlinie für Lockergesteinsböschungen“, als DRA 2002 1976, heraus und die Grundsätze in der TGL 11 482/08 – Erdarbeiten im Straßen- und Eisenbahnbau [3] sowie in der TGL 24 756 Eisenbahnunterbau bis zur Fassung 1990 [6] entwickelt. Obwohl die genannten Erkenntnisse in der Praxis mit Erfolg zu einer drastischen Senkung solcher Schäden im Erdbau der Deutschen Reichsbahn geführt haben, wurden diese Regelungen in die RiL 836 leider nicht übernommen. Es besteht die Gefahr, dass bei Bauarbeiten an einer Strecke in Nord- und Mitteldeutschland mit eiszeitlicher Prägung sich diese Fehler wiederholen. Der Verfasser versucht, die damaligen und noch heute gültigen Erkenntnisse zusammenzufassen als Hilfe für die Entscheidungsfindung der Praktiker.

Schadensbilder Erosionsrinnen (Abb. 4.33, 4.34 und 4.35)

Ausdruck nicht beherrschter Entwässerung im angrenzenden Gelände durch fehlende Hanggräben bzw. noch nicht wirksame Begrünung in den Böschungsflächen.

Ausspülungen bei in Geschiebemergel eingelagerten Sandlinsen/Quellen (Abb. 4.36 und 4.37)

Beherrschbar nur durch eine flächige Kiesdrainage (Kieskeil), die durch eine frostfrei eingebaute Tiefenentwässerung am Fuß der Böschung das zufließende Wasser zu jeder Jahreszeit gefahrlos abführt. Sofortlösung: Pumpensumpf mit Wirksamkeit in der Sandschicht.

Austritt des Grundwasserhorizonts oberhalb des Erdplanums, Ausdruck für geringe Wirksamkeit der Tiefenentwässerung (Abb. 4.38)

Maßnahme: Ansatz eines Kieskeils (Flächendrainage), der am Tiefpunkt zu einer Hauptdrainage führt.



Abb. 4.33 Flächenhafte Erosion einer Rohböschung



Abb. 4.34 Punktuelle Erosion einer Rohböschung am Tiefpunkt einer Berme

Bermen sind Ausgangspunkt für Abrutschen der Böschungsoberfläche durch erhöhte Wasserzufuhr nach Auftauen von Schneewächten (Abb. 4.35)



Abb. 4.35 Erosion nach Schmelzwasserkonzentration im Vorland und auf der Berme



Abb. 4.36 Ausbluten einer mit Wasser gefüllten Sandlinse

Lösung: Vermeidung von Bermen oder ein Entwässerungssystem am Knickpunkt Böschung/Berme mit frostfreier Wasserführung einbauen.

Abfließen der Böschungsoberfläche nach Erreichen der Fließgrenze des bindigen Bodens an der Wetterseite eines 12 m hohen Bahndammes (Abb. 4.39, 4.40 und 4.41)

Maßnahme: Böschungsverdichtung in der Böschungsebene, ggf. Böschungsverflachung, Beachten der Bepflanzung, z. B. keine Gräser

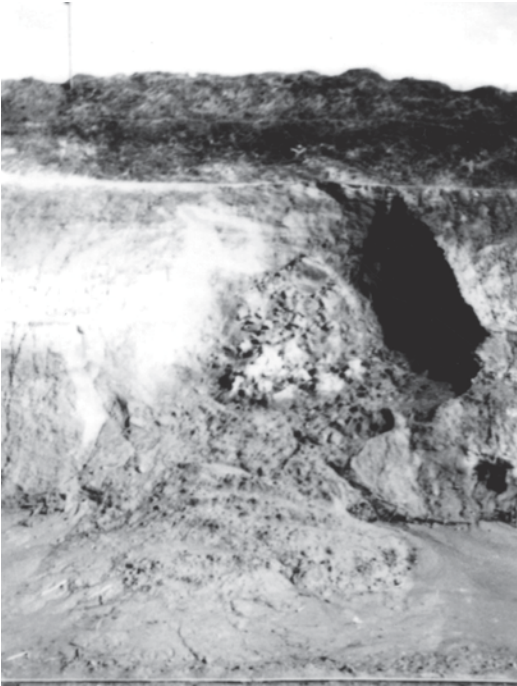


Abb. 4.37 Quelle mit langjähriger Aktivität



Abb. 4.39 Geschiebemergel in flüssiger Konsistenz nach der Frostperiode führte zum Abgleiten der bewachsenen Böschung einschl. Strauchbewuchs bei einer Böschungsneigung von 1:2



Abb. 4.38 Austritt der Sickerlinie in der Böschungsfäche

mit Nährstoffen für Nager (Rotklee), wirksame Entwässerung am Böschungsfuß (Kieskeil), keine Bermen, keine Pflanzmulden zulassen, Begrünung muss eine geschlossene Oberfläche zum Wintereinbruch aufweisen. Böschungsbefestigung mit Totfaschinen nicht zulassen, möglichst Drainagen in flacher Neigung oder Steinpackungen (sehr aufwändig) einbauen (s. auch Abschn. 4.3.2.3), möglichst keine Kaskaden, sondern frostfrei geführte Rohre, Fallschächte, weil Kaskaden durch flächenhafte Vereisung am Einlauf nicht früh genug frei sind für den Abfluss



Abb. 4.40 Fehlgeschlagene Böschungssanierung mit Totfaschinen im Geschiebemergel

der Tauwässer aus der Fläche. Die Folge ist Umspülung bis zum Einsturz der Kaskaden.

Konstruktive Lösungen und Einzelelemente der Böschungssicherung bzw. unverträgliche Anwendungen zeigen die Abb. 4.42, 4.43, 4.44.



Abb. 4.41 Böschungsschaden durch Ausspülung infolge hydrostatischen Überdrucks

Nach den Erfahrungen des Verfassers sind 90 % aller Böschungsschäden kein Problem der Statik, sondern punktuell versagen durch „Materialversagen“ aus örtlich massivem Wirken von Wasser und in Kombination mit den Ergebnissen aus Frosteinwirkung. Deshalb wird die Richtung der RiL [1] mit den vorgeschlagenen Maßnahmen (836.0506, Punkt 4) zumindest in Gebieten mit Böden aus eiszeitlicher Bildung für falsch gehalten, weil damit die Ursache nicht beseitigt wird (z. B. Stützscheiben, Injektionen, Anker) und der Schaden wieder auftreten kann. Dazu kommt, dass die Kosten solcher Sanierung viel zu hoch sind. Die erprobten Verfahren der Sanierung mit geeigneten Böden verbinden eine größere Harmonie im Verhalten bei extremen Einflussnahmen durch die Natur und eine unbegrenzte Haltbarkeit.

Böschungssanierung ohne Betriebsunterbrechung durch elektrochemische Stabilisierung (Abb. 4.45) Die Sperrung einer Strecke bei

einem überschaubaren Böschungsschaden ist nicht immer aus betrieblichen Gründen möglich. Folgerichtig wurden bei der Deutschen Reichsbahn Verfahren gesucht, die ohne Massentransporte eine Sanierung vor Ort ermöglichen.

Dazu wurde eine großtechnische Erprobung zur Sicherung einer in Bewegung befindlichen Tonböschung bei Frankfurt/Oder in den Jahren 1988 bis 1992 durchgeführt. Der Vorgang der elektrochemischen Stabilisierung wird unterteilt in:

- elektroosmotische Entwässerung als Vorlauf (Abpumpen von Wasser) mit Hilfe von Gleichstrom,
- Einbringung eines Verfestigungsmittels (Kalziumchlorid) im Umkehrereffekt zur Entwässerung durch Änderung des Stromflusses (Eindringen der chemischen Lösung in die Porenräume und Einleitung der Reaktion mit den Tonmineralien).

In Abb. 4.45 ist der Vorgang dargestellt:

- Material Bänderton (TA-TM),
- Hohlrohrsonden mit Perforierung im Raster 1,25 m eingebaut,
- Materialien 4% CaCl_2 -Lösung (Chemikal),
- Spannungsgradienten 45 V/m.

Durch die Staffelung des Einbaus und der Inbetriebnahme der einzelnen Sonden wurde der Bruch systematisch eingeschnürt und die Abwärtsbewegung schließlich gestoppt. Die Behandlung dauerte 20 Tage. Die säulenartige Verfestigung und die Veränderung der bodenmechanischen Kennwerte zwischen den Sonden ergaben eine gute Stabilität der Böschung (20 Jahre bisher). Die Abrutschmassen wurden wieder als Füllmaterial genutzt. Das Verfahren bedarf einer guten Vorbereitung einschließlich der notwendigen Eignungsprüfungen. Vor und nach dieser Sanierung gab es weitere Anwendungen bei starkbindigen Tonböschungen.

4.3.2.8 Rutschungen an alten Erdbauwerken

Beispiel 1 Abrutschen eines 33 m hohen Eisenbahndammes bei Weimar am 21.06.1970

Seit der Herstellung des Dammes 1872–1876 gab es Schwierigkeiten.

Der Erdkörper wurde aus verwitterungsempfindlichem Tonschiefer bzw. Tonstein über

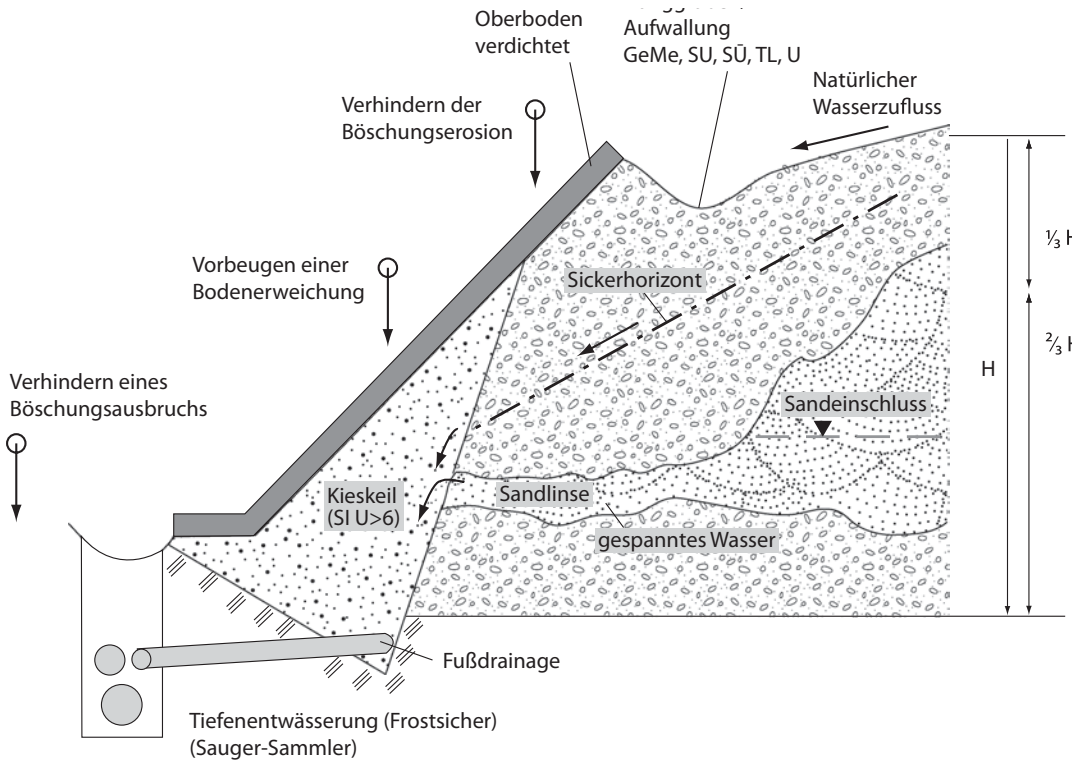


Abb. 4.42 Böschungssicherung mit voller Funktion der Flächenentwässerung zu allen Jahreszeiten

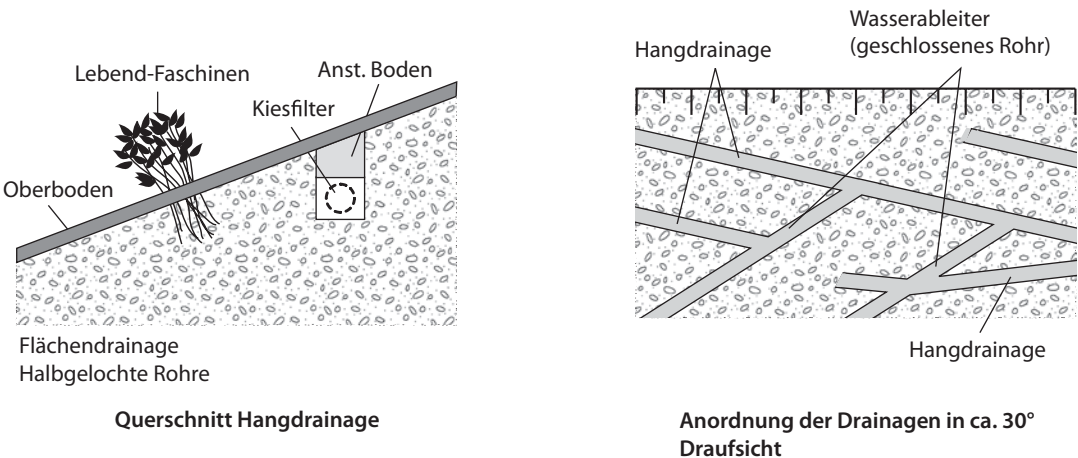


Abb. 4.43 Elemente einer Böschungssicherung bei frostempfindlichen Böden in der Böschungfläche

Bockrüstung geschüttet. Diese nicht verdichteten Schüttmassen wandelten sich im Laufe der Nutzung zu Aue-Lehm-Tonen TM. Der Damm war auf dem zum Flusslauf „Ilm“ geneigten Planum vermutlich ohne Verzahnung geschüttet. Bedingt durch die fehlende Vorflut des hangsei-

tigen Grabens wurde die Konsistenz im Bereich der Dammaufstandsfläche immer weicher. Schon in der Bauphase gab es mehrere Rutschungen, die man mit sand-kiesigen Massen wieder verfüllte. Nach längerer Nutzung sind Rutschungen an verschiedenen Dammabschnitten 1941/1942 –

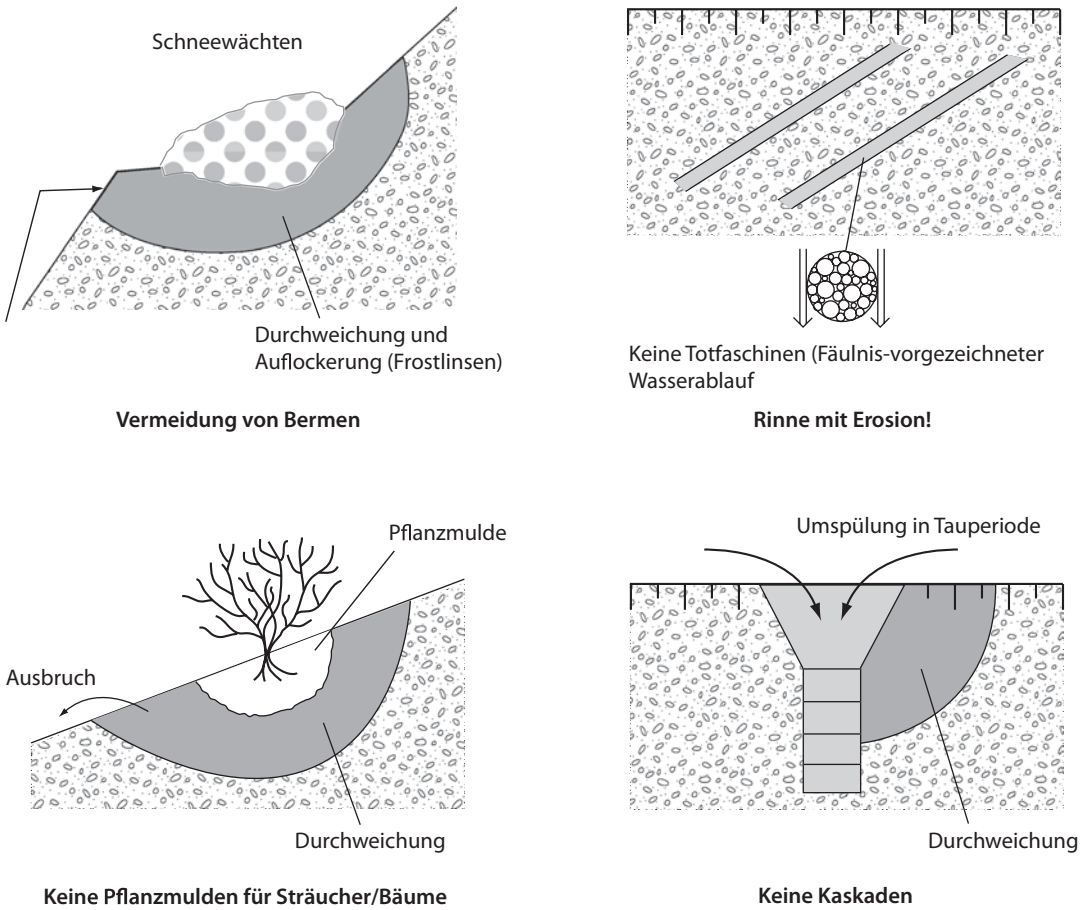


Abb. 4.44 Möglichst zu vermeidende Anwendung bei hohen Böschungen in bindigen Böden

nach extrem kalten Wintern – in der Tauperiode im Frühjahr bekannt. 1968/1969 stellte man im Böschungsbereich Staffelfrisse fest, die sich nach Schließung immer wieder öffneten. So wurde entschieden, die Entwässerungsbedingungen an der Berg- und Talseite zu verbessern. Durch das Verkennen der Labilität des Dammes legte man die Fußzehe ohne besondere technologische Forderungen für die Aushubarbeiten an. So kam es am 21.06.1970 zu einem Böschungsbruch/Dammrutsch, der einen ca. 6 m tiefen Abriss in Bahnachse und Verschiebung am Fußpunkt um ca. 15 m Tiefe ergab. Die Strecke war 15 Monate gesperrt.

Sanierung Die erkennbare Bruchfigur wurde in ihren geometrischen Ausmaßen unter Zuhilfenahme der gemessenen Setzungen und Verschie-

bungen bestimmt. Sie war Grundlage für die Nachberechnung des tatsächlich vorhandenen Reibungswinkels ϕ' im Zustand $\eta=1$, d. h., der Bruch wurde wie ein Großscherversuch bewertet.

Danach ergab sich:

Dammmaterial $\phi' 19^\circ (22^\circ)$

Gründungsbereich $\phi' 18^\circ (17^\circ)^*$

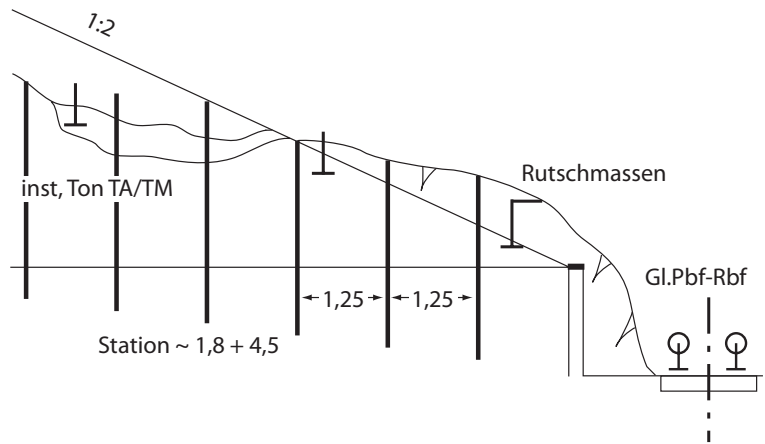
(Auelehm)

Bei Beachtung einer Sicherheitsforderung von $\eta \geq 1,3$ ergab sich ein Defizit einer freien Schubkraft S von $\sim 100 \text{ t/m}$, so dass die Sanierung nur mit Hilfe einer Vorschüttung bzw. eines Reibungsfußes möglich war.

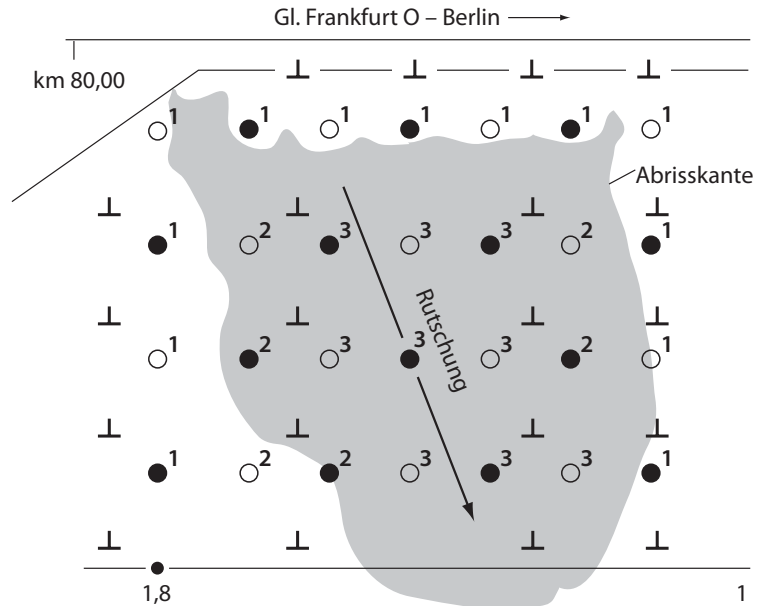
Die wichtigsten Daten hierzu sind:

Abb. 4.45 Sanierung einer Rutschung durch elektrochemische Stabilisierung (1990/1992) im Ton

Querschnitt



Ansicht der Böschungsrutschung



Phasen 1 ... 3 zeitlich gestaffelte Aktivierung mit dem Ziel der Verlangsamung der Rutschgeschwindigkeit bis zur völligen Beruhigung

- Sondeneinschlagtiefen 2,5–3,5 m
- Anode
- ⊥ Setzungspegel
- Katode

Reibungsfuß

| | |
|--|-----------|
| Einbindung in den Untergrund (Auelehm) | 4 m |
| Breite | 16 m |
| Überschüttung | 3 m |
| Böschungsneigung | oben 10 m |
| | 1:1,75 |
| | unten 1:3 |

Verfüllmaterial

SI – SW – GI – GWD_{Pr} > 97%
 gut abgestufte Kiessande
 Reibungswinkelvorgabe $\phi' 33^\circ$

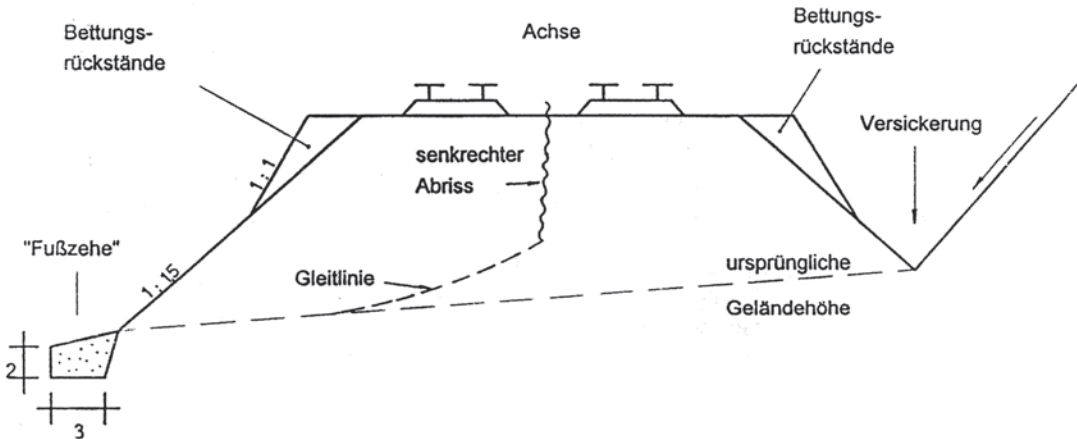


Abb. 4.46 Dammrutschung bei Weimar (Thüringen) 1970

Die Schüttung erfolgte so, dass kritische Porenwasserdrücke im Untergrund nicht auftraten. Bei den Baumaßnahmen wurden ca. 100.000 m³ abgetragen und 140.000 m³ wieder eingebaut.

Schadensursachen

- mangelhafte Bewertung der Schäden in der Geschichte des Dammes,
- ungenügende Erfassung der langanhaltenden Setzungen und Verschiebungen, ungeeignete Überwachungssysteme wurden angewandt,
- fehlende geotechnische Kenntnisse zu solchen geologisch-hydrologisch schwierigen Baugrundverhältnissen bei Planer und Auftraggeber,
- Die Maßnahmen der ursprünglich vorgesehenen Sanierung wurden ohne Berechnungen festgelegt. Es gab keine besonderen Vorgaben für die Sanierung an den Baubetrieb.
- Der Baubetrieb verfügte offenbar über kein geotechnisches Einfühlungsvermögen. Der Aushub der Fußzehe über größere Längen löste letztlich den Dammrutsch auf einer Länge von >300 m aus.

Hinweis: Zu diesem Schadensfall wurde ein Film gefertigt, der im Filmarchiv der ehemaligen Deutschen Reichsbahn, Berlin-Lichtenberg, Bürgerheimstraße, aufbewahrt wird.

Beispiel 2 Dammschäden an Erdbauwerken infolge Unwetterschäden bei Gera im August 1981.

Mitte August des Jahres 1981 wurden im Umkreis der Stadt Gera in wenigen Tagen Nieder-

schläge bisher nicht festgestellter Intensität und Zeitdauer gemessen. Diese führten auch bei der Bahn zu erheblichen Schäden an Erdbauwerken, die in der Zeit des mehr als 100-jährigen Bestehens nicht bekannt waren.

Von dem sehr porösen und zum Teil sehr inhomogenen Porphyrgestein wurden die starken Niederschläge mühelos aufgenommen. Durch die Wassermenge und die in 30 m Tiefe anstehenden undurchlässigen Gesteinsschichten kam es zur Ausbildung einer Wasserdruckhöhe von ca. 30 m Wassersäule. Das Wasser trat nach entsprechender Sättigung des Gesteins unter starkem Druck am Böschungsfuß aus und führte zur Unterspülung des Bahnkörpers auf mehreren hundert Metern Länge (s. Abb. 4.47). Diese Schäden führten zur Streckensperrung über mehrere Monate.

Sanierung Der Wiederaufbau des Bahnkörpers erfolgte mit gutdurchlässigen und grobkörnigen Kiessanden. An der Hangseite wurde ein wirksames Entwässerungssystem eingebaut.

Schadensursache Extreme Niederschläge dieser Art und eine solche Auswirkung sind nicht völlig auszuschließen. Die Klärung der Entwässerungsverhältnisse (Vorflut) war eine vorrangige, baubegleitende Maßnahme. Die Ausspülungen sind deshalb entstanden, weil die Anschüttung weniger durchlässig war als das vorhandene Gestein. Als allgemeine Regel gilt: „Eine Anschüttung muss eine 10-fache Durchlässigkeit gewährleisten“.

Bebautes Hochplateau mit Gartenanlagen

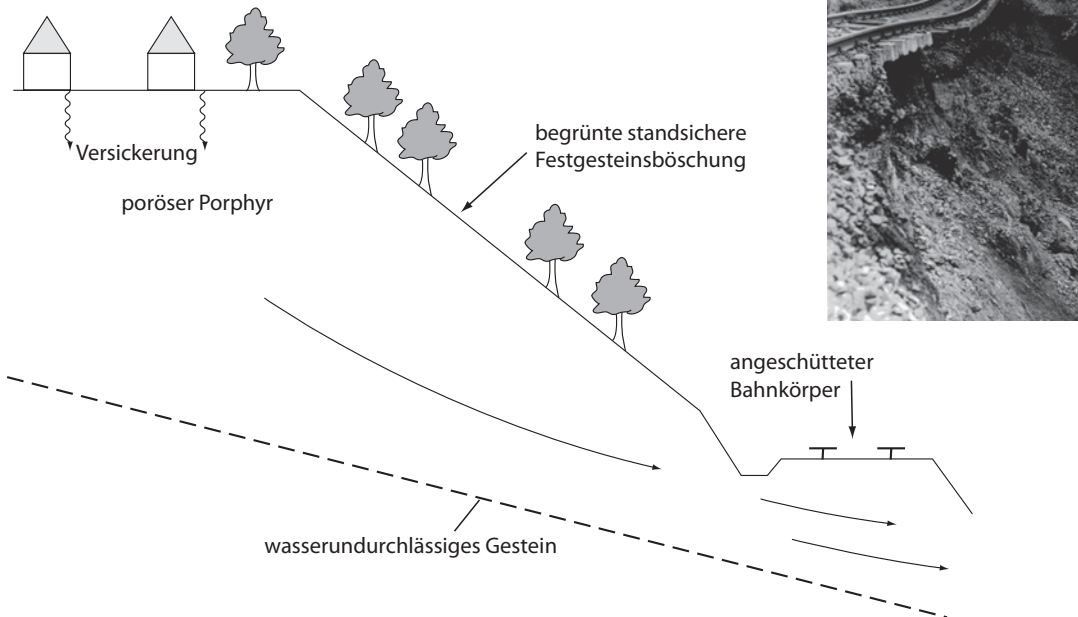


Abb. 4.47 Unterspülung der Anschüttung bei Gera 1981

Beispiel 3 Bruch eines Eisenbahndammes infolge Hochwasser bei Halle/Süd (Sachsen-Anhalt) im Februar/März 1987, Strecke Berlin–Erfurt.

Ein ca. 8 m hoher Damm wird als Folge der plötzlich einsetzenden Schneeschmelze durch die um bis zu 2 m über die Ufer tretende „Weiße Elster“ gefährdet. Die Gründung des Bahnkörpers auf dem anstehenden Auelehm, des sehr inhomogenen Schüttkörpers (bindig-tonig bis sandig-kiesige Massen in relativ lockerer Lagerung), die Ablagerung von Bettungsrückständen auf der Böschung verursachen mit dem zunehmenden Wasseranstieg der Elster eine unruhige Gleislage. Nach wenigen Tagen sind Staffelfrisse im Randwegbereich deutlich sichtbar, die letztlich in einen Abriss an der Schotterkante übergehen. Am Dammfuß neigen sich große Bäume bzw. wandern mit einem Bruchkörper in die bestehende Wasserfläche hinaus (s. Abb. 4.48).

Durch den Einfluss des Auftriebs am Dammfuß entwickelte sich ein klassischer Grundbruch. Es waren zwei Bruchstadien zu vermerken, im Februar mit noch vertretbaren Auswirkungen auf das Gleis, und der Versuch einer Kleinsanierung, die sich jedoch als Fehlschlag erwies und zum eigentlichen Bruch im März 1987 führte.

Anfangs wurde ein Gleis gesperrt, später beide Gleise.

Sanierung Durch ein besonders berufenes Beraterteam und einen örtlichen Baustab wurden die Ermittlung der Ursachen, die Entwicklung eines Sanierungskonzeptes und die Vorbereitung der Bauarbeiten parallel vorangetrieben. Mit der Anbringung von Setzungspegeln bzw. Messpfählen in einem Raster über der Bruchfläche erreichte man folgendes:

- Dank der Ermittlung des Zentrums der größten Setzungen und Querverschiebungen konnte eine Prognose der Massenverschiebung der abgleitenden Bahnkörperbereiche abgeleitet werden.
- Die Kubatur der abrutschenden Massen konnte bestimmt werden.
- Die Scherparameter im Bruchzustand wurden rechnerisch ermittelt.

Die Erkundung an wichtigen Punkten der Schadensstelle sowie die Suche nach geeigneten Materialien für Anschüttungen bzw. Verfüllungen wurden forciert. Der Baumbewuchs wurde von Pioniereinheiten abgeräumt. Das Sanierungskonzept hatte folgende Grundidee:

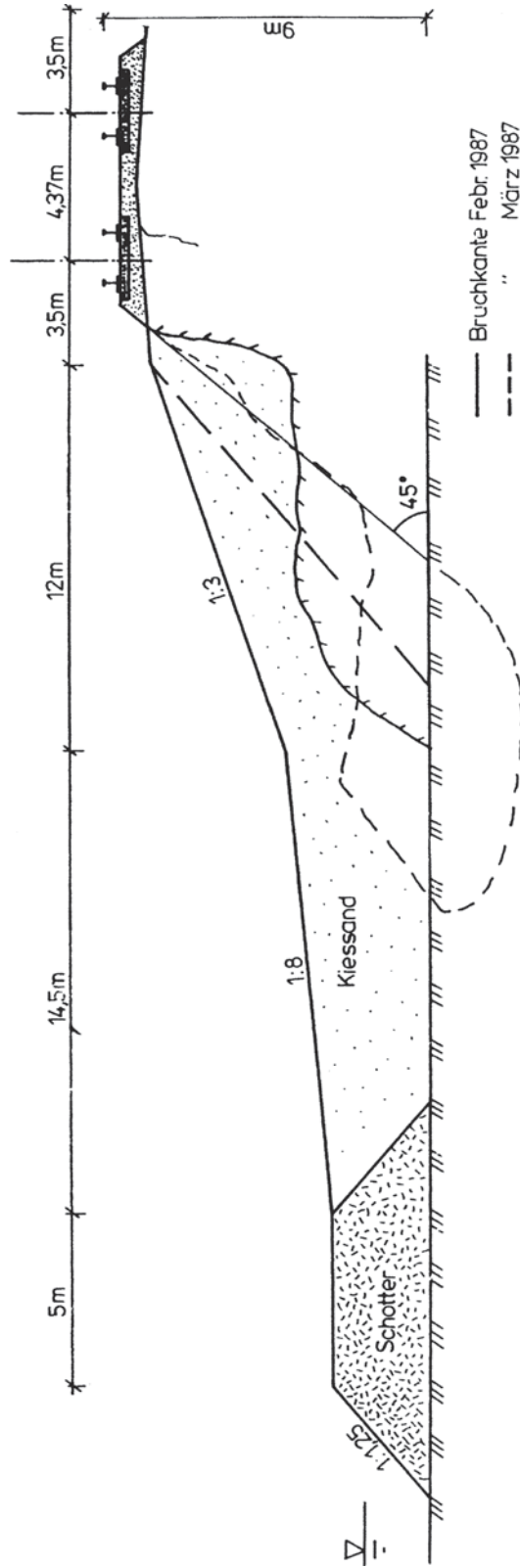


Abb. 4.48 Querschnitt eines Böschungs-/Grundbruches unter Hochwassereinfluss Halle/Süd

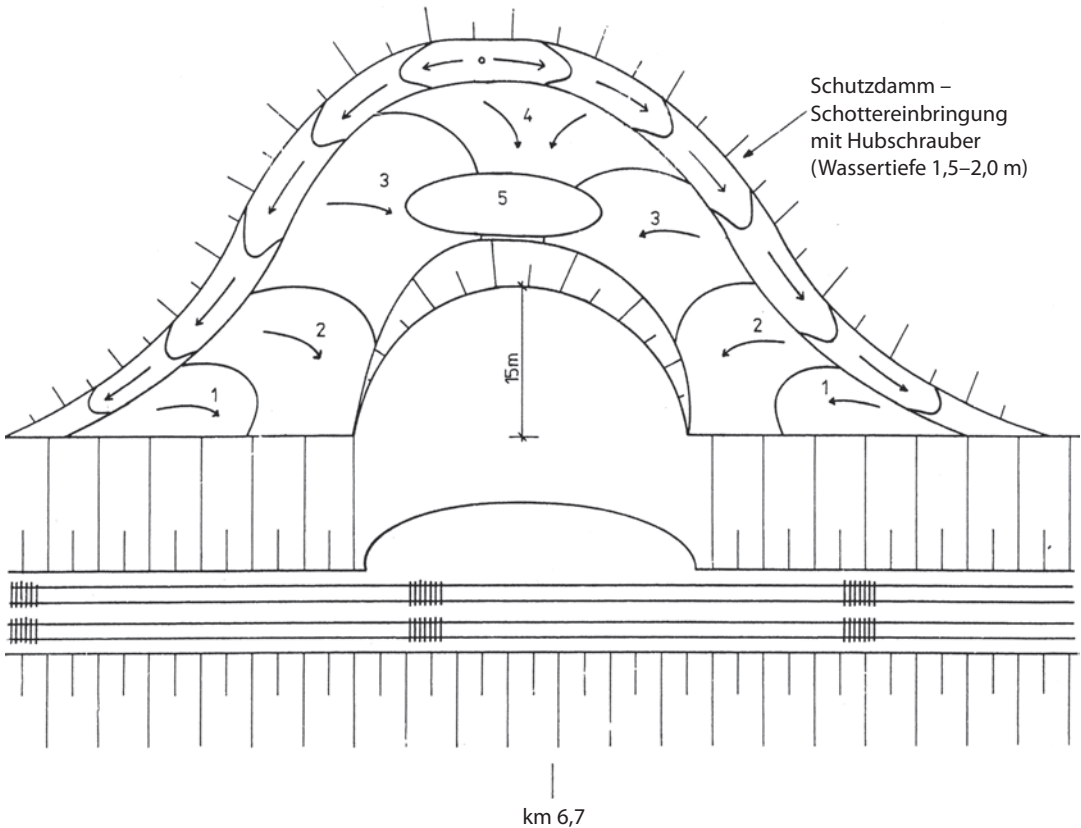


Abb. 4.49 Zeitfolge der Schüttungen bei der Dammsanierung unter Hochwasserbedingungen

- Durch systematische Einschnürung des Bruchzentrums sollten die Bewegungsabläufe verlangsamt und schließlich zum Stehen gebracht werden. Dazu war es notwendig, in das bis zu 2 m hohe Wasser einen 2–3 m breiten Umschließungsdamm aus gut durchlässigem Material (alter Gleisschotter) zu schütten. Dieser Schotterdamm erwies sich bei der starken Strömung im Überflutungsgebiet als vollauf geeignet. Kleine Brucherscheinungen durch nachgiebigen weichen Untergrund wurden unverzüglich geschlossen. Dies wurde mit der Hilfe von Transporthubschraubern erreicht, die mit 3 t Kippmulden ausgerüstet waren.
- Durch beidseitig beginnende Verfüllung in den Folgen 1–3 (Abb. 4.49) konnten schon nach zwei Tagen die Breite der Bruchzone und die Bewegungsgeschwindigkeit im Bruchzentrum auf die Hälfte verringert werden. Der Kontaktschluss (5) erfolgte erst, als das notwendige Widerlager (4) geschüttet war und entsprechende Verfüllmassen in ausreichender Menge auf (4) bereit standen. In wenigen Stunden wurde die bis dahin nur mit Wasser gefüllte ca. 300 m² große Fläche (5) von mehreren starken Planiertraupen zugeschüttet. Die Schüttrichtung war immer gegen die Gleitlinie gerichtet.
- Verschiebungsmessungen ergaben im Damm- und Bruchbereich einen Rückgang von max. $V_h = 30$ mm/h auf 2 mm/h (Wert liegt innerhalb der Messgenauigkeit) schon am zweiten Tag nach der Verfüllung.
- Die Setzungen verringerten sich ebenfalls erheblich. Diese waren letztlich nur noch auf die vertikale Komponente, also aus den Konsolidierungsvorgängen abzuleiten, die von der Überschüttung organisch durchsetzter weicher Auelehme herrührten.

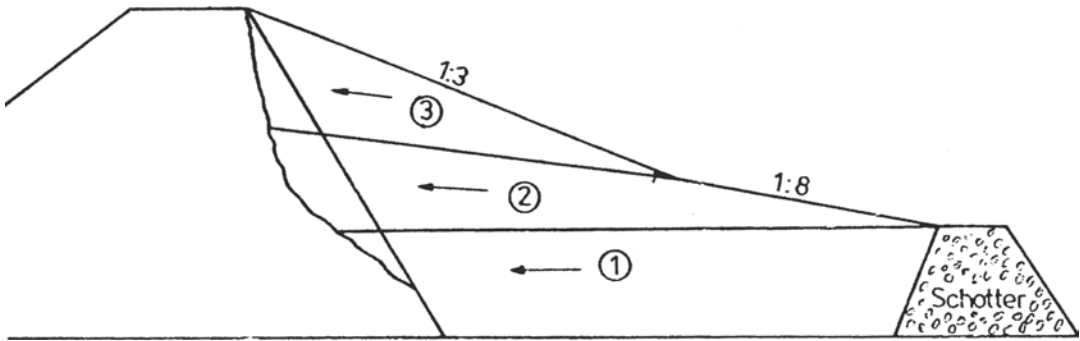


Abb. 4.50 Dammsanierung bei Hochwasser, Schüttfolge im Querschnitt

Abb. 4.51 Zerstörungen an Bahnanlagen im Rabenauer Grund. (2002 bei Dresden/Sachsen)



- Im Querschnitt (Abb. 4.50) ist die Wiederherstellung des sanierten Dammes dargestellt. Die Phase (1) beschreibt die zuvor genannten Vorgänge, also Stopp der Verschiebungen. Die Phasen (2) und (3) beschreiben die Herstellung eines insgesamt standsicheren Querschnitts, wobei die Verdichtung mit leistungsfähigen Geräten erst in diesen Phasen möglich war.

Die bis ein Jahr nach Beendigung der Bauarbeiten durchgeführten Überwachungsmessungen bestätigten das aus Erfahrungswerten abgeleitete Sanierungskonzept, was durch weitere Informationen während der Bauphase (Erkundung) untersetzt wurde.

Schadensursache Den Schaden löste das Hochwasser aus. Die Auswirkungen wurden vergrößert, weil mit einer Teilsanierung (Fußsicherung durch Schwellenstapel) im Februar ein sich abzeichnender Grundbruch nicht erkannt wurde. Durch starke Anschüttungen von Bet-

tungsrückständen in Jahrzehnten im oberen Teil der Böschung, war die Standsicherheit des Erdbauwerkes herabgesetzt. Die Inhomogenität des Schüttmaterials und der in weicher Konsistenz anstehende Auelehm im Dammfußbereich lösten letztlich die Bruchzustände aus.

Beispiel 4 Zerstörung der Kleinbahnstrecke Freital–Hainsberg bei Dresden im August 2002

Starke Niederschläge im Umfeld des Rabenauer Grundes und die überlaufende Talsperre Malter führten zu einer Vervielfachung der Wassermenge in der Weißeritz. Diese Wassermassen haben mit unbeschreiblicher Wucht Gleise in den Tälern unterspült, Brücken und Straßen weggerissen. Die Ursachen sind nicht auf geologisch/geotechnische Fehler zurückzuführen. Die Frage lautet vielmehr, wie z. B. der Dammaufbau solcher Strecken beschaffen sein sollte. In jedem Fall muss eine relativ große Durchlässigkeit der

Abb. 4.52 Unterspülungen der Bahnanlagen im Rabenauer Grund. (2002 bei Dresden/Sachsen) (1)



Abb. 4.53 Unterspülungen der Bahnanlagen im Rabenauer Grund. (2002 bei Dresden/Sachsen) (2)



Abb. 4.54 Unterspülungen der Bahnanlagen im Rabenauer Grund. (2002 bei Dresden/Sachsen) (3)



Einbaustoffe in den Sanierungsbereichen gewährleistet werden, damit sich ein einseitiger Wasserdruck schnell ausgleichen kann. Aber manchmal reicht dies nicht. Als Kernfrage ist allerdings von den für Hydrologie und Wasserwirtschaft zuständigen Behörden zu beantworten, wie eine solche Wasserkonzentration vermieden werden kann.

4.3.2.9 Entwässerung

Die Aufgabe einer Entwässerung ist durch folgende Anforderungen festgelegt:

- Abführung des Oberflächen- und Schichtenwassers,
- Abzug von ungebundenem Wasser aus den anstehenden Böden,
- Verhinderung von Wasserrückstau und Auftrieb,
- Wirksamkeit auch in der Frostperiode,
- Zugänglichkeit für Unterhaltungsarbeiten.

Das angestrebte Ziel ist:

- die natürlichen Wassergehalte so niedrig zu halten, dass keine Tragfähigkeitsschäden im angrenzenden Erdplanum auftreten,
- Verhinderung von Frosthebungen im Erdplanum,
- Sicherstellung einer Verdunstung im Entwässerungssystem,
- Abzug von Wasser aus dem Böschungsfuß zur Sicherung der Stabilität der Böschung.

Schadensfälle belegen, dass die Sorgfalt der Planung und Ausführung häufig nicht den Ansprüchen für eine langfristige Nutzung genügt. Neue Materialien werden anstelle erdbautechnisch erprobter Systeme kritiklos eingeführt und versagen. Der Ausfall der Entwässerung kann zwar durch eine gute Wahl der Tragschichtmaterialien oder deren Überdimensionierung zeitweilig überspielt werden. Dies führt aber langfristig zu Schäden, die mit tiefgreifender Erweichung, insbesondere bindiger frostveränderlicher Böden, einhergehen und langfristig zum Versagen des Tragschichtsystems an Verkehrswegen bzw. der Böschungen führen kann.

Wo liegen die Fehler?

- falsche Filterberechnung und Bemessung der Filter,
- Einbau ungeeigneter Filterstoffe,
- Verwendung falscher Rohrsysteme,

- Nichtbeachten von Hochdrücken der Sohle bei der Herstellung (Auftrieb),
- schlechte konstruktive Lösungen führen zur Zerstörung der Zuläufe, zur Verstopfung und Ausfall der Schächte,
- mangelhafte Unterhaltung.

In den Richtlinien für Entwässerungsanlagen [1]

- Bahn RiL 836 Modul 836.4601 bis 4603
- Straße RiL RAS-EW
- DIN 18 580/DIN 18 630

findet man eine Fülle von Anwendungsbeispielen für die konstruktive Gestaltung. Schwierig wird es immer dann, wenn für einen speziellen Fall oder bestimmte Baugrundverhältnisse eine Lösung gesucht wird. Vor allen Dingen sind konkrete Details zum Funktionsmechanismus in diesen Richtlinien nicht erkennbar. Aus der Sicht der Schadensfälle sollte jeder Planer die allgemeinen Grundregeln, nach denen insbesondere alte, noch bestehende Entwässerungsanlagen zu rekonstruieren sind, kennen. Er muss wissen, wenn er bei einer Wiederherstellung einen Baustoff ändert, dass damit unter Umständen die Funktion in Frage gestellt wird. Es folgen einige Ausführungen zur funktionellen Seite der einzelnen Entwässerungselemente.

Die Konstruktion eines Grabens zur überwiegenden Abführung des Oberflächenwassers und geringfügigen Schichtenwassers wird vornehmlich bei sandigem/schluffigem Baugrund angewandt (Abb. 4.55).

Die Lösung in Abb. 4.56 für eine Grabenentwässerung ist sinnvoll, wenn mit überwiegendem Oberflächenwasser gerechnet wird und zeitweilig auch gespanntes Wasser aus den Baugrundsichten aufzunehmen ist. Hier sind die Grabenböschungen nur zu halten, wenn ein auf den Baugrund abgestimmter Kiessandfilter entsprechender Dicke und Wabenplatten als Abdeckung zum Einsatz kommen. Die Konstruktion ist geeignet für Sande, schluffige Sande, schwach bindige Böden. Sie verträgt auch leichte Frosthebungen.

In Abb. 4.57 wird eine Tiefenentwässerung als Einrohrlösung dargestellt. Es versteht sich, dass hier nur halbgelochte Rohre zum Einsatz kommen können. Der Filteraufbau muss natürlich an allen Punkten des Wasseraustritts gewährleistet sein. Diese Lösung ist frostsicher herzustellen,

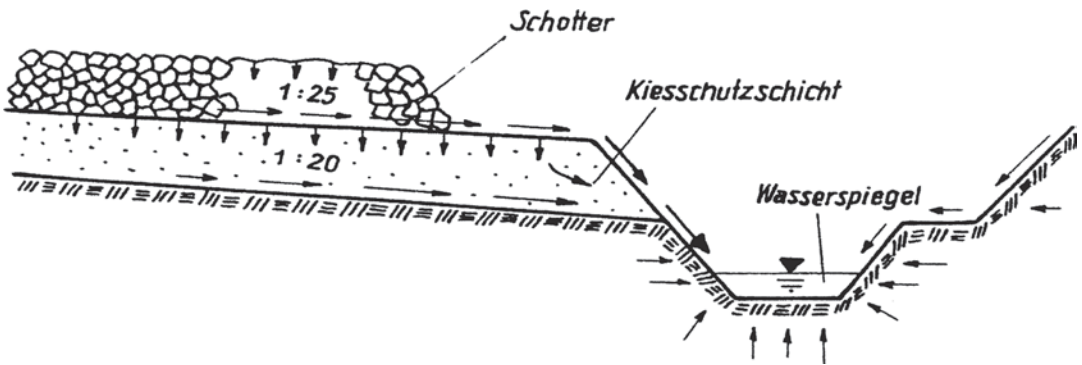


Abb. 4.55 Zulauf des Wassers zu einem Bahngraben

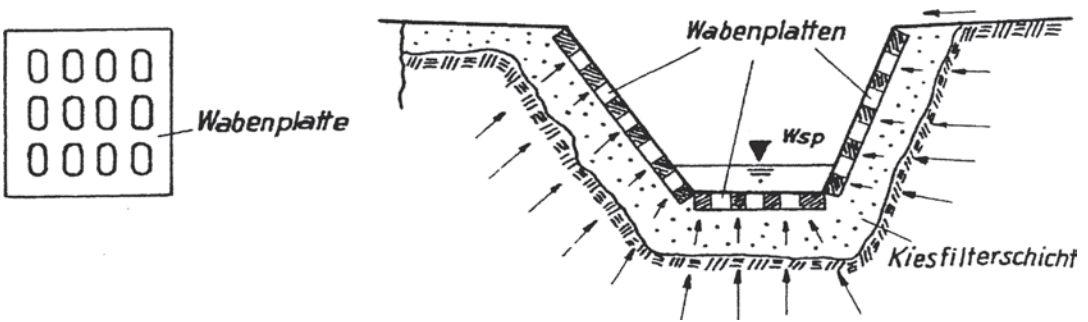


Abb. 4.56 Grabenausbau bei gespanntem Wasser

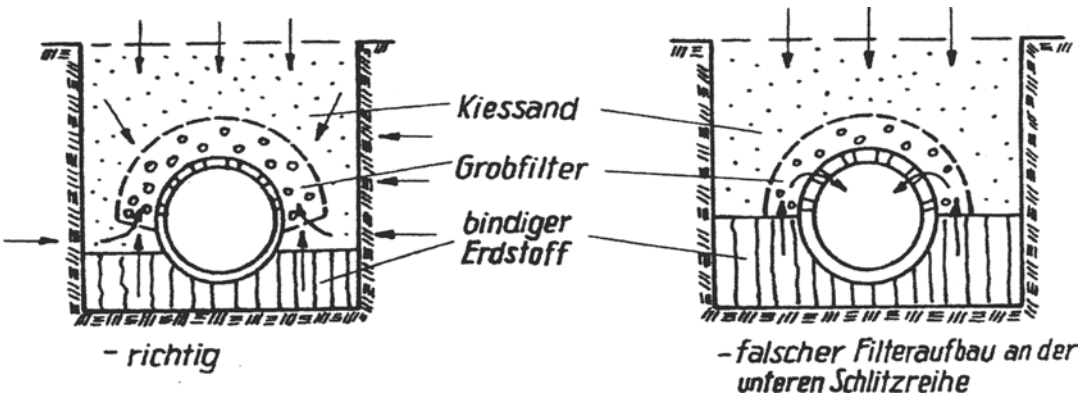


Abb. 4.57 Verrohrter Graben (teilgelochtes Rohr, Zweistufenfilter)

denn sie hat für eine permanente Abführung zu-
strömenden Schichtenwassers zu sorgen, insbe-
sondere im Winter.

In Abb. 4.58 wird die Ausbildung einer Tie-
fenentwässerung gezeigt, wo es um die perman-
ente Absenkung eines zuströmenden Wasser-

horizontes geht, also in sandig/kiesigen oder ge-
schichtetem Baugrund.

Abbildung 4.59 stellt das klassische System
des Sauger/Sammler-Prinzips unserer Väter dar.
Der Sauger bestand aus sog. Tonpfeifen, die das
Wasser im Baugrund ansaugen. Deshalb wurden

Abb. 4.58 Tiefenentwässerung als Schwerkraftentwässerung

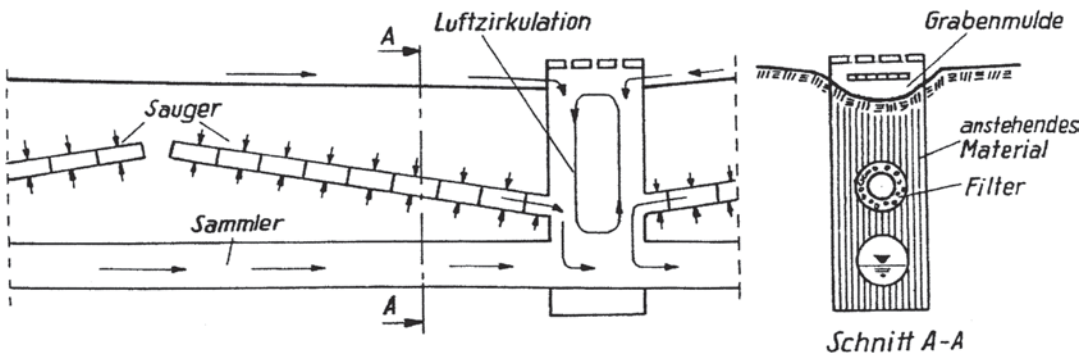
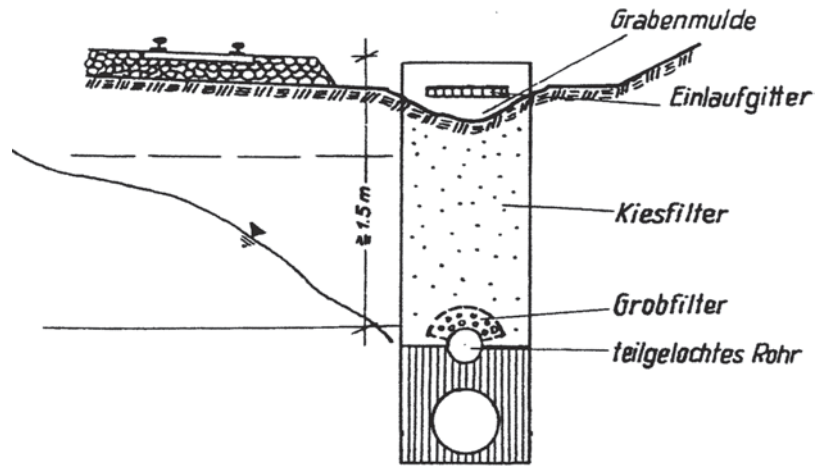


Abb. 4.59 Schema einer Tiefenentwässerung herkömmlicher Bauart als Sauger-Sammler-System

diese meist in den anstehenden Baugrund ohne Filter eingebettet. Die Sauger können auch abgewinkelt in das Erdplanum oder den Böschungsfuß gelenkt werden. Bei anstehenden Schichtenwässern sind auch zwei oder drei solcher Sauger nebeneinander, gespreizt oder in verschiedenen Höhen eingebaut worden. Die Nahtstellen dieser Tonpfifen (ohne Flansch) wurden mit Stroh, Häcksel (Kaff) als Filter eingebettet, um nur Wasser in das Rohr gelangen zu lassen. Es gilt als erwiesen, dass diese Tonrohre durch ihre hygroskopischen Eigenschaften und die Art der Verlegung der Saugerstränge einen Unterdruck entwickeln. Dieser saugt nicht nur freies Wasser, sondern auch Porenwasser aus dem anstehenden Baugrund an. Die Entwässerungsfähigkeit endet etwa bei Fließgrenzen von $W_L > 30\%$ (schwachbindige bis mittelbindige Böden). Leider wird

diese Lösung als technisch überholt angesehen, aber die Praxis beweist etwas anderes.

Einen Drainagestrang im Erdplanum, der schon nach kurzer Zeit völlig zugesetzt war, zeigt Abb. 4.60. Die Nahtstellen waren nicht mit einem Filter ausgestattet. Der weiche flüssige Boden wurde mit dem Wasser in das Rohr eingesaugt.

Die Ausbildung von Hangrigolen wird in Abb. 4.61 und 4.62 dargestellt. Diese Konstruktion, wie die Schotterrigolen früher bei der Bahn sehr beliebt, ist nur kurzzeitig wirksam. Schon beim Einbau des Schotters erhält das Geotextil Risse, die sich durch die Spitzen des Schotters mehr und mehr öffnen. Der anstehende Boden dringt durch diese Öffnungen mit Wasser versetzt ein. Die Rigole ist binnen kurzer Zeit wirkungslos. Man sollte solche Ausbildungen grundsätzlich verbieten.



Abb. 4.60 Versetzte Tonrohre einer Drainage – nicht gelöstes Filterproblem an den Fugen

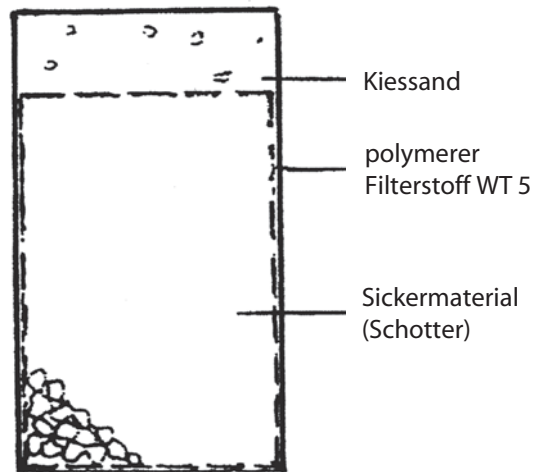


Abb. 4.62 Schotterrigole mit Grabenfilter

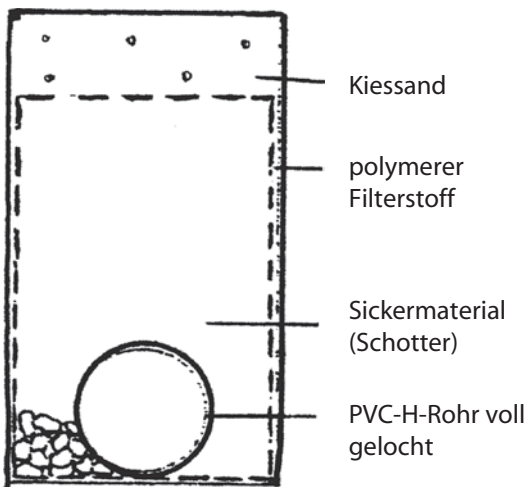


Abb. 4.61 Schotterrigole mit PVC-Rohr und Grabenfilter zur Aufnahme kurzzeitig großer Wassermengen (Schluckbrunnen)

Bei der Konstruktion eines Entwässerungssystems sollte jeder Planer beachten:

- die angewandten Filterregeln gelten nicht für alle Bodenarten (nicht für Tone und ähn-

liche Stoffe, Recyclingmaterialien, Brechprodukte),

- das Bevorzugen von Plastmaterialien (Rohre, Schächte) und die Anwendung von Geotextilfiltern erweist sich in der Langzeit bei hohen Beanspruchungen nicht immer dauerhaft funktionstüchtig (Platzen der Schächte bei Frosteinwirkung, Zusetzen der Filter),
- bei Aufgaben als Sauger entwickelt ein Plastrohr keinen Unterdruck (Sogwirkung) und arbeitet nur nach dem Schwerkraftprinzip, d. h. die definitive Entwässerung der Böden endet bei sandigen, schwach schluffigen Böden,
- die Eintrittsöffnungen bei Plastdrainagen werden häufig nicht sauber ausgearbeitet, so dass Verengungen der angegebenen Schlitzweiten festzustellen sind. Dabei sind erhebliche elektrostatische Aufladungen häufig die Ursache dafür, dass ein Wassertropfen erst bei einem gewissen Überdruck in das Rohr eintritt,
- auch langzeiterprobte Materialien können bei falscher Verwendung sehr schnell versagen, z. B. die beliebten Schotterrigolen oder Tonpfeifen ohne Filterschutz an den Stoßstellen.

Sonderlösungen der Entwässerung bei stark kalkhaltigen bzw. zur Verockerung neigenden Böden *Kalkablagerungen in Entwässerungsleitungen*

Im Norden Berlins, am Außenring bei Birkenwerder, wurde in den sechziger Jahren ein Ein-

schnitt mit anstehendem Tonmergel verbreitert. Starker Wasserandrang machte den Einbau eines leistungsfähigen Sauger/Sammler-Systems nach Abb. 4.59 notwendig. Schon ein Jahr danach stellte sich das teilweise Versagen des Entwässerungssystems ein. Die Untersuchung ergab, dass die Sauger durch weiße Kalkfahnen völlig und die Sammler erheblich versetzt waren. Zuerst wurde eine Freispülung ein Mal pro Jahr vorgenommen, aber die Ursache nicht beseitigt. Untersuchungen der zufließenden und abfließenden Wässer ergaben, dass die zufließenden Wässer aus Sandschichten des Tonmergels stark kalkhaltig waren und Temperaturen um 6° bis 8°C bei Eintritt in das Entwässerungssystem hatten.

Durch die Luftzufuhr über die Schächte trat eine Erwärmung des Wassers auf seinem Weg ins Drainagesystem über 15°C im Sommer ein. Die Folge ist das Ausfällen der Kalkanteile und Absetzen an den Wandungen des Entwässerungssystems. Abhilfe kann nur teilweise durch luftdichten Abschluss der Schächte erreicht werden. Eine bessere Lösung zeigt das anschließende Beispiel zur Verockerung.

Ein ähnlicher Fall der Ausfällung von „Kalkflusen“ war in Bahnanlagen nahe dem Flughafen Schönefeld bei Berlin 1990 festzustellen. Ursache war hier eine Branntkalkbehandlung des Erdplanums, die eigentlich für den weichen Geschiebemergel zur Tragfähigkeitserhöhung vorgesehen war. Einige sandige Partien wurden in gleicher Weise behandelt. Diese waren aber die Ursache für die Auswaschung der im Sand nicht gebundenen Kalkanteile. Diese wanderten mit dem Sickerwasser in das Entwässerungssystem und versetzten die Sauger. Das Spülen im Herbst jedes Jahres zeigte, dass nach drei bis vier Jahren die Auswaschung des Kalküberschusses aus den Sanden abgeschlossen war.

Verockerung in einem Einschnitt bei Hamburg Ein ca. 15 m tiefer Einschnitt, der in den sechziger Jahren hergestellt wurde, war mit einer leistungsfähigen Tiefenentwässerung ausgestattet. Die Absenkung des Grundwasserspiegels auf 1,50 m unter SO konnte so stabil aufrecht erhalten werden. Schon wenige Jahre später zeigte sich, dass eine rotbraune Verockerung an den Bahngräben und um die Drainagerohre eingetre-

ten war. Der Wasserspiegel stieg bis zum Erdplanum in einigen Bereichen an, die Gleislage war unruhig. Die zu diesem Problem in den siebziger Jahren gehörten Wissenschaftler wiesen nach, dass die Ursache der Verockerung der hohe lösliche Eisengehalt des den Einschnitt zuströmenden Wassers ist. Der Eisengehalt reagierte mit dem Sauerstoff der Luft und verursachte die Ausfällung. Filter und Grabenflanken (SE) wurden in den Poren verklebt und damit quasi wasserundurchlässig.

Man kam überein, eine Enteisungsanlage vor Ort aufzubauen und das Wasser chemisch von Eisenanteilen zu befreien. Die technische Umsetzung sah folgendes vor: Über eine Brunnengalerie am Fuß der Einschnittsböschung wurde aus der Hälfte der Brunnen Wasser abgezogen und nach der Enteisung in die anderen Brunnen zurückgegeben. Nach einigen Tagen wurden die Brunnen getauscht.

Etwa ab 1990 zeigte sich bei regelmäßigem Betrieb der Reinigungsanlage:

- die Wasseraufnahme in den Brunnen war erheblich zurückgegangen (die Filter waren verockert),
- die Rückführung der Wässer war aus gleichem Grund behindert,
- die Gleislage war äußerst instabil. Das drückende Wasser stand bereits im Erdplanum bzw. in der PSS. Erdplanum und Teile der PSS waren durch Verockerung völlig verkrustet,
- das Entwässerungssystem war ohne Funktion, Wasser trat aus der Böschung des Einschnitts aus (Abb. 4.63).

Die nach zahlreichen Diskussionen gewählte Lösung sah folgendes vor:

- Abbau der Enteisungsanlage,
- Stilllegung der Brunnen,
- Herstellung eines zweigeteilten Entwässerungssystems.

Die untere Drainage führt das eisenhaltige Wasser bei verhinderter Luftzufuhr über die Längsentwässerung zu einem Auffangbecken in der Nähe des Auslaufes der Tiefenentwässerung am Einschnittsende.

Das Oberflächenwasser fließt in eigenem Rohrsystem dem Auffangbecken zu. Ein auszu-tauschender Flächenfilter am Zugang zum Auffangbecken sollte die Verockerungsprodukte ab-



Abb. 4.63 Auslauf der noch klaren (eisenhaltigen) Wässer der unteren Ebene des Entwässerungssystems. Eintritt der Verockerung durch Luftsauerstoffkontakt erst im offenen Gewässer

fangen. Die Baumaßnahme wurde bis zum Jahr 2000 realisiert und ist bis heute voll funktionsfähig. Die Gleislage ist sehr gut.

Die Kosten der Beseitigung der Auswirkungen der Verockerung (Erhaltung) sind auf weniger als 1/10 (nur noch Filteraustausch notwendig) gegenüber der alten Lösung gesunken.

4.3.3 Aushub tiefer Baugruben mit Unterwasserbaggerung/ Saugwirkung

Die Herstellung tiefgegründeter Bauwerke (Hochhäuser, Tiefgaragen, Verkehrsbauwerke) wurde in der Vergangenheit häufig in trockener Baugrube mit Hilfe von Grundwasserabsenkungen realisiert. Die dabei entstehenden Nebenwirkungen können in naheliegenden oder auch entfernteren Bauwerken erhebliche Schäden anrichten. Entscheidend sind die Baugrundverhältnisse, die Grundwasserstände und die Tiefe der Baugrube. Ein spektakuläres Beispiel war der Abriss des alten Friedrichstadtpalastes nördlich der Spree, nahe dem „Berliner Ensemble“, in den 70er Jahren als Folge der Baumaßnahme am Charite-Hochhaus. Die notwendige Verstärkung einiger Brücken und

Stadtbahnbögen im Bereich der Stadtbahn waren ebenso die Folge des langzeitigen Absenkens des Grundwasserspiegels im Zentrum Berlins. Die Auswirkungen gerade im Berliner Urstromtal mit den sehr unterschiedlich reagierenden Sanden und Kiesen, organischen bzw. organisch durchsetzten Sanden sowie großen Dichteunterschieden sind je nach Gründungsart der Altbauten folgende:

- Setzungen und Risse in Gebäuden, verursacht durch sinkenden Auftrieb, dem eine Lasterhöhung entspricht,
- Beschädigung von Dichtungen durch unterschiedliche Setzungen,
- freiliegende Köpfe von Holzpfahlgründungen werden der Fäulnis ausgesetzt. Die Folge sind Setzungen und Risse in der Bebauung.

Die massiven Schäden führten zu einer Verschärfung der Anwendungsbedingungen für Grundwasserabsenkungen und einer Wiederbelebung der „Nass-Bagger-Verfahren“ mit strengen Auflagen zum Wassermanagement. Aber auch bei solchen Anwendungen zeigen praktische Beispiele, dass die Qualität des herzustellenden Aushubplans sehr unterschiedlich sein kann. Die Ursachen solcher Mängel, die meist mit Störungen im Bereich der Baugrubensohle verbunden sind und damit unerwartete Setzungen der Gründung verursachen, lassen sich wie folgt beschreiben:

- In der Baugrube wurde in der Aushubphase nicht immer ein höherer Wasserstand als das aktuelle Grundwasser am Bauwerk garantiert. Die Folge ist, dass der Druckausgleich sich über die Sohle entwickelt.
- Der Aushub erfolgt nicht lagenweise, sondern in unterschiedlichen Abbauhöhen. Die Entlastungsvorgänge verursachen Hebungen in unterschiedlichen Größen und führen zu Störungen der Baugrundstruktur.
- Beim Absaugverfahren mit Schwimmbagger wird nicht auf eine dauerhafte Arretierung des Saugkopfes in konstanter Höhe zur Absaugfläche geachtet. Die Regulierung der Stärke der Ansaugwirkung wird nicht auf den jeweiligen Aushubboden angepasst.
- Vorkehrungen zur Verhinderung der Auflockerungserscheinungen bei Erreichen der vorgesehenen Aushubebene werden nicht getroffen.

Zum besseren Verständnis werden die Vorgänge bei Aushubarbeiten in einer gefluteten Baugrube näher beschrieben (s. Abb. 4.64 und 4.65). Im Regelfall besteht das Baggergut einer im Berliner Urstromtal liegenden Baugrube aus Sanden, die aber bei großen Baugruben und beträchtlicher Aushubtiefe in vielfältigen Erscheinungsformen vorgefunden werden. Nur bei Bohrungen mit durchgehendem Bohrkern (Schlauchkernverfahren) und damit weitgehend ungestörter Probenahme kann man die Unterschiede optisch oder mit einer Schlämmanalyse herausarbeiten. Die Geologie spricht von Schluffsand, Schluffen, Mehl- und Dünenanden, Fein-, Mittel-, Grobsanden. Während Schluffe in relativ dichter Lagerung angetroffen werden, sind Mehl- und Dünenande durch sehr geringe Lagerungsdichten charakterisiert. Die Mehl- und Dünenande haben eine geringe Korngröße und Gleichkörnigkeit ($U < 2$). Dadurch sind sie besonders empfindlich gegen Wasserströmungen und schwämmen auf. Die Einzelkörner lösen die Kontaktspannung und gehen in den Schwebzustand über. Sie bilden eine starke Wassertrübung und setzen sich erst nach völliger Wasserberuhigung als schwebender Schlamm ab. Das von unten über die Baugrubensohle eindringende Wasser wird in Bereichen mit größerer Durchlässigkeit, z. B. Kiessanden (SE) mit $k_f \leq 10^{-3}$ m/s, in größerer Menge aber geringerem Druck einsickern. Bei Sanden mit erhöhten Schluffkornanteilen (SU) mit $k_f \leq 10^{-5}$ m/s wird der Strömungsdruck sich verstärken. Durch solche Vorgänge entstehen Verwirbelungen und Ausspülungen, die zur Auflockerung der Bodenstruktur bis in große Tiefen führen können. Die Auflockerungen bedeuten Tragfähigkeitsverlust, d. h. ein Absinken der Steifeziffer und damit höhere Setzungen nach Belastung, die sehr ungleichmäßig sein können. Die Aufgabe des Ingenieurs ist es, solche Vorgänge rechtzeitig zu erkennen und unverzüglich Gegenmaßnahmen einzuleiten. Dies beginnt bei den Festlegungen zur konstruktiven Ausbildung der Sohle mit der Formulierung wichtiger Grundsätze zur Technologie.

Ein Beispiel einer solchen Lösung zeigen die Abb. 4.64 und 4.65.

- Der Unterwasser-Bodenabtrag wird in gleichmäßigen Schichten von max. 1–1,5 m Dicke

über die gesamte Baugrube vorgenommen. Es erfolgt eine ständige Kontrolle der Saugwirkung, die Arretierung des Saugkopfes auf eine festgelegte Höhe und regelmäßige Kontrolle des Materialauswurfs im Spülfeld.

- Die letzte Schicht über der geplanten Baugrubensohle von ca. 1 m wird unter besonderer Aufsicht vorsichtig abgetragen. Parallel dazu wird die beräumte Fläche mit einem filterstabilen Kiessand $U > 6$ und guter Durchlässigkeit $k_f \geq 10^{-4}$ m/s abgedeckt. Der anfangs noch trockene Kiessand wird mit einem senkrecht geführten Rohr eingebracht. Die Kiesverteilung erfolgt ähnlich der Betoneinbringung.
- Bei Arbeitsunterbrechung müssen teilberäumte Flächen zwischenzeitlich mit Kiessand abgedeckt werden. Der entstehende Verlust an Kiessand steht in keinem Verhältnis zu dem sonst entstehenden Schaden.

Diese Art der Herstellung hat neben einer hohen Qualität der Baugrubensohle den Vorteil, dass der nachfolgende Betoniervorgang durch das Kiespolster eine wesentlich gleichmäßigere Dicke der Unterwasserbetonsohle (UWBS) ermöglicht und über die Fläche gleichgroße Setzungen zu erwarten sind. Das aus dem Untergrund zuströmende Wasser kann durch die Filterstabilität der Kiessand-Abdeckschicht ungehindert in die Baugrube eintreten, ohne dabei Feinteile mitzuführen. Die in Abb. 4.65 dargestellte höhere Lage der Kiesfilterschicht soll deutlich machen, dass diese in das Tragschichtsystem einbezogen werden kann (Berechnung und Wirkung eines Kiespolsters).

4.4 Gründung von Erdbauwerken auf wenig tragfähigem Baugrund

4.4.1 Allgemeine Grundlagen bei der Bewertung der Bahndämme auf wenig tragfähigem Baugrund

Bei den meist mehr als 150 Jahre bestehenden Erdbauwerken der vorwiegend zweigleisig ausgebildeten Bahnkörper in Deutschland sind die Aufschüttungen über den ausgedehnten Moorfeldern in Überschüttungs-/Verdrängungsverfahren

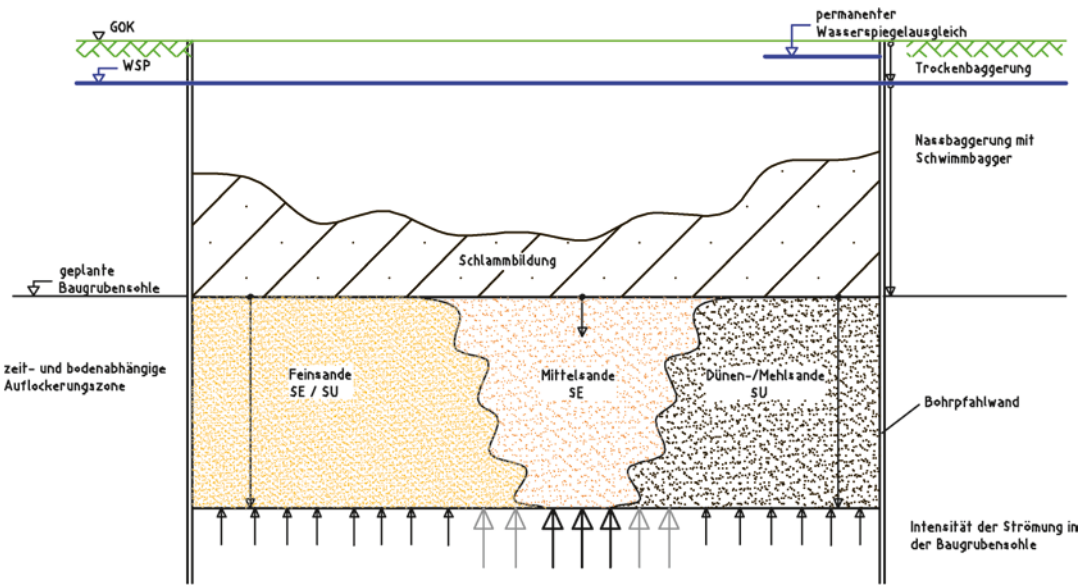
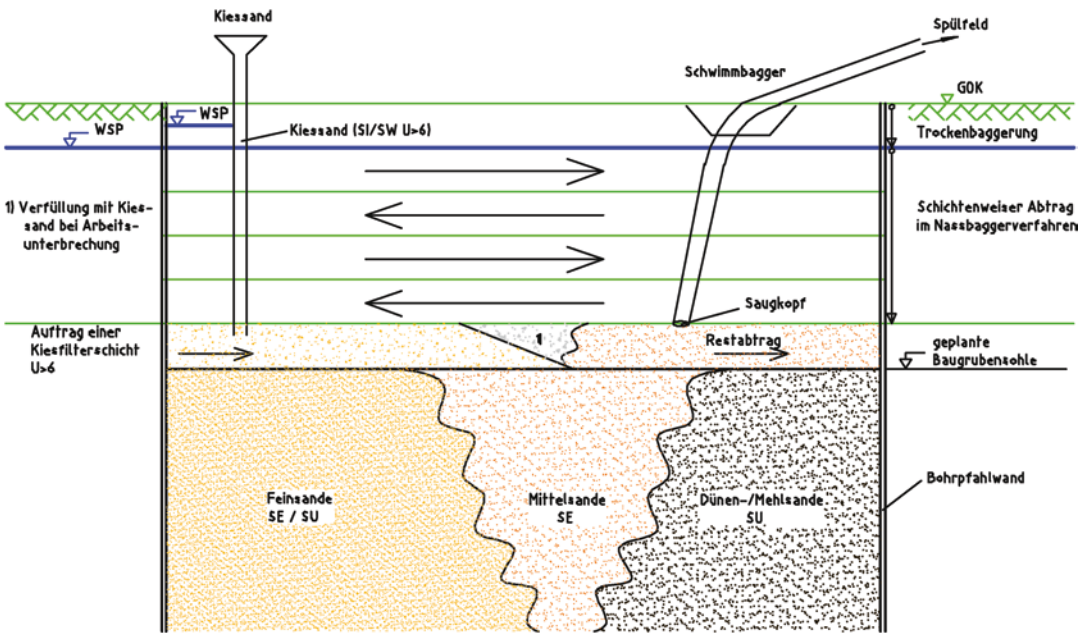


Abb. 4.64 Auflockerung bei längerer Standzeit in der Baugrubensohle, z. B. bei Verzögerung des Betonierens der Unterwasserbetonsohle (UWBS)



| Kennwerte | SE/SU | SE | SU |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|
| k_f [m/s] | 10^{-5} | 10^{-3} | 10^{-5} |
| $U=d_{60} / d_{10}$ | 2 - 3 | > 3 | < 1,5 |

Abb. 4.65 Vorschlag für schonenden Abtrag und Schutz der Baugrubensohle durch ein filterstabiles Kiespolster

ohne jegliche Verdichtung vorgenommen worden. Ihr jetziger Zustand ist als „schwimmender Damm“ zu bewerten, weil eine Berührung der Schüttmassen mit dem tragfähigen Untergrund kaum erreicht wurde, d. h. kein Reibungsschluss besteht. Dabei ist im Regelfall eine relativ gute Konsolidierung der organischen Schichten unter der Dammkrone vorhanden. Die Bereiche der Randzonen vom Dammfuß bis zur Böschungsaufstandsfläche sind wegen ihrer geringeren Konsolidierung (fehlende Auflast) und der horizontalen Verdrückung ursächlich für die lang anhaltenden Setzungen und horizontalen Verschiebungen der Bahnkörper verantwortlich (s. Abb. 4.77). Die in den meisten Fällen vorgesehenen Geschwindigkeitserhöhungen bis derzeit 250 km/h erfordern die Aufweitung der Radien und Anhebung der Gradienten der Strecke. Dies bedingt, dass einseitige oder zweiseitige Bermenschüttungen unterschiedlicher Breite an bestehende „schwimmende Erdbauwerke“ notwendig sind. Dazu kommt die Erhöhung der Belastungsparameter (Achslast). Bei solchen Baumaßnahmen sind i. d. R. zusätzlich gefordert:

- Aufrechterhaltung des zweigleisigen Bahnbetriebes,
- zeitweilige Einschränkungen der Zuggeschwindigkeit (L_a) sind möglich, müssen aber langfristig geplant werden,
- einseitige Gleisperrungen sind zu Zeiten eines beruhigten Verkehrs bei entsprechender Planung möglich,
- die durch die Bauarbeiten verursachten Veränderungen am Oberbau müssen planbar sein und dürfen sich in keinem Falle in einer Havarie, d. h. einer Vollsperrung auswirken.

Bei den zu planenden Projekten in Deutschland muss mit Moorschichten in einzelnen Rinnen bis ca. 25 m gerechnet werden. Dabei ist die Mächtigkeit der Torfschicht max. 4–5 m (s. Abschn. 4.4.2), aber der Rest wird aus Faulschlamm, Wiesenkalk und anderen Muddearten gebildet. Diese Böden waren in letzter Zeit häufig Ursache für Grundbrüche bzw. fließähnlicher Erscheinungen, d. h. der Zerstörung der natürlichen Schichtenstruktur und seiner Konsistenz mit der Folge von Streckensperrungen. Die Ursache ist in der Erzeugung kritischer Porenwasserdrücke durch

- die dynamische Anregung des Zugbetriebes,
- den dynamischen Einfluss aufgrund des Einsatzes von Baumaschinen mit Vibrationstechnik,
- die Anwendung ungeeigneter Baumethoden und Technologien,
- Einflüsse außerhalb des Baufeldes

zu sehen. Die Schwachpunkte sind das Nichterkennen kritischer Bauzustände, Übergänge verschiedener Baumethoden, falsche Materialauswahl, konstruktive Fehler und Mängel in der Bauausführung. Die Abwendung solcher Gefahren kann nur durch ein funktionstüchtiges Kontroll- und Überwachungssystem in den einzelnen Bauphasen gewährleistet werden. Dies ist zum Bestandteil der Planung zu machen und wird für solche Schwierigkeitsgrade der Baugrundverhältnisse Grundvoraussetzung für die Genehmigung der Verfahrensweise. Eine funktionale Ausschreibung verbietet sich i. d. R. in Anbetracht der notwendigen gründlichen Vorbereitung solcher Maßnahmen. Es sei denn, der Auftraggeber hat das Baugrundrisiko ausreichend abgeklärt. Die Auswertung solcher Gründungsschäden ist die wichtigste Voraussetzung für die Verbesserung der Vorbereitung derartiger Vorhaben, denn diese schwimmenden Dämme nehmen in der Schadensstatistik einen großen Raum ein. Dazu zählen Dämme, die sowohl auf organischen als auch auf weichen schluffig-tonigen Böden ohne „Reibungsschluss“ gegründet sind. Ähnliche Schadensbilder sind bei gesättigten, lockergelagerten, gleichkörnigen, schwachschluffigen Sanden festzustellen. Diesen schwimmenden Gründungskonstruktionen der Erdbauwerke sind folgende Erscheinungsformen gemeinsam:

- sie reagieren bei Belastungsveränderungen, insbesondere jedoch bei dynamischen Anregungen,
- Grundwasser- bzw. Schichtenwasserschwankungen verändern das stoffliche Verhalten,
- die in der Bodenmechanik allgemein angewandte Theorie des „elastisch-isotropen Halbraums“ ist nur noch bedingt zutreffend.

Weil solche Böden zeitweilig anders als sog. mineralische Böden reagieren, sind die Verformungswerte meistens wesentlich größer:

- gemessene Setzungen übertreffen häufig um mehr als 100% die nach der Theorie von Bussinesq/Steinbrenner/Fröhlich berechneten Werte,
- die tatsächlichen Bruchfiguren bei einer Grund- oder Böschungsberechnung sind meist nicht identisch mit den nach Fellenius/Sior berechneten Formen der kritischen Gleitlinie.
- es muss schweres Bohrgerät an den Bohrpunkten aufgestellt werden können, d. h. man benötigt eine Arbeitsschicht, die die Standsicherheit des Bohrgeräts gewährleistet,
- da Moorflächen häufig im Herbst und im Frühjahr unter Wasser stehen, nutzt man nach Möglichkeit stärkeren Frost und stellt die Bohrtechnik auf entsprechende Paletten oder schüttet eine Arbeitsschicht auf die gefrorene Oberfläche, die man im Sommer für die Bohrarbeiten nutzt.

4.4.2 Die Entstehung der Moore und die bautechnische Nutzung ihrer Eigenschaften

In zahlreichen Publikationen werden Moore oder Moos (wie die Bayern sagen) mit geheimnisvollen Ereignissen in Zusammenhang gebracht. So berichtet die Presse am 25.11.2004 „Versunkenes Pferd aus Moor gerettet“ von Rettungsaktionen zur Befreiung einer Stute oder am 21.06.2005 „Das Mädchen aus dem Moor“ von einer Moorleiche in Niedersachsen als archäologische Sensation (Alter: 650 v. Chr.).

Verfolgt man alte Berichte, so waren beim Bahnbau in den Gründerjahren nach 1835 ganze Fuhrwerke in Moorflächen versunken. Aber auch in den Kriegsjahren sind entgleiste Loks in tiefen Moorsenken verschwunden. Bei Bauarbeiten in solchen Mooregebieten ist deshalb eine Technologie des Überbauens zu entwickeln, die die natürlichen Eigenschaften solcher Moore nutzt, um Erdbauwerke mit hohen Qualitätsansprüchen überhaupt errichten zu können.

Die Geologie der eiszeitlich geprägten Moorniederungen in Deutschland ist durch eine weitgehend ebene Oberfläche gekennzeichnet. Demgegenüber ist der tragfähige Horizont des Untergrundes mit einer stark welligen Struktur ausgebildet. Diese weisen Haupttrinnen in den Moorfeldern und flachere Nebenrinnen mit steil aufragenden Sätteln aus. In den Eiszeiten schoben Gletscher tiefe Rinnen in den Untergrund, die an den Verkehrswegen in Deutschland bis 30 m mit steil aufsteigenden Flanken bis 45° ausgebildet sind. Daraus sind wichtige Konsequenzen abzuleiten:

- das Erkundungsraster muss in solchen Bereichen < 15 m Abstand haben, wenn das Zentrum einer Rinne zielsicher erkannt werden soll

Die Festigkeit der Oberfläche eines Moorfeldes ist von seiner Entstehung und seinem Alter abhängig (s. Abb. 4.66).

Der untere Teil ab ca. 4–6 m von der Oberfläche der Rinne besteht aus Sinkstoffen, die keinerlei Zusammenhalt haben. Diese Stoffe werden den sog. Mudden zugeordnet und haben zum Teil recht unterschiedliche Zusammensetzungen (Wiesenkalk, Klei, Seeton). Sie sind äußerst schwingempfindlich und nehmen bei solchen Einflüssen schnell eine flüssige Konsistenz an. Das hat zur Folge, dass diese Stoffe durch ihre Neigung zum Fließen häufig der Auslöser für Grundbrüche sind.

Die Konsequenz ist, die Vibration für Rammvorgänge auszuschließen bzw. den Vibrationseinfluss von Baugeräten möglichst klein zu halten. Eine Kontrolle solcher Vorgänge ist notwendig (Porenwasserdruckmessungen).

Die Torfschichten der Niedermoore wachsen vom Rande mit der Auffüllung zur Mitte einer Rinne. Die Dicke der Torfschicht hängt von den Lichtverhältnissen ab, die ein Keimling der verschiedenen Schilfgewächse benötigt. Dies sind etwa 4 m Wassertiefe. Die sich nach dem Absterben umlegenden Halme des Schilfes bilden eine Art Bewehrung der Torfschicht. Die Überquerung einer Moorfläche nach Abtrag der Torfschichten ist nicht möglich. Hingegen kann die Torfschicht durch gleichmäßige Auflast als tragende Matte als Fahrfläche genutzt werden. Dennoch muss man mit Unstetigkeitsstellen in solchen Moorflächen rechnen. Eine solche sind sog. Entspannungsdomen. Sie lassen sich nach Abb. 4.67 charakterisieren.

Die Besonderheit der Hochmoore ist, dass die Versorgung mit Wasser nicht regelmäßig stattfindet und deshalb andere Pflanzen als beim Nie-

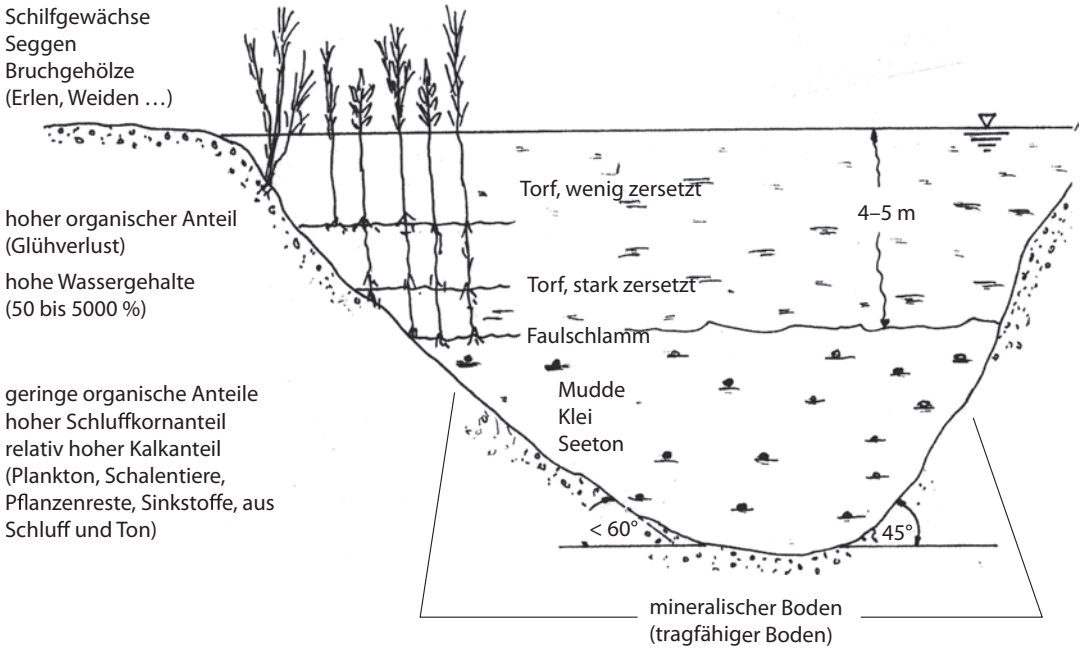


Abb. 4.66 Querschnitt durch ein Nieder- oder Flachmoor

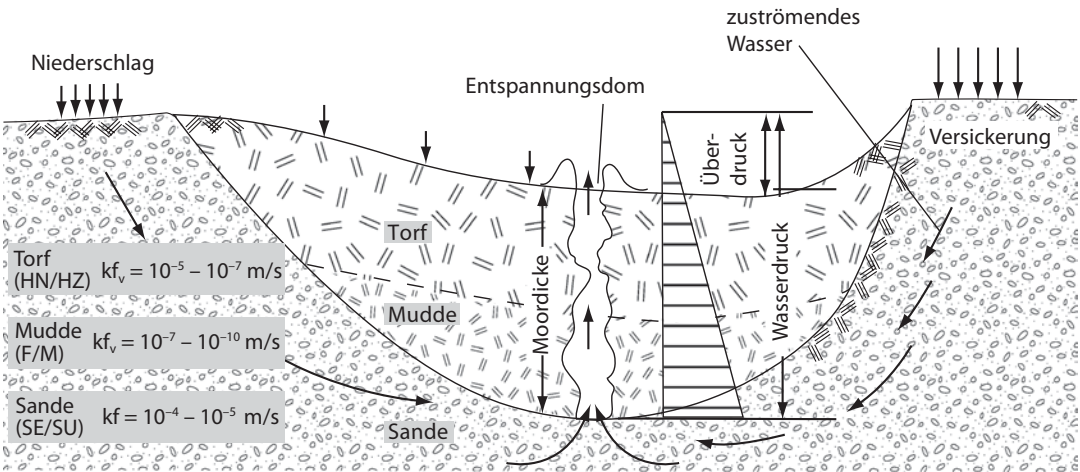


Abb. 4.67 Schematische Darstellung der Wirkung eines Entspannungsdomes im Moorfeld

dermoor an der Moorbildung beteiligt sind, z. B. Flechten und Moose. Die Festigkeitseigenschaften können gegenüber denen der Flachmoore unterschiedlich sein. Die anzuwendenden Regeln sind dennoch denen der Flachmoore gleichzusetzen.

- Moore sind Wasserspender in Trockenzeiten, weil die Moorflächen, bedingt durch die geringe vertikale Durchlässigkeit, kaum eine

Versickerung zulassen. Dementsprechend sind solche Niedermoore in Nasszeiten häufig überschwemmt und erfüllen eine wichtige Aufgabe in der Ökologie.

- Entspannungsdomen markieren sich in der Moorfläche als wenig bewachsene Fläche oder Wasserlache, deren Begehung durch Mensch und Tier mit einem plötzlichen Einsinken oder Versinken enden kann.

Abb. 4.68 Austritt gespannten Wassers ca. 3 m über Geländehöhe bei einem gerade hergestellten Sanddrain



- Sie haben sich gebildet als Folge eines permanenten Wasserüberdrucks unter der Moorschicht (s. Abb. 4.67) an Schwachstellen im Bereich von Tiefstellen. Durch das permanente Durchströmen von unten nach oben sind Festbestandteile ausgespült und am Ende eine Füllung des Domes nur noch mit Schwebstoffen übrig geblieben.
- Das als Schlamm zu charakterisierende Füllmaterial weist keinerlei Festigkeitsmerkmale im Sinne bodenphysikalischer Bewertungen auf. Der Rand ist im Oberteil relativ fest.
- Der Druckausgleich wird, wenn nicht natürlich durch einen Dom, häufig durch Bohrarbeiten künstlich ausgelöst. Der Wasseraustritt erfolgt artesisch mit einer Wassersäule von mehreren Metern und kann Stunden oder Tage andauern. Sanddrainagen regulieren den Wasseraustritt und machen diesen ungefährlich für Erdbauwerke (Abb. 4.68).

4.4.3 Besonderheiten der Erkundung und Baugrundbeurteilung

Einerseits sind Moorflächen schlecht oder nicht befahrbar, manchmal auch nicht begehbar. Bei Beachtung der notwendigen Aufwendungen ist eine langfristig angelegte Vorbereitung die günstigste Lösung, wenn die Forderung nach einer

hohen Abbildgenauigkeit des Baugrundes erfüllt werden soll. Letztere wird in hohem Maße beeinflusst durch die vorgesehene konstruktive Lösung:

- Pfahlgründungen erfordern eine Genauigkeit der organischen Mächtigkeit von ± 1 m, da es nur sehr aufwändige Korrekturen gibt,
- erdbautechnische Lösungen ermöglichen jederzeit Anpassungen ohne die Gesamtlösung in Frage zu stellen (± 3 m der Moormächtigkeit).

Deshalb sind erdbautechnische Lösungen häufig die kostengünstigere Variante mit dem geringsten Risiko bei tiefen Moorrinnen. Das setzt aber einen sehr disziplinierten Erdbau in den einzelnen Phasen voraus. Dazu muss auf eine verlässliche Baugrunduntersuchung und umfassende Bewertung der Baugrundsichtungen aufgebaut werden können. Große Erfahrung ist für Planung und Bauausführung gleichermaßen eine Grundvoraussetzung. Nachfolgend werden die Mindestanforderungen an die Erkundung und Baugrundbewertung aus praktischer Erfahrung für Arbeiten in Niedermooren genannt:

- Erkundungsraster 25×25 m, bei Unklarheiten muss eine weitere Verengung erfolgen,
- geologische Karten sind Grundlagen der zu erwartenden Schwierigkeiten, aber für eine punktuelle Bewertung nicht ausreichend,
- Nutzung sehr trockener Sommer oder kalter Winter, um die örtlichen Bedingungen der

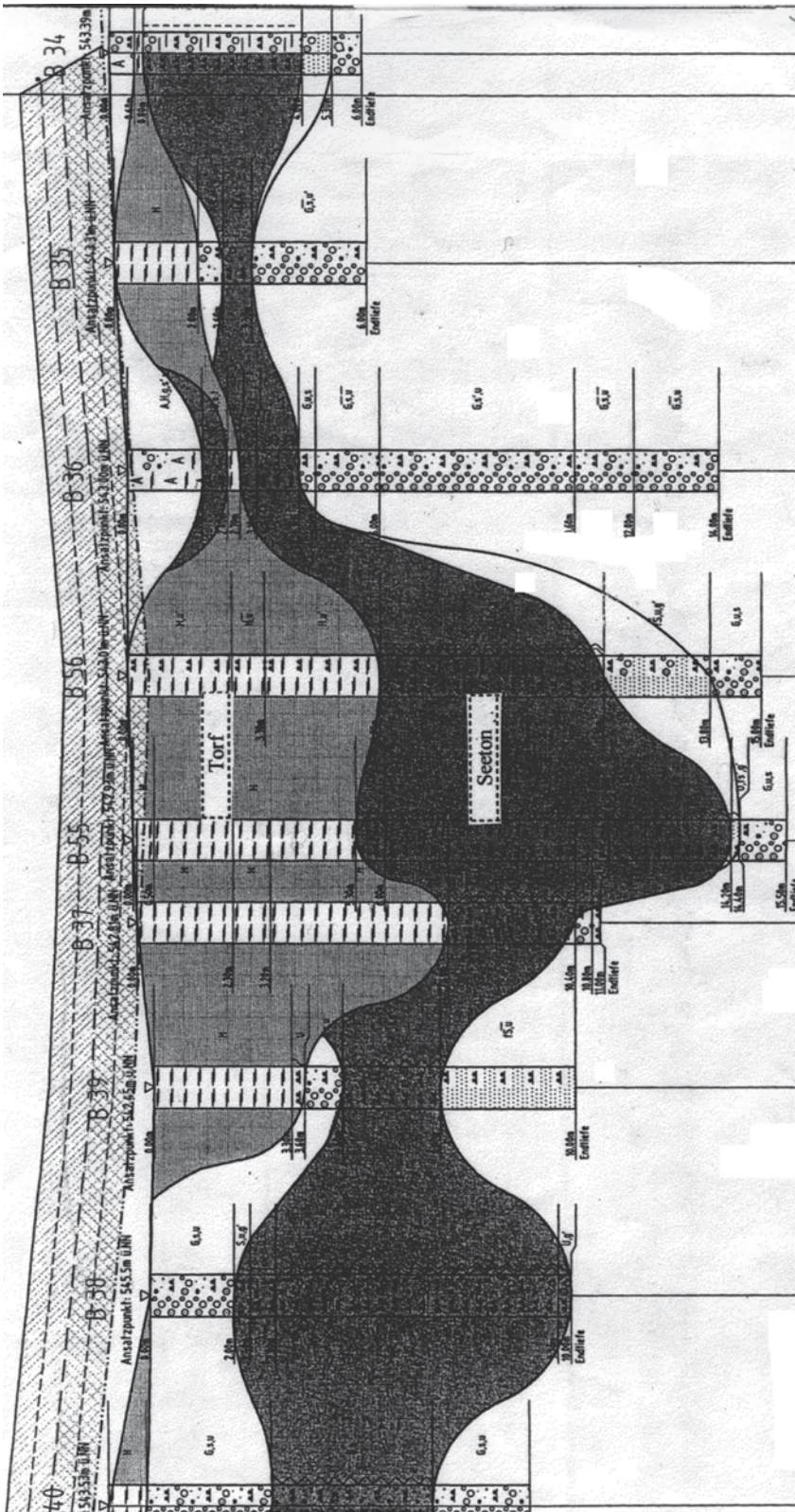


Abb. 4.69 Auszug eines Baugrundprofils zu einer Sanddrainagründung

Tab. 4.13 Wachsende Moormächtigkeit und Neigung des tragfähigen Untergrundes Moorstelle Dahmetal

| km | bahnlinks | | Neigung tragfähiger Baugrund | bahnrechts | |
|--------|-------------------------------------|--------------|------------------------------|-------------------------------------|--------------|
| | Anschnittshöhe Schichtdicke Dammfuß | Dammschulter | | Anschnittshöhe Schichtdicke Dammfuß | Dammschulter |
| 53,525 | 41,90 | 41,30 | | 41,70 | 41,60 |
| | 3,90 | 3,40 | | 1,40 | 3,80 |
| 53,550 | 41,30 | 38,55 | | 39,00 | 41,20 |
| | 3,90 | 2,20 | | 2,60 | 3,80 |
| 53,550 | 41,30 | 38,55 | | 39,00 | 41,20 |
| | 3,70 | 2,20 | | 2,60 | 4,90 |
| 53,575 | 41,10 | 39,90 | | 39,70 | 41,00 |
| | 3,70 | 1,90 | | 2,90 | 4,90 |
| 53,600 | 40,80 | 39,45 | | 39,40 | 40,00 |
| | 4,00 | 1,80 | | 1,90 | 3,50 |
| 53,625 | 40,90 | 39,70 | | 39,80 | 41,00 |
| | 4,10 | 2,00 | | 1,80 | 3,50 |
| 53,625 | 40,90 | 39,70 | | 39,80 | 41,00 |
| | 4,00 | 2,00 | | 1,80 | 2,30 |
| 53,650 | 41,00 | 39,65 | | 40,00 | 41,00 |
| | 4,30 | 2,30 | | 2,00 | 2,30 |
| 53,675 | 41,00 | 38,75 | | 39,90 | 40,90 |
| | 4,60 | 2,30 | | 2,70 | 5,60 |
| 53,700 | 40,60 | 37,20 | | 37,90 | 40,80 |
| | 4,60 | 2,50 | | 4,00 | 6,20 |
| 53,725 | 40,60 | 38,60 | | 37,90 | 41,00 |
| | 8,00 | 5,10 (o. E.) | | 4,30 (o. E.) | 6,20 |
| 53,750 | 41,10 | 39,80 | | 39,00 | 40,80 |
| | 10,00 | 6,20 (o. E.) | | 5,40 (o. E.) | 5,00 |
| 53,775 | 41,00 | 37,30 | | 40,50 | 41,00 |
| | 10,50 | 4,70 (o. E.) | | 6,00 (o. E.) | 6,00 |
| 53,800 | 40,60 | 36,50 | | 37,10 | 41,00 |
| | 10,50 | 1,20 (o. E.) | | 3,00 (o. E.) | 6,00 |

Standsicherheit der Bohrgeräte unter Umständen mit Wegbefestigung bzw. Matratzen zu sichern,

- Bohrverfahren mit durchgängigen Bohrkernen haben Vorzug vor Einzelprobenahme,
- zuverlässige Bodenspezifikation (Ansprache) nach Bodenart (DIN 18 196), Torfe HN, HZ, Mudden/Faulschlamm, F,
- unverzichtbare Bodenkennwerte mit statistischer Absicherung sind Wassergehalt, organische Substanz/Glühverlust, Steifezahl, Reibungswinkel, Korndichte,
- Einschätzung der Zeitsetzung charakteristischer Schichten, Aussagen zu Porenwasserdruckentwicklung unter verschiedenen Belastungsvorgaben,
- Entwicklung der Scherfestigkeit nach Vorgabe zulässiger Porenwasserdrücke,

- Bewertung der möglichen Veränderungen natürlicher Eigenschaften unter Einfluss von dynamischer Beanspruchung und anderen technologischen Belastungen,
- Durchführung von In-situ-Versuchen zur Feststellung der Homogenität der organischen Bildungen als sinnvolle Ergänzung für die klassischen Laboruntersuchungen (Drehsondierungen, Flügelsondierungen).

Zwei Beispiele für Erkundungsergebnisse an bestehenden Dämmen, die saniert und ertüchtigt werden sollten, zeigen Tab. 4.13 (Strecke Berlin–Cottbus (Dahmetal)) und Abb. 4.69 (Strecke München–Salzburg (Zorneding)).

In Tab. 4.13 fallen die häufigen Änderungen des Gefälles des tragfähigen Baugrundes und die Dicke der Moorschichten auf. Abbildung 4.69 macht neben der natürlichen Schichtung auch die

Brucherscheinungen in der Bauphase der Grün-
derzeit durch Verdrängungsschüttungen deutlich.

Wesentliche Bestandteile der Baugrundunter-
suchung neben der klassischen Erkundung sind:

- Umweltschäden (Probenahme und Entsor-
gungsvorschlag),
- Munitionsfreigabe,
- archäologische Forderungen,
- Erfassung der Wasserstände im Baubereich.

4.4.4 Überschütten von Moorflächen mit einer Arbeits- und Filterschicht

Neben der technischen Aufbereitung der Bau-
grundverhältnisse bleiben immer Schwachpunk-
te im Baugrund verborgen, die natürliche Ur-
sachen haben oder Folge vorangegangener Bau-
tätigkeit (Grundbrüche) sind. Deshalb muss für
alle Phasen die Baubegleitung in Form visueller
Kontrolle, möglichst mit Messungen in situ (Set-
zung, Porenwasserdruck) durch erfahrene geo-
technische Fachkräfte verbunden werden. Dies
gibt die Möglichkeit, Schwachpunkte in den
vorgesehenen Schüttflächen rechtzeitig zu erken-
nen und durch technologische Maßnahmen oder
Anpassung der technischen Lösung die Gegen-
steuerung einzuleiten. Am Beispiel der in vielen
Anwendungen erprobten Technologie des Über-
schüttens der Moorfläche mit Kiessand soll dies
dargestellt werden.

Dicke der Arbeits- und Filterschicht (A + F)

Sie wird im Regelfall mit 2 m festgelegt. Dies
wird von drei Faktoren bestimmt:

- statische und dynamische Einwirkungen der
zum Einsatz kommenden Mechanismen,
- Nutzungsdauer der A + F-Schicht und dabei
entstehender Setzungen,
- Querschnittsfilter für die horizontal abströ-
menden Wasser.

**Schüttschema für die Arbeits- und Filter-
schicht** Die Art der Beschaffenheit der oberen,
meist mit Gräsern und Buschwerk bewachsenen
Schicht entwickelt bei Belastung meist eine sehr
starke Initialsetzung (Ausblasen von Luft/Gasen

und Wasseraustrieb). Deshalb sollte der Vortrieb
der Sandschicht nur mit leichten Planiertrauen
nach Abb. 4.70 erfolgen (Abb. 4.71).

Die erste Schüttlage sollte 0,5 m betragen, die
Planiertraupe darf nicht über die Schüttkante hin-
ausfahren. Diese Lage darf nicht von Transport-
fahrzeugen befahren werden.

Die zweite Lage sollte ebenfalls 0,5 m nicht
überschreiten und immer ca. 15 m Rückstand zur
Spitze haben. Aufschüttungen durch gummibe-
reifte Transportfahrzeuge (Niederdruckreifen)
dürfen nicht höher als 0,5 m sein.

Der Vortrieb parallel zur Längsachse muss
an der Außenkante beginnen und hier stets um
einige Meter zur Mitte der Aufschüttung voraus-
eilen.

Dadurch wird verhindert, dass sich ein
Grundbruch von der Mitte nach außen entwi-
ckeln kann.

Ist jedoch ein örtlich begrenzter Grundbruch
(z. B. an Wasserstellen) entstanden, ist er von
außen nach innen einzuschließen und erst nach
Ablauf einer Beruhigungsphase langsam zu ver-
füllen.

Nach Herstellung von 1 m Aufschüttung muss
eine Ruhezeit eingehalten werden, um den Abbau
des Porenwasserdruckes zu ermöglichen. Danach
kann die Schüttung lt. Abb. 4.72 bis zur vollen
Höhe der A + F-Schicht fortgesetzt werden.

Während der vorgenannten Arbeiten ist eine
geschulte geotechnische Fachkraft für die visu-
elle Kontrolle ständig vor Ort einzusetzen. Be-
sondere Aufmerksamkeit gilt

- der Entwicklung der Vor-Kopf-Schüttung und
der Randzonen,
- den Rissbildungen bzw. Abrissen in den
geschütteten Flächen,
- der Entwicklung von nicht auszuschließenden
begrenzten Grundbrüchen.

Mit Hilfe von Fluchtstangen, Hilfspflöcken und
Setzen von Setzungspegeln kann die Entwick-
lung, insbesondere zur Setzung gut erfasst und
bewertet werden.

**Anforderungen an den Einbau des Erdstof-
fes unterhalb des Wasserspiegels** Die Ein-
haltung der Materialforderungen nach Tab. 4.14
und Abb. 4.74 sichert die Funktion der Bauteile

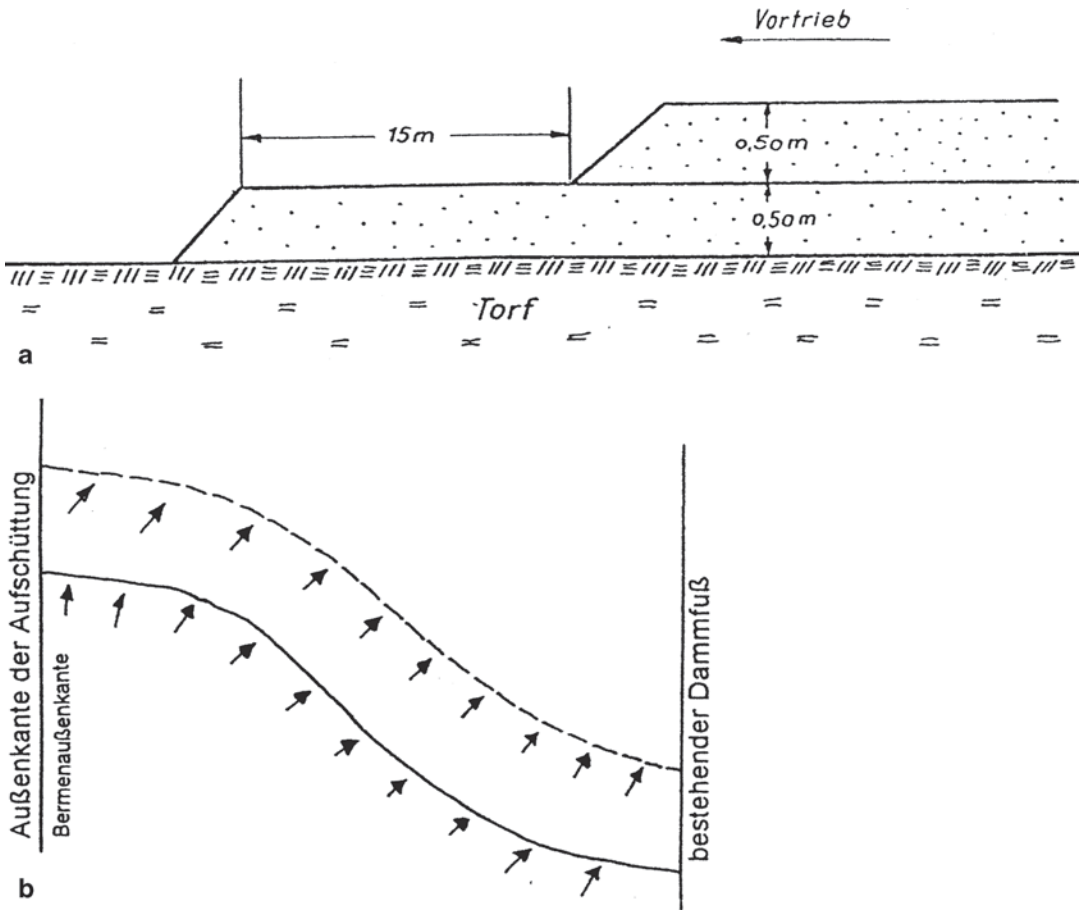


Abb. 4.70 a Vortrieb der 1. und 2. Schüttlage über eine Moorfläche, b Vortrieb der 1. und 2. Schüttlage (Draufsicht)

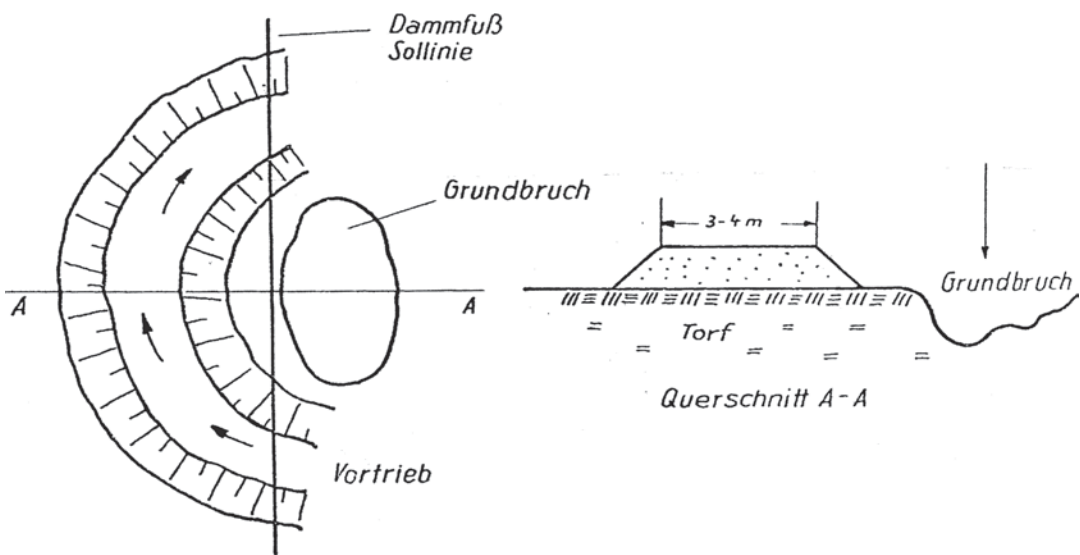


Abb. 4.71 Umschließen eines örtlich begrenzten Grundbruchs

| Schüttlage | Dicke der Schüttlage in m | Schütt- und Liegezeit an betrachtenden Punkten in Wochen | | | | | | | | |
|---|---------------------------|--|----|---------------|--------------------------|---|----|----------------------------|----|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1 | 0,5 | 1) | | | | | | | | |
| 2 | 0,5 | | 2) | Schüttzeit 1) | | | | | | |
| 3 | 0,5 | | | | Liegezeit 2) 2 Wochen | | | | | |
| 4 | 0,5 | | | | | | 1) | Liegezeit 2) 1,5 Wochen | 1) | |
| Freigabe der Fläche für die Sanddrainherstellung ca. ab 9. Woche nach Schüttbeginn | | | | | | | | | | |
| 1) Schüttzeit im Einflußbereich des betrachteten Punktes 2) Liegezeit im Einflußbereich des betrachteten Punktes | | | | | | | | | | |

Abb. 4.72 Schüttschema für die Herstellung der Filter- und Arbeitsschicht



Abb. 4.73 Abriss einer Teilfläche der Arbeits- und Filterschicht-Maßnahme. Ruhezeit und danach Überschüttung gegen die Gleitlinie

bezüglich ihrer Filterstabilität und als tragende Schicht für die Baumaschinen. Durch die Veränderung der Strömungsverhältnisse des Grundwassers in Folge der Konsolidation können z. B. Ausspülungen der Feinteile zu ständigen Setzungen führen. Die gegenseitige Durchsetzung des organischen und des Schüttmaterials wird bei Einhaltung der Materialkennwerte auf ein Minimum begrenzt und verursacht in der Nutzungsphase keine lang anhaltenden Setzungen, wie häufig bei schwimmenden Dämmen.

Als Baustoffe sollten nur natürliche Böden, solche mit Rundkorn, zum Einbau kommen, weil nur so die Filterstabilität gesichert werden kann. Die Kornverteilungslinie muss stetig sein, darf also keine Fehlkörnungen aufweisen.

Verdichtung der Arbeits- und Filterschicht Um den ohnehin kritischen Porenwasserdruck in der Schüttphase nicht weiter zu erhöhen und ggf. einen Bruch zu provozieren, wird auf eine Verdichtung der A + F-Schicht verzichtet. Dies ist deshalb akzeptabel, weil die Setzungen der A + F-Schicht im Verhältnis zu denen der organischen Schichten einen sehr geringen Anteil ausmachen.

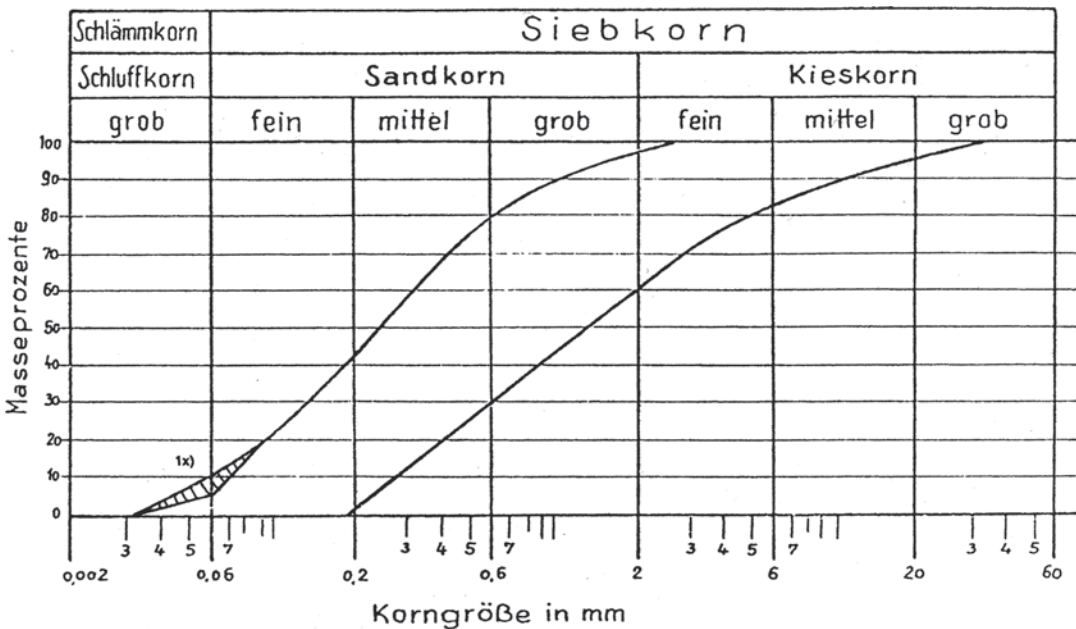
Belastung der A + F-Schicht Die A + F-Schicht kann für die verschiedensten Arbeitsprozesse genutzt werden:

- Arbeitsebene für Baugrundbohrungen, Rammarbeiten; allerdings sind Vibrationsrammen auszuschließen. Keine Konzentration von mehreren Rammen ($a \geq 50$ m),
- Überfahren von Dumpfern mit Niederdruckbereifung ist möglich, jedoch nicht im Randstreifen von 3 m zur nicht überschütteten

Tab. 4.14 Materialanforderungen

| Kennwert | Anforderung | |
|---|--|---------------------------|
| Boden/Erdstoff | Mittel- bis Grobsand (SI, GI, SW) | |
| Korn-Verteilung | Korngröße d (mm) | Anteil an der Gesamtmasse |
| | 0,2 ... 0,6 | 30 ... 60 % |
| | <0,063 | ≤10% ^a |
| Ungleich-förmigkeitszahl U $U = d_{60}/d_{10}$ | $U \geq 3$ | |
| Durchlässigkeitsbeiwert bei $D_{Pr} = 95\%$ | $10^{-5} \leq kv \leq 10^{-3} \text{ m/s}$ | |

^a Nach Erdstoffbezeichnung SI, GI, SW sind nur 5 % zulässig, im Einzelfall 10 %

**Abb. 4.74** Anforderungen für Schüttstoffe unter Wasser als Körnungslinien bzw. Kornband

Moorfläche. Fahrwege müssen gewartet werden (keine tiefen Spurrinnen),

- keine punktförmigen Belastungen, z. B. Bodenablagerungen > 1 m Höhe,
- keine beladenen Fahrzeuge mit laufendem Motor abstellen,
- bei Arbeiten an einem in Betrieb befindlichen Bahnkörper sind die Besonderheiten zur Gewährleistung der Sicherheit des Bahnbetriebes (Rammarbeiten im Pilgerschrittverfahren, Entwässerung des Bauabschnittes, Kontrolle von Bruchzonen) festzulegen.

Beweissicherung Die Übersättigung von Moorflächen oder anderen Weichschichten ver-

ursacht im Randbereich Mitnahmesetzungen aus der sog. Setzungsmulde und möglicherweise Aufwölbungen in den angrenzenden Flächen. Rammarbeiten oder andere Belastungen der Moorschicht können Brucherscheinungen auslösen, die auf angrenzende Verkehrsflächen, z. B. Straßen und Wege oder flachgegründete Bauwerke, Auswirkungen haben. Abzweigende Moorrinnen sind Überträger von Vibrationswirkungen aber auch von Sprengerschütterungen. Häufig sind diese Rinnen überschüttet und bebaut. Lageveränderungen von Druckrohren, Gasleitungen haben in Einzelfällen zu erheblichem Streit und zur Beeinträchtigung der Bauarbeiten bis hin zu erheblichen Mehrkosten

geführt. Deshalb liegt es im Interesse des AG, durch ein Beweissicherungsverfahren mittels geodätischer Aufnahme kritische Punkte an Bauwerken und Bauteilen sowie Schwachzonen laut geologischer Karte vor Baubeginn aufzunehmen und je nach Erfordernis in der Bauphase zu kontrollieren.

4.4.5 Analyse der Schäden schwimmend gegründeter Bahndämme

Nach RiL 836 sind Grenzmaße zur Gebrauchstauglichkeit, die sich aus der Lage des Oberbaus ableiten, für die Notwendigkeit von Sanierungs- oder Ertüchtigungsmaßnahmen nicht angegeben. Der planende Ingenieur und der Baugrundgutachter suchen vergeblich nach klaren Maßbeziehungen wie Achslast, Geschwindigkeit, geplanter Unterhaltung, Erhöhung der Anforderungen. So muss man konstatieren, dass es keine Einheitlichkeit bei der Bewertung eines Zustandes von Dämmen in Mooregebieten, der Ursache und deren Sanierung bzw. Ertüchtigung gibt. Dementsprechend ist die Zahl fehlerhafter Anwendungen bautechnischer Lösungen nicht selten. Dem Verfasser ist es gerade bei diesem Kapitel unverständlich, warum die Verfahrensweise der Deutschen Reichsbahn, die noch in der ABest zur DS 836 für den Bereich der ehemaligen DR bis 2000 Gültigkeit hatte, nicht in die RiL 836 aufgenommen wurde. Besseres ist für den Praktiker nicht erkennbar. Der Verfasser hat an dieser Entwicklung mitgewirkt und möchte die genannte Vorgehensweise seinen Lesern vorstellen. Derzeit muss sich jeder nach dem Wesen der Richtlinie selbst ergänzende Entscheidungskriterien für diese spezielle Thematik schaffen. Die folgenden Ausführungen sollen dazu Hilfestellung geben.

4.4.5.1 Ursachen der Schäden an bestehenden Erdbauwerken

Bei der Bewertung von bestehenden Erdbauwerken der Deutschen Bahn, die i. d. R. in der Gründerzeit der Strecken um 1850 in Mooregebieten entstanden sind, ist festzustellen:

- Die Qualität des Erdkörpers ist nicht nach den Regeln der Technik heutiger Prägung entstanden.
- Weder das Schüttmaterial noch die Geometrie des Gründungskörpers genügen heutigen Anforderungen.
- Der Zustand der Gründung hat sich mit der Größe der Beanspruchung (Achslast, Geschwindigkeit) und der Geometrie (Gleisabstand von 2,70 m → 4,30 m) allmählich bei viel Unterhaltung durch die Bahn angepasst oder auch durch Schäden zur Sanierung geführt.

Ein Merkmal für die seit dem Bau eingetretenen Setzungen ist die Lage von alten Bettungskieschichten im Erdbauwerk, in die zur Gründerzeit der Oberbau, wie heute mit Schotter, eingebettet war. Bei Erkundungsarbeiten findet man den charakteristischen Fall:

- die organischen Schichten sind stabil geblieben und haben nur Setzungen und horizontale Verschiebungen erlitten, die aber nie zur Ruhe gekommen sind,
- die Schüttung hatte den Charakter einer Verdrängungsschüttung, die Schichten sind von Sandeinlagerungen durchbrochen und bilden so einen äußerst inhomogenen Baugrund,
- die Randzonen und die Schichten unter den Böschungsflächen sind nur teilweise konsolidiert, siehe Abb. 4.77,
- durch die dynamischen Beanspruchungen wird der Kapillarsaum wegen der Bodenarten SE/SU unter den Gleisen angehoben und mindert die Tragfähigkeit des Tragschichtsystems,
- durch den sich ausbildenden Porenwasserüberdruck im Unterbau als Folge der Zugbefahrung wird eine nach außen schiebende Kraft wirksam (Nachweis durch Porenwasserdruckmessungen), die einen Wasserüberdruck darstellt, der zum Austrieb von Wasser mit Feinteilen führt. Da die horizontale Filterstabilität Sand (SU/SE) zum organischen Material nicht gegeben ist, werden permanent Feinteile aus dem Dammkörper ausgespült. Diese Feststellung wird dadurch untersetzt, dass bei Probenahmen im angrenzenden unvermischten Torf (sonst $V_{g1} \geq 80\%$) der organische Anteil bis zu

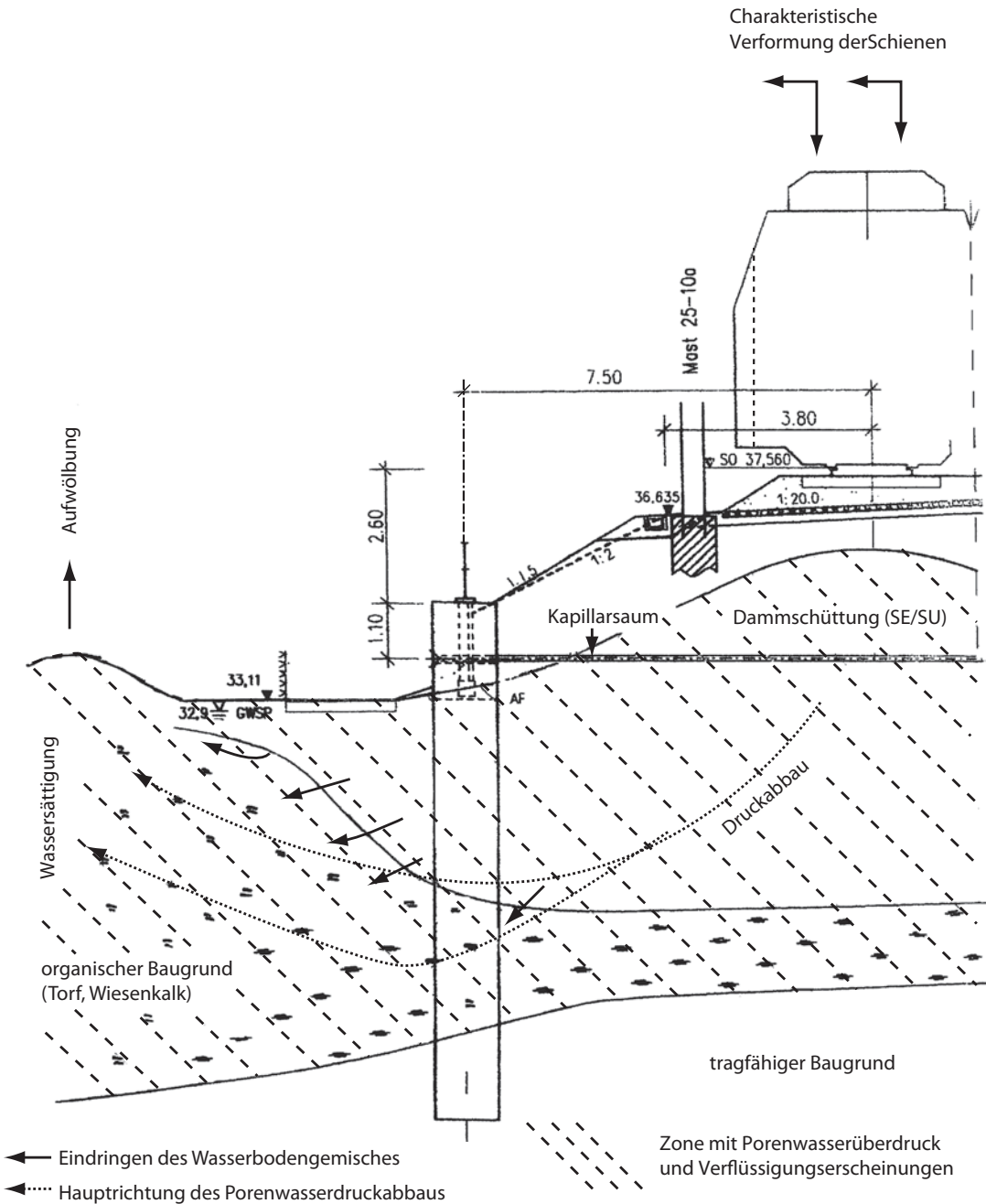


Abb. 4.75 Anhebung des Kapillarsaumes bei flachen Bahndämmen durch den Verkehr und die Ausbildung der Porenwasserüberdrücke, verbunden mit horizontalem

Materialtransport trotz Maßnahmen zur Aufnahme des Horizontalschubs nach fälschlicher Deutung (Zuganker)

- 30% vom natürlichen Material abweicht und in gleicher Schichthöhe $V_{gl} < 50\%$ beträgt,
- bedingt durch die Ausformung eines geeigneten tragfähigen Horizonts in der Eiszeit haben Verkehrsdämme im Querschnitt häufig unter-

schiedliche Setzungen und – wie Abb. 4.76 zeigt – eine permanente Verschiebung der Bahnachse, die sich durch Richtungsänderung und stärkere Setzung des Außenstranges äußert.

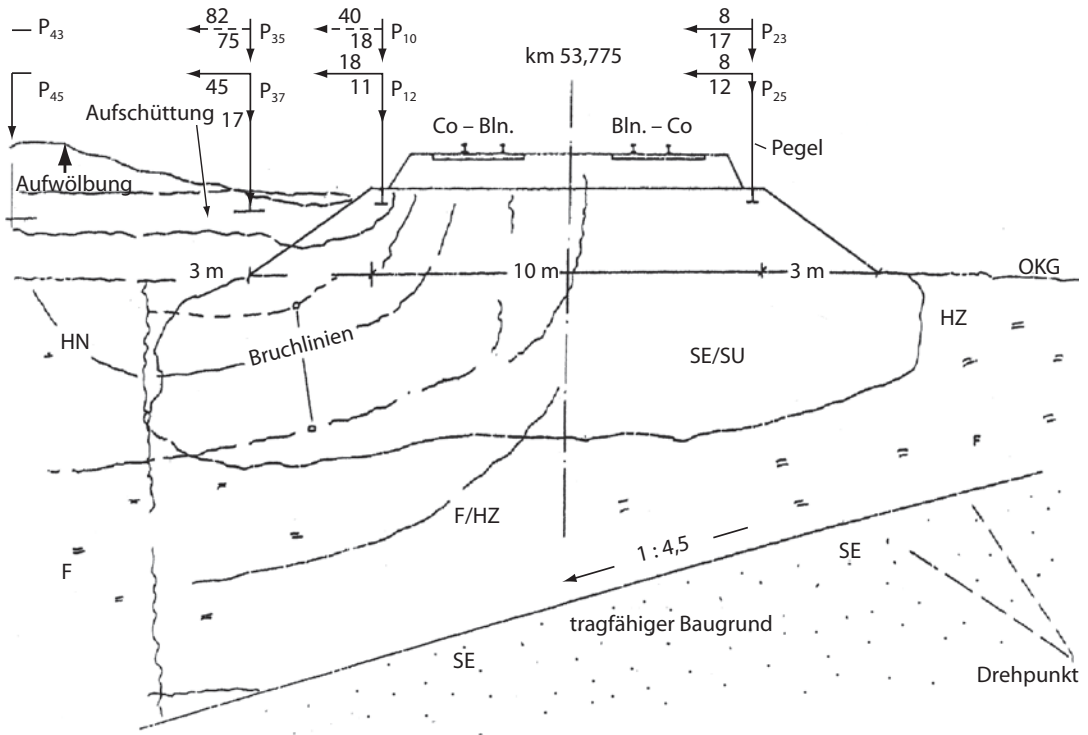


Abb. 4.76 Baugrundquerschnitt Dahmetal und die Verformungen des schwimmend gegründeten Erdbauwerkes

Im Beispiel der Abb. 4.76 ist zusätzlich ein alter Bruch aktiv, der zur Befürchtung eines Abrisses führen muss. Hier genügt ggf. der Einsatz von Vibrationstechnik bei Erhaltungsmaßnahmen, um den Bruch auszulösen.

Welche Schlussfolgerungen sind zu ziehen?

- An kritisch zu bewertenden Bauabschnitten, die man gut an häufigen Unterhaltungsmaßnahmen oder La-Stellen erkennt, müssen das Verhalten des Oberbaus (Festpunkte am Gleis) und des Erdbauwerkes (Setzungs-/Verschiebungspegel) durch geodätische Messungen über mindestens zwei Jahre überprüft werden (überwachter Zustand).
- Im Ergebnis der genannten Beispiele muss eine Planung einsetzen, die die Ursachen beseitigt.

4.4.5.2 Bildung von Bewertungskriterien

Das Schwergewicht der geotechnischen Bewertung „schwimmender Dämme“ bei der Vorberei-

tung von Baumaßnahmen muss auf die Beantwortung folgender Fragen gerichtet werden:

- Verformungen (Setzung und horizontale Verschiebung),
- Standsicherheit, Istzustand in allen Bauphasen,
- Schwingstabilität im Anfangs- und Endzustand.

Schwimmend gegründete Erdbauwerke nehmen in der Schadensstatistik einen Spitzenplatz ein, sofern sie über keine Fußsicherung (Reibungschluss) verfügen (s. Abb. 4.77 bei Beachtung der unterschiedlichen Konsolidierungsgrade).

Neuerdings sind dies nicht nur solche in Moorgebieten, sondern auch auf weichen schluffig-tonigen Böden. Ähnliche Schadensbilder sind bei gesättigten, locker gelagerten, gleichkörnigen, schwach schluffigen Sanden festzustellen, die man auch als Setzungsfließen bezeichnet. Diese schwimmenden Gründungskonstruktionen der Erdbauwerke haben folgende Erscheinungsformen gemeinsam:

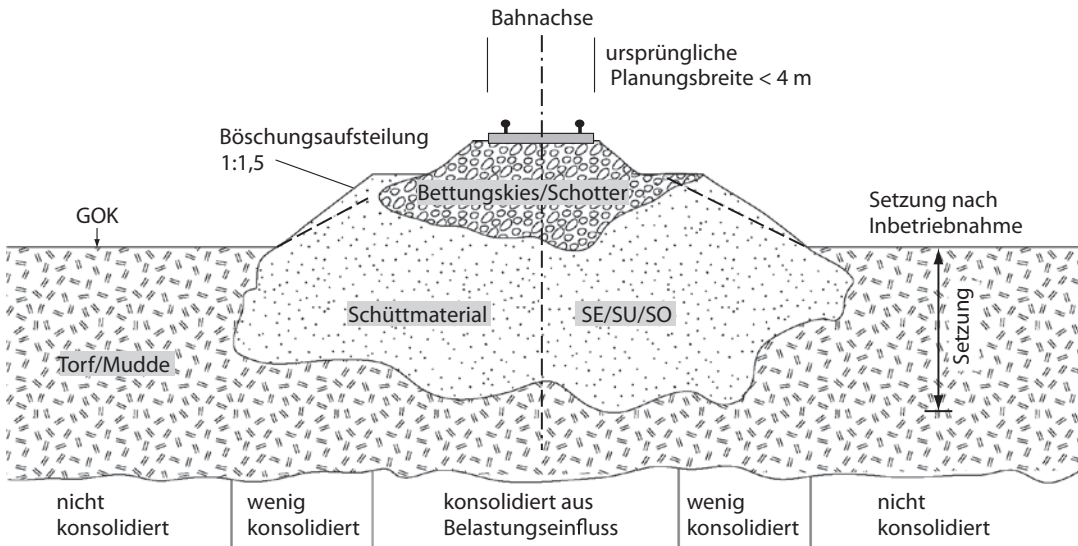


Abb. 4.77 Zustand schwimmend gegründeter Bahndämme nach langjähriger Nutzung mit den unterschiedlichen Konsolidierungsgraden

- sie reagieren bei Belastungsveränderungen, insbesondere jedoch bei dynamischen Anregungen (Verkehr, Bauarbeiten),
- Grundwasser- bzw. Schichtenwasserschwankungen verändern das stoffliche Verhalten,
- die in der Bodenmechanik allgemein angewandte Theorie des „elastisch-isotropen Halbraums“ ist nur noch bedingt zutreffend.

Weil solche Böden zeitweilig anders als sog. mineralische Böden reagieren, sind die Verformungswerte meistens wesentlich größer.

Gemessene Setzungen übertreffen in einigen Fällen um mehr als 100% die nach der Theorie von Bussinesq/Steinbrenner/Fröhlich berechneten Werte.

Die tatsächlichen Bruchfiguren bei einer Grund- oder Böschungsberechnung sind meist nicht identisch mit denen nach Fellenius, Sior oder anderen berechneten Formen der kritischen Gleitlinie.

Verformungen Entscheidend für die Notwendigkeit von Sanierungsmaßnahmen ist der Zustand und die Häufung notwendiger Unterhaltungsarbeiten am Gleis [3, 7]. Stark beeinflusst wird der Zustand durch den Winkel der Querung des

Untergrundreliefs eines Moorfeldes (s. Abb. 4.78). Dazu gab es folgende Überlegungen:

Nicht die Größe einer Gesamtsetzung, sondern die relative Setzung zwischen zwei benachbarten Punkten ist maßgeblich. Die gemessene Setzung am Erdbauwerk muss mit Maßen der horizontalen Verschiebung bei Gefahr gekoppelt werden (s. Abb. 4.76). Das Beispiel in Abb. 4.79 zeigt den Grundgedanken der Bewertung des Erdbauwerkes als Hilfsmittel für die Planung der Entwicklung der Gleislage. Es ist unbestrittene Erfahrung, dass das Erdbauwerk früher Setzungen anzeigt als bis sich diese nach Entspannung der Schichten des Tragsystems (PSS und Schotter) am Gleis zeigen. Nach vielen Diskussionen mit Oberbauern hat der Verfasser Anforderungen für zulässige relative Setzungen auf 10 m Länge in [7] (Abb. 4.79) definiert und weiterentwickelt, die sich in der Praxis als gutes und zuverlässiges Hilfsmittel für die Vorbereitung von Entscheidungen zur Sanierung bewährt haben.

Tabelle 4.15 zeigt den Bewertungsvorschlag (oberer Teil), wie er von der Deutschen Reichsbahn in das Vorschriftenwerk [7] aufgenommen wurde. In der ab 1993 geltenden ABest zur DS 836 waren diese Werte für den Bereich der DR weiter gültig mit den Ergänzungen, die in der

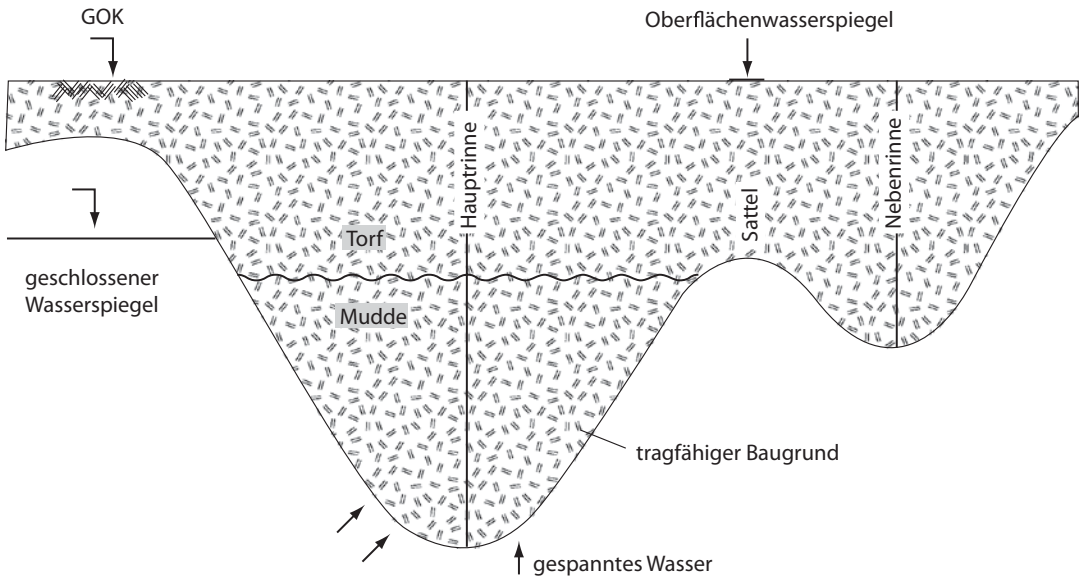


Abb. 4.78 Schematische Darstellung des Untergrundreliefs in einem Moorfeld

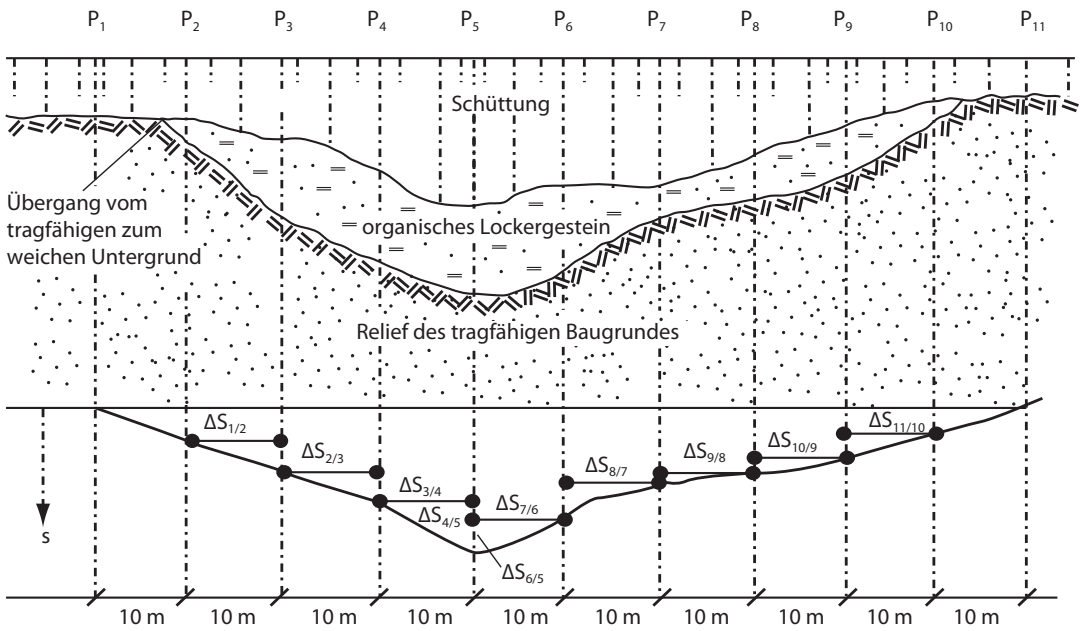


Abb. 4.79 Gesamtsetzungen und Setzungsdifferenzen des Damms zwischen den geplanten Terminen der Erhaltungsmaßnahmen des Gleisoberbaus

DS 836 für Schnellfahrstrecken und Feste Fahrbahn gültig waren. Die Weiterentwicklung mit den Erfahrungen mehrerer Bauvorhaben zeigt Tab. 4.16. Nach diesen empirisch entwickelten

Daten kann sich nach Berechnungen der AG entscheiden, ob

- die Betriebsführung aufrecht erhalten oder eine Vollsperrung angestrebt wird oder

Tab. 4.15 Zulässige relative Setzungen an in Betrieb befindlichen Eisenbahndämmen, bezogen auf 10 m Dammlänge

| Art der Strecke | Zulässige relative Setzungen Δs mm/Jahr | | |
|-------------------------------------|---|-------------------------|---|
| | Bauzustand ^a | Endzustand ^b | Bemerkungen |
| Hauptbahn ^c V 120 km/h | 70–40 | < 40 | Abest 1.3.93 (TGL 11482/08) (Punkt 4.6) |
| Nebenbahn ^c V ≤ 180 km/h | 150–70 | < 70 | Abest 1.3.93 (TGL 11482/08) (Punkt 4.6) |
| Schnellfahrstrecken V ≥ 160 km/h | – | < 20 | DS 836 |
| Feste Fahrbahn | | < 0,4 ^d | Anford. Katalog FF 5/94 |

Erläuterungen nach TGL 11482/08, Pkt. 4.6

^a Bauzustand: Erdbauwerk erleidet Setzungen aus Baumaßnahmen am Eisenbahndamm oder in dessen Nähe

^b Endzustand: Nach Beendigung der Bauarbeiten ausklingende Setzungen

^c Die Festlegungen der zulässigen Fahrgeschwindigkeit erfolgt nicht anhand der an den Setzungspegeln gemessenen Setzungsunterschiede, sondern aufgrund der tatsächlich auftretenden Veränderungen am Gleis

^d $\Delta_s = 20$ mm bei 50jähriger Liegedauer

- bei Vorgabe der Bauzeit eine Optimierung von Mindestforderungen der Eisenbahnbetriebsführung mit den Aufwendungen der Gleisunterhaltung für die angestrebte Geschwindigkeit im Bereich einer La-Stelle in Einklang gebracht werden kann.

Das vorgestellte System der Setzungsbewertung wurde weiterentwickelt, um aus der Setzungsprognose unmittelbar auf die mögliche Geschwindigkeit des Zugbetriebes zu schließen (Tab. 4.16).

Neben den plastischen Verformungen (Setzungen) spielt die elastische Verformung des Verkehrsweges auf organischem Baugrund eine wichtige Rolle. Sie wird ausgedrückt durch die elastische Einsenkung der Konstruktion beim Befahren und das Zurückfedern in die Ausgangslage. Straßen und Eisenbahn drücken dies indirekt über andere Parameter, wie Tragfähigkeit und Schwingstabilität, aus. Für einen modernen Verkehrsweg wird man die Festlegung einer elastischen Einsenkung (in mm) treffen müssen. Sie würde die Elastizität oder Starrheit eines Systems ausdrücken. Sowohl die Konstrukteure des Fahrweges als auch die Entwickler der Fahrzeuge könnten dadurch einen wichtigen Beitrag zum berechenbaren Fahrkomfort bieten. Auch solche Größen wie der Verschleiß an den Elementen des Fahrweges und der Fahrzeuge könnten we-

sentlich besser auf die Bedingungen eines hohen Fahrkomforts abgestellt werden. Das größte Problem ist derzeit vor allen Dingen die unterschiedliche Elastizität des Fahrweges in Längs- und Querrichtung (s. auch Abschn. 4.3.2.6 und 4.5).

Standicherheit Den ungünstigsten Fall einer Standsicherheitsbewertung finden wir bei einem weichen Untergrund. Der bautechnische Zusammenhang einer Standsicherheitsbetrachtung wird hergestellt über die von Coulomb und Terzaghi formulierte Grundgleichung der Kräfte entlang einer Gleitlinie mit

$$\tau = c' + \sigma' \tan \varphi'.$$

Darin ergibt sich die wirksame Spannung zu

$$\sigma' = \sigma - u$$

Der Porenwasserdruck u kann in der Praxis in folgenden Relationen bestimmt werden:

| | |
|------------------------------|-------|
| absoluter Porenwasserdruck | u |
| natürlicher Porenwasserdruck | u_0 |
| wirksamer Porenwasserdruck | u' |
| relativer Porenwasserdruck | u^* |

Für die hier anstehenden Fragen der Standsicherheitsbewertung gegen Geländebruch ist der

Tab. 4.16 Zulässige relative Setzungen am Erdbauwerk und Unterhaltung am Gleis/Jahr (Δ_s auf 10 m Länge)

| Art der Strecke | Bauzustand | | Endzustand | | Bemerkungen |
|-----------------------------------|-------------------------|---|-------------------------|---|--|
| | Δ_s zul. mm/Jahr | notwendige Unterhaltungen am Gleis ^e | Δ_s zul. mm/Jahr | notwendige Unterhaltungen am Gleis ^e | |
| Hauptbahn ^c V 120 km/h | 70 bis 40 | 2×/Jahr | <40 | 1× | Abest 1.3.93 (TGL 11482/08) (Pkt. 4.6) |
| Nebenbahn ^c V <80 km/h | 150 bis 70 | 2×/Jahr | <70 | 1× | Abest 1.3.93 (TGL 11482/08) (Pkt. 4.6) |
| Schnellfahrstrecken V=160 km/h | – | 2×/Jahr | <20 | 1× | DS 836 |
| Feste Fahrbahn | – | – | <0,4 ^d) | – | Anforderungen Katalog FF 5/94 |

Für diesen besonderen Fall der Strecke BAR, km 38,885–39,250/GVZ Wustermark wird folgender Entscheidungsvorschlag für die Bewertung analog Tabelle unterbreitet:

| Strecke BAR km | Bauzustand | | Endzustand | | Bemerkungen |
|----------------------------|-------------------------|---|-------------------------|---|------------------------|
| 38,885–39,295 | Δ_s zul. mm/Jahr | notwendige Unterhaltungen am Gleis ^e | Δ_s zul. mm/Jahr | notwendige Unterhaltungen am Gleis ^e | |
| V _{zul.} 140 km/h | ≤50 | 2× | ≤30 | 1× | Vorschlag ^f |
| V _{zul.} 130 km/h | ≤60 | 2× | ≤35 | 1× | Vorschlag ^f |
| V _{zul.} 120 km/h | ≤70 | 2× | ≤40 | 1× | Vorschlag ^f |
| V _{zul.} 100 km/h | ≤100 | 2× | ≤50 | 1× | Vorschlag ^f |
| V _{zul.} 90 km/h | ≤110 | 2× | ≤60 | 1× | Vorschlag ^f |
| V _{zul.} 70 km/h | ≤140 | 2× | | | |
| V _{zul.} 50 km/h | ≤180 | 2× | | | |
| V _{zul.} 30 km/h | ≤250 | | | | |

^a Bauzustand: Erdbauwerk erleidet Setzungen aus Baumaßnahmen am Eisenbahndamm oder in dessen Nähe

^b Endzustand: Nach Beendigung der Bauarbeiten ausklingende Setzungen

^c Die Festlegung der zulässigen Fahrgeschwindigkeit erfolgt nicht anhand der an den Setzungspegeln gemessenen Setzungsunterschieden, sondern aufgrund der tatsächlich auftretenden Veränderungen am Gleis

^d $\Delta_s = 20$ mm bei 50-jähriger Liegedauer

^e Richt- und Stopfarbeiten am Gleisoberbau

^f Übersteigen die Setzungen das geplante Maß, so sind festzulegen:

- erhöhte Erhaltungsaufwendungen oder
- Herabsetzung der Geschwindigkeit oder
- Maßnahmen zur Verringerung der Schüttgeschwindigkeit der Anschüttung

wirksame Porenwasserdruck u (Unterschied vor Lastauftragung zu betrachtetem Belastungsfall) und für eine Schnellbewertung der relative Porenwasserdruck u^* zu beachten. Dabei taucht immer wieder die Frage auf, welche Sicherheitsanforderungen bei Bauzuständen und als Endstandsicherheit zu gewährleisten sind (s. DIN 1054). Der Porenwasserdruck zeigt uns als komplexe Größe an, welche Einwirkungen von außen auf die weichen Schichten der Gründung des Erdbauwerkes wirksam geworden sind, d. h. statische und dynamische Anregungen/Belastungen. Da der Sicherheitsfaktor erheblich die Wirtschaftlichkeit einer Lösung oder überhaupt die

Durchführbarkeit einer Maßnahme beeinflusst, wurde bisher mit Erfolg die in Tab. 4.17 angegebene Sicherheitsdefinition in den einzelnen nicht bzw. überwachten Phasen bei Vorhaben der Bahn angewandt. Fehlende rechnerische Sicherheit wird durch permanente Überwachung ergänzt und gleichzeitig werden die Einflussgrößen, wie Dynamik aus Zugverkehr und statische Belastungen, schonend in die weichen Baugrundsichten eingebracht.

Setzungsfließen und Ausbildung kritischer Porenwasserdrücke Schadensfälle beim Abrutschen von Tagebauböschungen in der Lausitz mit

Tab. 4.17 Übersicht der technischen Anforderungen für den rechnerischen Nachweis der Standsicherheit schwimmend gegründeter Bahndämme nach Globalisierungskonzept vor 2009

| Betrachtungszustand | Merkmal | Technische Forderung |
|--|---|--|
| Istzustand Strecke ohne Einschränkungen in Betrieb | Erdbauwerk ist nach technischen Regeln gegründet | Nach DIN 4084/DIN 1054 ^a $\eta \geq 1,4$ |
| | Bauwerk ist schwimmend gegründet (Bauwerk auf organischen bzw. Weichschichten) | $\eta \geq 1,1 \geq 1,4$ Anwendung „überwachter Zustand“ nach ABest zur DS 836 v. 03/93 zu S. 27, Abs. 12 |
| Bauzustand mit Einschränkungen für den Zugbetrieb (überwacht) | Bauwerk ist schwimmend gegründet (organische oder Weichschichten) Das bestehende Bauwerk wird durch Schütt-, Ramm-, Rüttelarbeiten oder erhöhte Geschwindigkeit beansprucht. Die Erhöhung des Porenwasserdrucks führt zur Minderung der Standsicherheit Wegen vorhandener Schadensmerkmale (Risse, Setzungen) ist die Geschwindigkeit des Zugverkehrs bereits gemindert | $\eta \geq 1,1$ mit direkter Kontrolle des Porenwasserdrucks im kritischen Punkt Grundlage ABest 03/93 zu DS 836 |
| Kritischer Bauzustand mit maximalen Einschränkungen für den Zugbetrieb (überwacht) | Zeitweilige Überschüttung, seitliche Verbreiterung für eine schnelle Konsolidierung, Anwendung notwendiger Ramm- und Rüttelarbeiten, Flutung oder Absenkung des Grundwasserspiegels, Sprengarbeiten im gleichen Moorfeld, Aufbringung von großen Lasten bei Montagevorgängen u. ä. | $\eta \geq 1,1$ mit Kontrolle des Porenwasserdrucks zur Steuerung der Bauprozesse im Rahmen eines Überwachungssystems (Setzung, Oberbauprüfung, visuelle Kontrolle) siehe ABEst 03/93 |
| Endzustand (überwacht) | Inbetriebnahme ist erfolgt, die Überwachung des Porenwasserdrucks wird fortgesetzt, Zuggeschwindigkeit wird in Etappen auf Sollgeschwindigkeit gebracht. | $\eta \geq 1,3$ mit Kontrolle des Porenwasserdrucks siehe ABEst 03/93 |
| Endzustand | Bauwerk hat volle Betriebsbelastung, keine kritischen Einflüsse aus Bauarbeiten zu erwarten. | $\eta \geq 1,4$ nach DIN 4084/DIN 1054 ^a |

^a Die Verfahrensweise der Nachweisführung ist im Vorfeld durch AG und EBA festzulegen, siehe DIN 1054

riesigen Massenbewegungen haben zu umfangreichen Untersuchungen ihrer Ursachen geführt. Das Ergebnis war, dass die Böschungssysteme sehr wohl den üblichen statischen Berechnungsmethoden genügen, aber dennoch abgerutscht sind. Die Art der Rutschungen wurde von Professor Förster, Freiberg, als Setzungsfließen bezeichnet und nachfolgend definiert: „Setzungsfließen ist die plötzliche Rutschung einer Böschung in Folge Verflüssigung geschütteter, wassergesättigter, sandiger Böden (SE/SU) geringer Lagerungsdichte. Eine Verflüssigung kann als Folge von dynamischen Einwirkungen (Erschütterung, Stoss, plötzlicher Anstieg des Porenwasserdrucks) entstehen“ (s. Abb. 4.80 und Abschn. 4.5).

Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind in einer „Richtlinie für die Verlegung von Verkehrswegen auf Kippen des Braunkohletagebaus“ vom

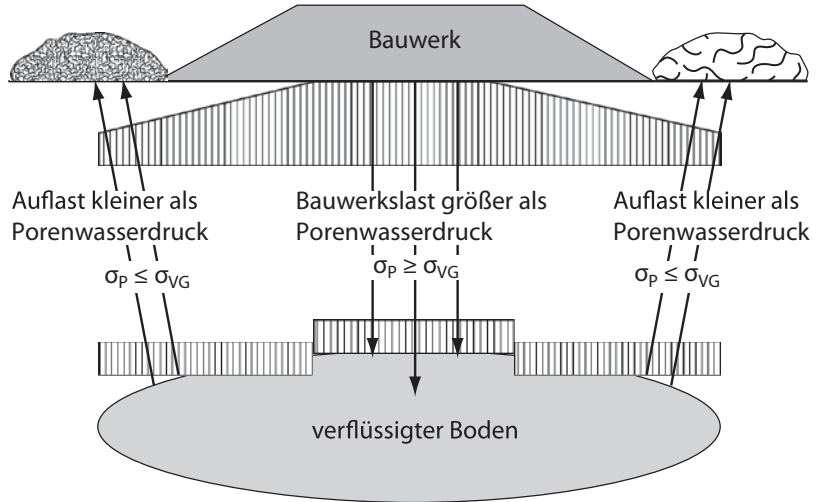
Dezember 1988 festgeschrieben. Setzungsfließgefahr besteht bei folgenden Randbedingungen:

- Kornverteilung des Schüttmaterials SE/SU
Feinkorn $d < 0,063$ mm bis 30 %
Kieskorn $d > 2$ mm unter 40 %
- Lagerungsdichte $I_D < 0,6$
- Wasserstandsverhältnis

Die Wasserstandshöhe h_w beschreibt das Wasserstandsverhältnis. Dabei ist h_w zu $h_k \geq 0,2$ ausreichend, wenn kein Wasser vor der Kippenböschung steht.

Die Trassen der Bahn führen über zahlreiche Niederungen, wo formal eine Setzungsfließgefahr besteht. Deshalb wurden Schadensfälle in neuerer Zeit, die auf solche Situation hindeuten, auch nach den Kriterien des Setzungsfließens bewertet. Es gibt dazu noch keine eindeutigen Hinweise, wohl aber den Verdacht eines Zusammenhangs. Bei einer speziellen Überwachung

Abb. 4.80 Ausbildung einer Verflüssigungszone durch dynamische Anregung, z. B. Zugverkehr



Tab. 4.18 Beurteilung der Auswirkungen von Weichschichten im Untergrund

| Fall 1 | Fall 2 | Fall 3 | Fall 4 |
|-----------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|
| kritisch ^a | unkritisch | kritisch | kritisch ^a |
| Planum | | | |
| Überdeckung > 2,0 m | Überdeckung > 2,0 m | Überdeckung < 2,0 m | Überdeckung < 2,0 m |
| Torf > 0,5 m | Torf < 0,5 m | Torf > 0,5 m | Torf < 0,5 m |

Beurteilung der Auswirkungen von Weichschichten (z. B. Torf im Untergrund

^a ggf. Entscheidung im Einzelfall nötig!

In kritischen Bereichen Amplitude und Frequenz der Resonanzschwingungen messen!

Bei Überdeckung $\geq 4,0$ m sind keine schädlichen Auswirkungen zu erwarten

an einem Eisenbahndamm über einer Kippe, Vorhaben Lohsa bei Hoyerswerda (Sachsen), konnten dazu neuere Erkenntnisse gewonnen werden.

Schwingstabilität/dynamische Stabilität Für die Gründung der Erdbauwerke auf den genannten Weichschichten sind je nach Geschwindigkeit und Achslast der Züge die Dicken der über diesen Schichten vorhandenen, aus mineralischen Böden bestehenden Abdeckschicht von größter Bedeutung. Der Zug mit möglichen gleichartigen Beanspruchungen (Personenzüge, Güterzüge mit gleichen Wagen und Lasten mit Öl, Erz, Getreide) erzeugen im Baugrund Schwingungen, die sich in elastischen-wellenartigen Verformungen am Gleis während des Befahrens in Längs- und Querrichtung bemerkbar machen. Diese können sich so aufschaukeln, dass der letzte Teil des Zuges im kritischen Falle entgleisen kann. Die Bahn hat in ihren Informationen dazu kriti-

sche bzw. unkritische Fälle der Schwingstabilität definiert, s. Tab. 4.18.

Nach der Publikation [8] der Deutschen Bundesbahn-BZA werden folgende Erscheinungen bei Erreichen der kritischen „Schwingungen“ beschrieben:

- Schotter entmischt sich,
- elastische Verformungen im rhythmischen Takt entstehen,
- Schotter vor Schwellenkopf verflacht sich, der Kopf ist zum Teil freigelegt.

Als Ursache wird die Erreichung der Eigenfrequenz des organischen Bodens angegeben. Der Einfluss des Porenwasserüberdrucks wurde nicht gemessen. Neuere Erkenntnisse zeigen, dass die Kriterien nach Tab. 4.18 nicht ausreichen. Sie müssen mit Überlegungen zur Erhöhung der Trägheit des Erdbauwerkes (Bermenschüttung) ergänzt werden. Es sind auch Erklärungen darüber zu finden, inwieweit die Eigenfrequenzen

der organisch-weichen Schichten, die in der Literatur mit 8 bis 20 Hz angegeben werden, durch technische Vorgänge am Erdbauwerk oder in der Nähe (Rammarbeiten, Sprengungen, Verdichtung), siehe Abschn. 4.5, trotz Vermeidung der genannten Frequenzen dennoch zur Anregung des Untergrundes führen. Ergebnisse aus Porenwasserdruckmessungen belegen, dass nicht die Frequenz einer Maschine, sondern die Größe und Art der Energieeintragung für solche Schäden an Erdbauwerken verantwortlich sind. Deshalb soll durch Messungen in verschiedenen Stadien der Bauausführung ein Vergleich der o. g. Parameter erfolgen und mit den Ergebnissen aus Porenwasserdruckmessungen kombiniert werden.

In den letzten Jahren gibt es Versuche, die „dynamische Stabilität“ eines auf weichem Baugrund gegründeten Dammes zu bewerten. Dazu werden die Parameter Schwinggeschwindigkeit, Schwingbeschleunigung, Frequenz und Verformungsgrößen bei Versuchsabschnitten gemessen. Andere Verfasser haben theoretische Überlegungen mit zum Teil nicht akzeptablen Erkenntnissen geführt. Die in der RiL 836 unter 836.0402 vor 1999 vorgesehene Aufnahme eines Berechnungsverfahrens ist wegen fehlender Erfahrung ausgesetzt worden. Eine Anwendung solcher Bedingungen im speziellen Fall wird dennoch befürwortet.

Filterstabilität Lange Jahre hatten die Fachleute der Bahn keine Erklärung dafür, warum eigentlich nach Abschluss der Konsolidierungssetzungen an Erdbauwerken aus den Lasterhöhungen bei den genannten Weichschichten die Setzungen nie aufhörten (Sekundärsetzungen). Praktische Beispiele belegen, dass die permanente Anregung durch die Dynamik des Verkehrs auch eine horizontale Komponente im weichen Medium Weichschicht ausbildet und ein Feinkorntransport mit dem seitlich abfließenden Wasser verursacht wird. Deshalb ist es von großer Bedeutung, wie die Schüttmaterialien für solche schwimmenden Gründungen ausgewählt werden und wie im Wirkungsbereich der horizontalen Spannungen das große Porenvolumen der organischen Schichten durch Konsolidierung filterstabil ausgebildet werden kann (s. Abb. 4.75 und 4.77), zum Thema

Materialanforderungen bei Unterwassereinbau s. Tab. 4.14 und Abb. 4.74. Die vorgeschlagene Materialqualität wurde bei Bauvorhaben der letzten 40 Jahre mit vollem Erfolg als besonders geeignet herausgearbeitet.

4.4.6 Wahl der Sanierungs- und Ertüchtigungsmethode bei Arbeiten an in Betrieb befindlichen Bahndämmen auf weichem Untergrund

Die RiL 836 unterscheidet Reparaturen zur Aufrechterhaltung des bisherigen Belastungszustandes und die Maßnahmen zur Ertüchtigung bei Veränderung des Belastungszustandes (Geschwindigkeit, Achslast, dynamische Einflüsse). Im Lauf der technischen Entwicklung des Bahnverkehrs haben sich schleichend höhere Beanspruchungen durch neue Triebfahrzeuge (Dampflokomotiv, Diesellokomotiv, E-Lok) eingestellt, die Zuglasten wurden erhöht und dementsprechend die Bremskräfte. Gerade die weichen Böden des Untergrundes haben durch ein erhöhtes Schadensaufkommen in Form von Setzungen und Verschiebungen am Bahnkörper reagiert. Die „statischen“ Veränderungen werden erfasst und bewertet, aber der Kennwert mit der höchsten Aussagekraft bei weichem Untergrund – die elastische Verformung – wird nicht gemessen. Der erfahrene Oberbau fachmann nimmt diese „federnde“ Verformung wahr, aber er hat in der RiL keinen Vergleichsmaßstab um eine eventuelle Gefahr zu bewerten. Jeder Fachmann erkennt in einer Moorstelle, dass dem Zug eine Verformungswelle vorausläuft, deren Energie erst an Stellen mit festem Untergrund, z. B. einem Überweg zu Lasten der Gleislage, vernichtet wird. Die Messungen des Porenwasserdrucks an in Betrieb befindlichen Bahndämmen im Moorgebiet zeigen an, dass eine solche Schubwelle im Untergrund mit dem Zug das Moorfeld durchläuft. Diese durch den Porenwasserdruck in einem „nicht elastisch isotropen Halbraum“ angezeigten horizontalen Belastungswirkungen werden bei statischen Überlegungen (z. B. zum Verfahren Rüttelstopfsäulen) bisher noch nicht berücksichtigt. Meines Erachtens ist

dies die Ursache der aufgetretenen Schäden bei dieser in letzter Zeit stark propagierten Art der Untergrundsanierung in Mooregebieten.

Die Bewältigung einer Reparatur oder Ertüchtigung ist in den Aufwendungen bezüglich der Maßnahmen der Gründung kaum zu unterscheiden. Die Kriterien zu einer solchen Prognose sind bisher meist die Berufserfahrung mit empirisch entwickelten Hilfsgrößen zu den Auswirkungen auf den Oberbau. Wenn die langwierig erprobten Hilfsmittel keine Anwendung finden in den Richtlinien der Bahn und auch keine Verbesserung der Systematik angestrebt wird, muss man Fehlschläge bei der Anwendung der Sanierungsmaßnahmen in Kauf nehmen. Vieles kann man durch ein wirksames Überwachungssystem erkennen, ergänzen, verändern, aber das Gesamtkonzept muss erfüllbar sein.

4.4.6.1 Konstruktive Hinweise zur Gestaltung der Erdbauwerke auf setzungsempfindlichem Baugrund

Entscheidend für den Erfolg einer solchen Baumaßnahme ist, ob das Baugrundprofil in Längs- und Querrichtung ausreichend erkundet und die anstehenden organisch-weichen Bodenschichten in ihrem Verhalten ausreichend beschrieben sind (Beispiel siehe Tab. 4.13; Abb. 4.76).

Der Baugrundgutachter muss alle Fragen umfassend beantworten, die die Gebrauchsfähigkeit des Erdbauwerkes beeinflussen können. Der zu erarbeitende Katalog von Antworten wird durch Tab. 4.2 in den Schwerpunkten zur geotechnischen Beurteilung der Erdbauwerke deutlich. Die Planung muss die im Baugrundgutachten erarbeiteten Randbedingungen mit der Gesamtlösung und den technologischen Abhängigkeiten verbinden. Neben den Konstruktionselementen eines normalen Erdbauwerkes sind bei schwimmenden Dammgründungen zusätzlich zu beachten:

- Materialauswahl für Dammpartien, die durch Setzung im Endzustand unterhalb des Wasserspiegels bzw. des Kapillarsaumes liegen (s. Tab. 4.14; Abb. 4.74),
- technologische Festlegungen, die eine Überforderung des labilen Baugrundes bei der Herstellung von Sanddrains, textilmantel-

ten Sandsäulen, Rüttelstopfsäulen o.ä. verhindern; Grundbrüche müssen ausgeschlossen werden,

- mögliche Verdrehung des Dammes oder Gefahr des Abgleitens bei geneigtem tragfähigem Baugrundhorizont (Beispiel s. Abb. 4.76),
- Breitenzuschlag im Planum, der bei Überschreitung von berechneten Setzungen dennoch eine ausreichende Erdkörperbreite garantiert,
- Setzungsunterschiede in Längsrichtung in einer langgezogenen Mulde auszugleichen (s. Abb. 4.79),
- den Schüttprozess nach max. zulässigen Grenzwerten des Porenwasserdrucks zu steuern und gleichzeitig durch eine zeitweilige Übersättigung die Vorwegnahme von Setzungsgrößen zu erzwingen und nachteilige Auswirkungen für den Verkehr in der Nutzungsphase vermeiden (s. Beispiel Abb. 4.103),
- Überwachungssystem vorsehen, was eine Steuerung der technologischen Abläufe sichert, die Qualität gewährleistet und die Sicherheit der angrenzenden Verkehrsträger nur im zulässigen Rahmen beeinflusst (Schüttschema, Setzungs- und Porenwasserdruckmessungen).

Die Erdbauverfahren bei organischem Baugrund lassen sich unterteilen in die Austauschverfahren:

- Vollaushub der weichen organischen Schichten je nach Moormächtigkeit und Wasserandrang,
- Teilaushub in Form von Reibungsfüßen oder Drainagestreifen (max. Moortiefe ca. 7 m) als Nassbaggerung oder mit Vorschubkasten,
- Verdrängungsschüttung (nur Neubau),
- Schüttsprengeverfahren (nur Neubau)

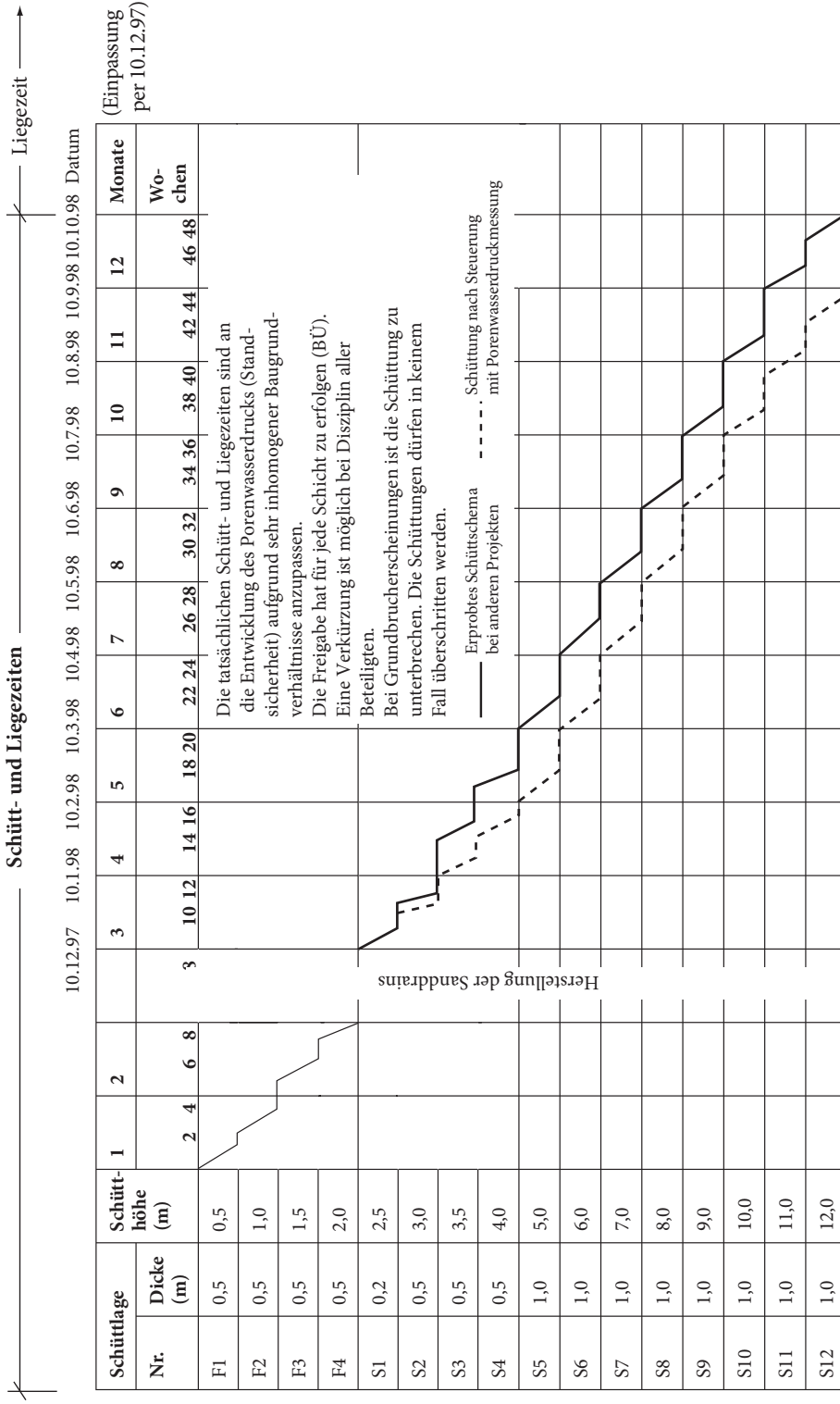
bzw. die Verfahren mit Belassen der weichen Schichten (schwimmender Damm):

- Auflastschüttung,
- Sanddraingründung mit Auflastschüttung (Tab. 4.19).

Als Sonderlösung werden angewandt:

- Moorbrücken,
- Pfahlkonstruktionen mit Geokunststoffbewehrung,
- Fräs-Misch-Injektionsverfahren (FMI-Verfahren).

Tab. 4.19 Beispiel für die Überschlüttung einer Moorfläche mit der Anwendung von vertikalen Sanddrainagen (Schüttchema)



Für Neubauten sind alle Verfahren denkbar, wenn dafür die Bedingungen vor Ort gegeben sind. Bei der Reparatur bzw. Ertüchtigung bestehender Erdbauwerke, die keine Sperrung der Gleise zulassen, haben sich folgende Verfahren wegen ihrer Anpassungsfähigkeit aus den Vorgaben bzw. Grenzen der Unterhaltung der befahrenen Gleise besonders herausgebildet:

- Teilaushub von Reibungsfüßen als Nassbaggerung oder mit Vorschubkasten (Mächtigkeiten bis max. 6 m),
- Sanddrainverfahren mit Auslastschüttungen bei Moortiefen > 6 m.

Andere Verfahren haben bisher bei Anwendung nicht vertretbare Mehrkosten und Betriebsstörungen hervorgerufen.

Der Verfasser kann aufgrund seiner Erfahrungen den Verfahren FMI, pfahlartige Konstruktionen mit geotextilbewehrter Abdeckung, wie sie in der RiL 836 und auch in Abb. 4.108 und 4.109 dargestellt sind, bei Aufrechterhaltung des Eisenbahnbetriebes keine Anwendungsempfehlung für Strecken der Deutschen Bahn in Moorbereichen aussprechen. Die Begründung ist bei der Beschreibung der Verfahren zu finden.

4.4.6.2 Vollaushub der Weichschichten

Nach vorliegender praktischer Erfahrung ist der Vollaushub organischer oder anderer Weichschichten bis 15 m Mächtigkeit bei Neubauten unter Nutzung von Wasserhaltungen möglich. Bei Arbeiten im Reparatur- bzw. Programm von Ertüchtigungsmaßnahmen ist wegen der Empfindlichkeit der schwimmenden Dämme durch ungleichmäßige Setzungen bei Wasserspiegelabsenkungen und die Auswirkung auf die Lagestabilität des Oberbaus ein Vollaushub im Bereich der Verkehrsfläche nicht zu empfehlen. Für Neubaumaßnahmen im Bereich von Moorflächen sind folgende Anwendungen als Bagger-Schüttverfahren möglich (s. auch Abb. 4.81):

- Befahrbarkeit der Moorflächen ist durch die Aufbringung einer Arbeits- und Filterschicht zu ermöglichen (s. Abb. 4.70a, 4.70b); Baggertiefen bis 5 m,
- Baggerstandort auf der Aushubfläche mit Wasserhaltung in der Aushubzone (Söffelpumpe) erlaubt; Baggertiefen bis 7 m,

- Grundwasserabsenkung/Wasserhaltung je nach Baggerstandort bis 10 m,
- Schwimmbaggereinsatz bis 15 m. Als Ergänzungsmaßnahme für das Entfernen zufließender organischer Stoffe ist eine Verdrängungsschüttung von einem mittigen Kerndamm notwendig,
- Verdrängungsschüttungen bei Randlage an Seeufern mit Mächtigkeiten ≥ 10 m [7] wurden mit Erfolg angewandt (Tiefwarensee und Schweriner See),
- Schüttsprengverfahren [7]; Anwendung im Autobahnbau/Eisenbahnbau in den 30er Jahren. Ein Erfolg ist wegen der großen organischen Einschlüsse im Gründungkörper nur bedingt eingetreten (Nachsetzungen, Brucherscheinungen an Schwachpunkten, z. B. westlicher Berliner Außenring) (Abb. 4.82, 4.83 und 4.84).

Bei den genannten Verfahren des Bodenaustausches sind die Qualitätsanforderungen in der Planungsdokumentation festzuschreiben.

Die Ausbildung des Dammfußes zeigt Abb. 4.85.

Bedingt durch die Grauverfärbung in der Grenzzone der Sande und der Mudde ist ein Mehraushub von 0,5 m angeraten. Wenn grauer Talsand im Aushub erkennbar ist, ist die organische Schicht beseitigt.

Der Massenmehraushub in der Baugrubensohle ist im Vertrag zu vereinbaren. Er beträgt je nach Wasserandrang 10 bis 30%.

Der Reibungsschluss im Bereich der Dammfüße und die Menge der Einschlüsse im Schüttkörper sind zu vereinbaren; einen Vorschlag zeigt Abb. 4.86.

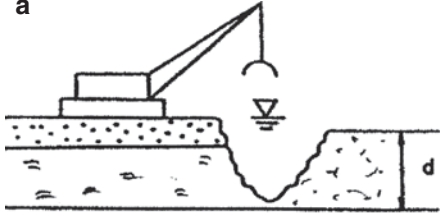
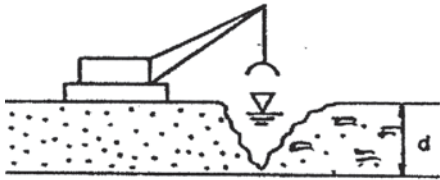
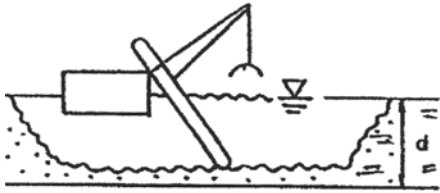
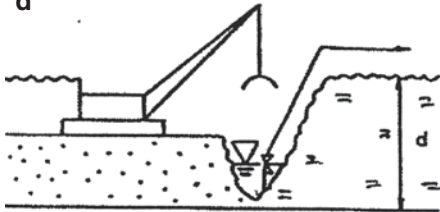
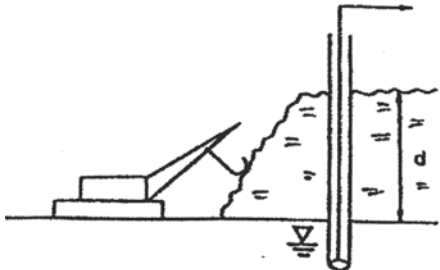
Der Nachweis des Reibungsschlusses und der Dicke der Einschlüsse sollte mit Hilfe von Rammkernsondierungen bis 1 m in den tragfähigen Baugrund geführt werden.

Die Qualität des Verfüllmaterials sollte den Anforderungen nach Abb. 4.74 in jedem Falle genügen.

4.4.6.3 Reibungsfüße

Die Deutsche Reichsbahn hat in Moorgebieten, soweit der Verfasser Einblick in diese Baumaßnahmen hatte, schätzungsweise von 1960 bis

Abb. 4.81 Baggerschüttverfahren – Schwimmbaggereinsatz (Bodenaustauschverfahren)

| | | | |
|--|----------|--|---|
| Voll- bzw. Teilaushub ohne Wasserhaltung | a |  | Bagger mit Greifer/Schaufel auf Arbeitsschicht |
| | b |  | Bagger mit Greifer/Schaufel auf Verfüllung |
| | c |  | Schwimmbagger mit Eimerkette, evtl. Greifer/Schaufel |
| Voll- bzw. Teilaushub mit Wasserhaltung | d |  | offene Wasserhaltung Bagger mit Greifer/Schaufel auf Teilverfüllung |
| | e |  | Vollaushub bei Grundwasserabsenkung, Bagger mit Hochlöffel auf tragfähigem Baugrund |

unmaßstäblich

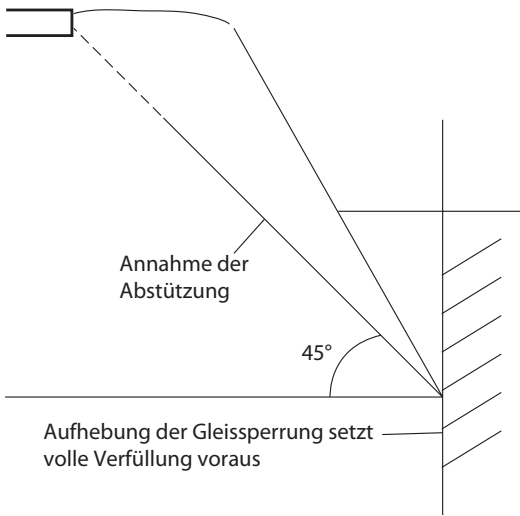


Abb. 4.82 Systemskizze für Aushubarbeiten am zeitweilig gesperrten Gleis



Abb. 4.83 Baggararbeiten am Dammfuß der zweigleisigen Strecke BAR 11/92 mit Sperrung des zugewandten Gleises

1990 mindestens 150 km Bahnstrecke mit Reibungsfüßen stabilisiert. Die Anwendungsgrenzen lagen bei etwa 5 m Moormächtigkeit. Nach RiL 836 ist die Herstellung von Reibungsfüßen nicht

besonders erwähnt, wäre aber dem Bodenaustauschverfahren zuzuordnen. Dieses Verfahren gilt als Stand der Technik. Eine Regelausbildung verschiedener Anwendungen im Norden Deutschlands zeigt Abb. 4.87. Wesentlich ist, dass der Reibungsfuß als Stütze des Böschungsfußes wirkt und die Druckausbreitungslinie bei Arbeiten am nicht gesperrten Gleis nicht unterschneidet.

Reibungsfüße werden i. d. R dann angewandt, wenn

- die rechnerische Standsicherheit des Erdbauwerkes nicht gewährleistet ist,
- Setzungsfließen befürchtet werden muss,
- die Setzungen eine weitgehende Konsolidierung der organischen Schichten im Dammszentrum, nicht aber auf dem Randweg und der Böschung anzeigen, dennoch aber schleichende Setzungen in Folge fehlender horizontaler Filterstabilität, insbesondere zu feuchten Jahreszeiten entstehen (s. Abb. 4.75 und 4.77),
- Geschwindigkeitserhöhungen geplant sind, die zu einer Verstärkung andauernder Setzungen führen würden,
- die Schwingstabilität nicht gegeben ist,
- die elastischen Verformungen für den Oberbau zu hoch sind,
- die Moormächtigkeit ≤ 5 m beträgt.

Im Grunde genommen handelt es sich bei der Anlage von Reibungsfüßen um einen Teilaushub im Bereich der schwimmenden Gründung des Erdbauwerkes. In der Regel wird der Reibungsfuß bei organischen, tonigen Böden beidseitig angelegt, weil damit folgende Effekte sichergestellt werden:

- gleichmäßiges Ausklingen der Restsetzungen, insbesondere der Schichtteile im Bereich des weniger konsolidierten Böschungsfußes und damit Vermeidung der für einen Verkehrsweg kritischen Verdillungen der Gleise,
- Abbau des sich unter dem Verkehr ausbildenden Porenwasserdrucks einschließlich der Absenkung des erhöhten Kapillarsaumes,
- Harmonisierung verschiedener Wasserstände entlang der Trasse,
- der Fahrbetrieb kann je nach Wahl der Technologie mit verminderter Geschwindigkeit oder nur kurzzeitiger Sperrung (tiefere Rinnen > 5 m) gewährleistet werden,

Abb. 4.84 Nicht ausgesprengte Moor-rinnen (1964) führen zu unterschiedlichen Setzungen am Gleis und zu Geschwindigkeitsbegrenzungen

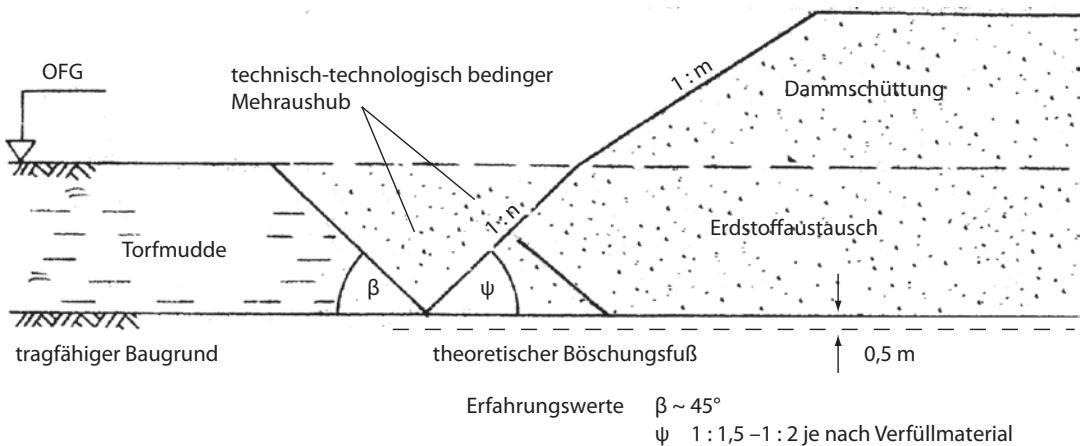


Abb. 4.85 Ausbildung des Dammfußes beim Bagger-Schüttverfahren

- im Endzustand wird die Standsicherheit garantiert. Mit einem wirksamen Überwachungssystem können die kritischen Bauzustände in der Bauphase beherrscht werden.

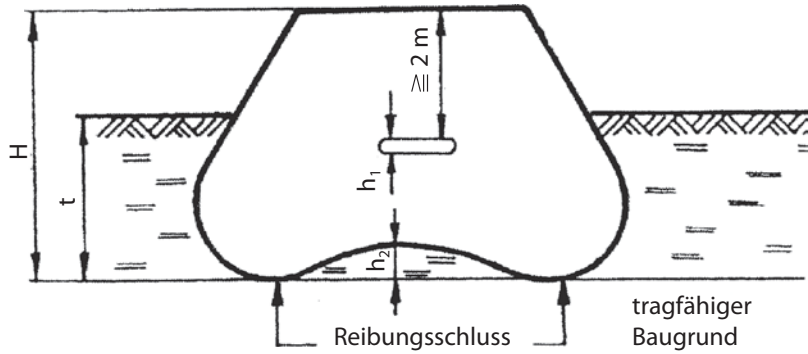
Die Ausbildung des Reibungsfußes ist abhängig vom Verfahren des Bodenaustausches, wie

- Vorschubkasten,
- Spundwandkasten,
- Nassbaggerung.

Die konstruktive Ausbildung des Böschungsfußes muss folgende Gesichtspunkte gewährleisten (s. Abb. 4.87):

- Aus der Standsicherheitsberechnung ergibt sich die Breite des Reibungsfußes und die notwendige Materialqualität (s. Abb. 4.74; Tab. 4.14).
- Die größte Wirksamkeit des Reibungsfußes wird erreicht, je mehr er unter die bestehende Böschung geschoben werden kann. Wenn der Fahrbetrieb auf dem Erdbauwerk gewährleistet werden muss, so darf die Druckausbreitungslinie nach Abb. 4.87 während des Aushubs nicht unterschritten werden. Andererseits muss die sog. Stützl意思 der Altböschung im Austauschbereich liegen (1: 1,5 bis 1: 2).
- Die rechnerisch nach den Bedingungen des elastisch-isotropen Halbraumes ermittelte Gleitlinie (Abb. 4.87) ist nicht immer iden-

Abb. 4.86 Zulässige Einschlüsse organischer Böden nach. [3]



- t = Mächtigkeit der organischen Schicht
- H = Höhe der Verfüllung + Dammhöhe
- h = Summe aller Einschlüsse organischer Lockergesteine
- $h = h_1 + h_2 \dots h_n \leq h_{zul}$ in einer Schnittebene $\leq 0,1 H$

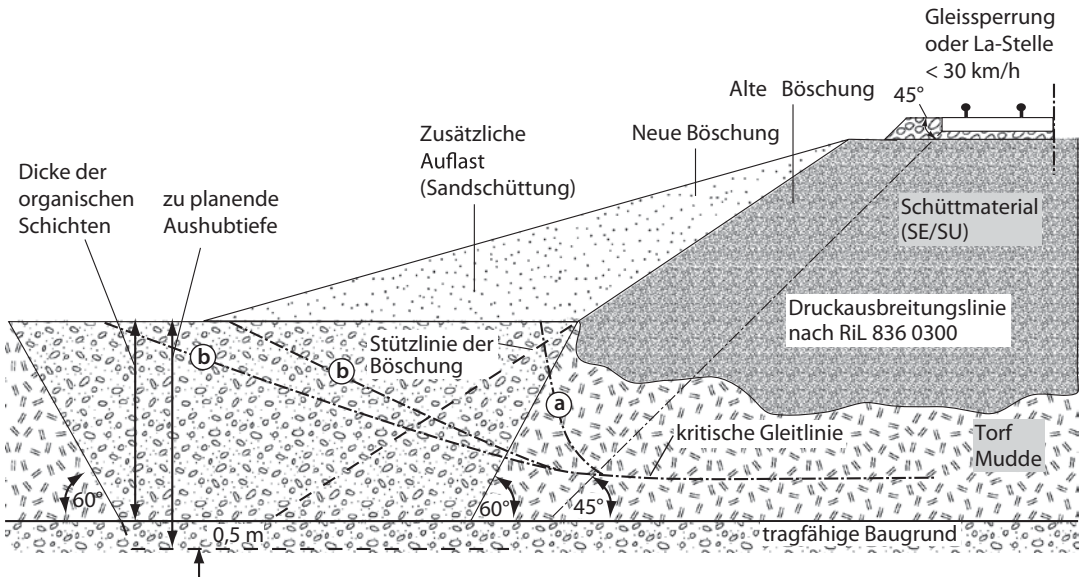


Abb. 4.87 Herstellung eines Reibungsfußes bei Schotteroberbau. **a** Austritt der kritischen Gleitlinie bei Fehlen der zusätzlichen Auflast nach Vibrationswirkungen, **b** Rechnerischer Verlauf der Gleitlinie

tisch mit der im Schadensfall. Die wirkliche Gleitlinie wird beim visko-plastischen Zustand der organischen Schichten den kürzesten Weg durch den Reibungsfuß suchen. Deshalb wird die bessere Einbindung des Reibungsfußes in das Erdbauwerk durch eine zusätzliche Auflastschüttung erreicht. Diese erhöht nicht nur die Standsicherheit, sondern auch die Schwingstabilität durch die gewachsene Steifigkeit (Trägheit des Erdbauwerkes).

- Die durch eine umfassende Erkundung ermittelte Aushubkubatur muss um einen Mehrbetrag von 0,50 m an der Sohle des Reibungsfußes vergrößert werden. Diese Notwendigkeit ergibt sich aus der visuellen Überwachung des Mooraushubs. Erst wenn der unmittelbar unter den Torfen oder der Mudde anstehende „graue Talsand“ vom Bagger gefördert wird, gilt der Aushub an dieser Stelle als erreicht.

- Der Aushub der organischen Böden kann bei den genannten Anwendungen (überwiegend Torfe) mit einem Winkel von 60° für die Baugrube in den Anschlussbereichen kurzzeitig abgebösch werden.

Besondere Aufmerksamkeit erfordert die Bauausführung bei einer Nassbaggerung (Globalsicherheitskonzept). Die rechnerische Sicherheit sinkt beim Unterschneiden der Böschung unter einen Wert von $\eta < 1$. Theoretisch ist dieser Fall nicht zulässig. Hier muss die Erfahrung die Wege aufzeigen. Dies beginnt mit einer gut geplanten Technologie. Hier ist die Trägheit von Boden und Wasser durch Schnelligkeit und Zuverlässigkeit der Abläufe beim Aushub und Verfüllvorgang zu nutzen.

Danach haben sich folgende Prinzipien entwickelt (s. Abb. 4.88):

- Der Aushub erfolgt stets gegen die Gleitlinie, also von außen nach innen in schmaler Baugrube (s. Abb. 4.89).
- Es wird in einem ersten Schritt nur der Teil der Baugrube ausgehoben, der oberhalb des Wasserspiegels liegt.
- Bei Auftrieb oder gespanntem Wasser unter der Sohle wird im zweiten Schnitt nur knapp über der Aushubsohle ($-0,5$ m) abgetragen.
- Erst dann wird die Sohle beräumt und unverzüglich die Wiederverfüllung mit vorgehaltenem Material nach Abb. 4.74 vorgenommen. Das aufströmende Wasser kann sich entspannen, ohne dass sich ein hydraulischer Bruch ergibt, d. h. die Auflockerung der Sohle erfolgt nicht.
- Bei Arbeitsunterbrechung ist die Baugrube (Schlitz) zu schließen.

Diese Maßnahmen erfordern ein diszipliniertes Handeln aller Beteiligten. Da aber ein kleiner Bruch wegen vorher nicht erkennbarer Inhomogenität von vornherein nicht ausgeschlossen werden kann, müssen Möglichkeiten für das rechtzeitige Erkennen einer solchen Situation geschaffen werden. Ein Überwachungssystem nach Schema (s. Abb. 4.89), welches von einem erfahrenen Geotechniker im Auftrag des Auftraggebers und ebensolchen erfahrenen Aufsichtskräften des Auftragnehmers örtlich praktiziert wird, hat sich an mindestens 15 Anwendungen bei der Bahn bewährt:

- Setzungsmessungen an Setzungspegeln deuten durch Zunahme der Setzungsgeschwin-

digkeit an, wo sich ein solcher Schwachpunkt entwickelt oder wie er sich entspannt.

- Sandbänder zeigen Brüche oder starke Setzungen einschließlich der Bewegungsrichtungen durch Einzelrisse, Stafferisse oder Abrisse an.
- Senkrecht und in Längsrichtung ausgerichtete Fluchtstangen deuten horizontale Verschiebungen an.

Aus den genannten Vorwarnungen kann man notfalls durch sofortiges Verfüllen mit bereit liegenden Ersatzmassen die Gefahr eines größeren Abbruchs verhindern. Die in einem sog. Überwachungsprojekt zusammengestellten Maßnahmen und Handlungen enthalten auch Festlegungen zu:

- Verhalten bei einer Havarie, Sperrmaßnahmen und die zur Verfügung stehenden Informationssysteme,
- Einleitung von Sanierungsmaßnahmen am Erdbauwerk bzw. am Oberbau der Fahrbahn, wenn diese betroffen sind.

Natürlich sind diese Festlegungen mit allen Beteiligten im Voraus abzustimmen und müssen die Genehmigung der für die Sicherheit verantwortlichen Stellen vor Beginn der Bauarbeiten beinhalten.

Beispiel mit Ergebnissen Bei einem praktischen Beispiel, Strecke Berlin–Cottbus, wurden die Auswirkungen des Einsatzes eines Vorschubkastens in den Jahren 2003/2004 im Ergebnis der Setzungsmessungen auf dem Randweg bei Moortiefen von $\leq 5,50$ m Setzungen von max. 20 mm im Zeitraum von fünf Monaten gemessen (s. Abb. 4.90). Seit dieser Zeit sind die Setzungen am Gleis abgeklungen. Zuwächse liegen im Bereich der Messgenauigkeit, d. h., die Anordnung von Reibungsfüßen hat die schleichenden Setzungen vor der Sanierung (ca. 20 mm/Jahr) beseitigt. Die Standsicherheit ist gewährleistet.

In den Jahren 1995/1996 erfolgte der Einsatz des Vorschubkastens (VMG) an der Strecke Berlin–Hamburg zwischen den Stationen Nauen und Berger Damm (km 36 bis 43) an beiden Gleisen (s. Abb. 4.91). Die Moormächtigkeit wechselte zwischen 3 bis 6 m. Mit Hilfe der Schwerter konnte der Vollaushub auch an den Moorstrecken mit 5 bis 6 m, die als kurze Rinnen zu überwinden waren, erfolgen.

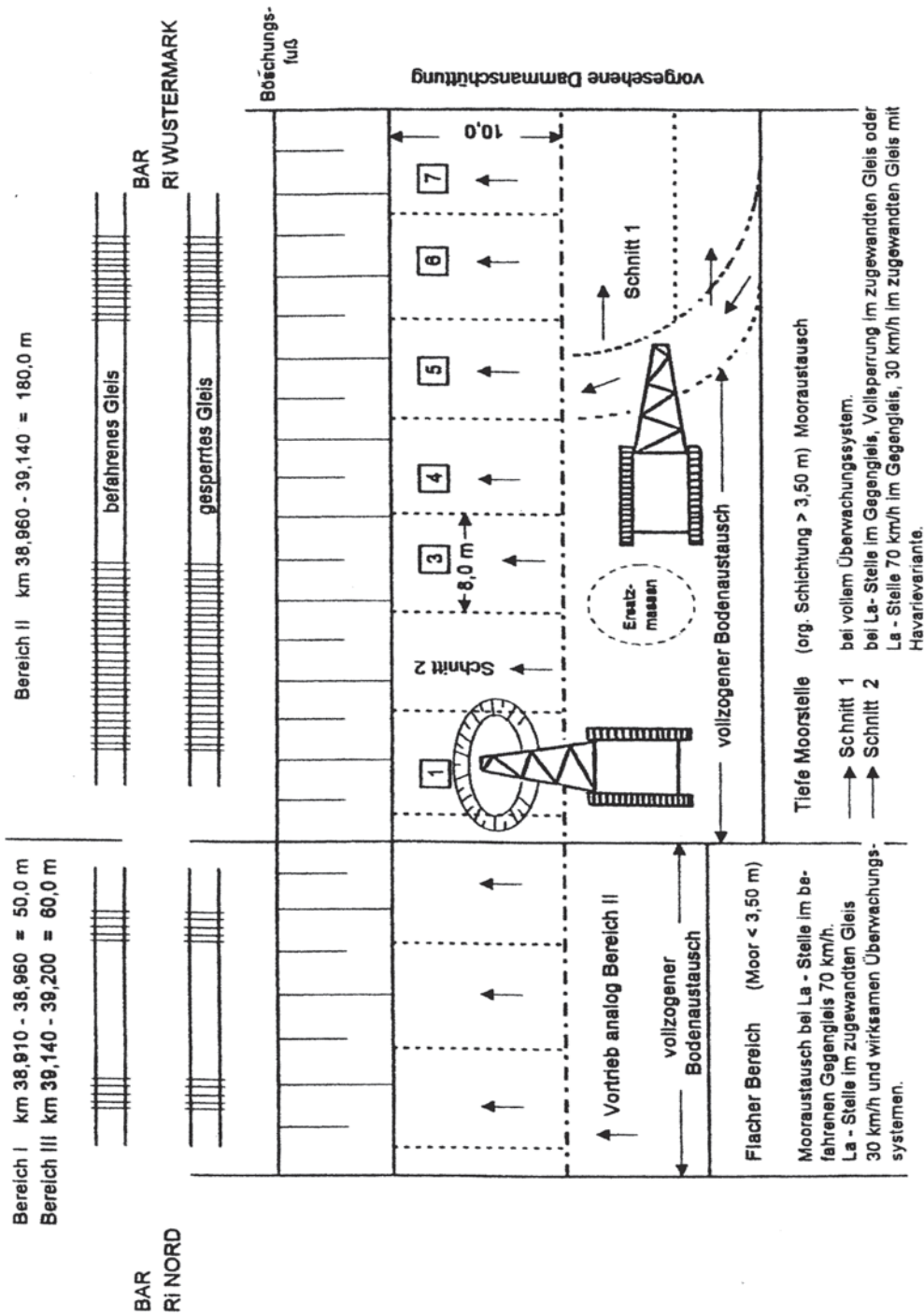


Abb. 4.88 Vorschlag für Ablauf der Baggerarbeiten am Dammfuß (Prinzipskizze)

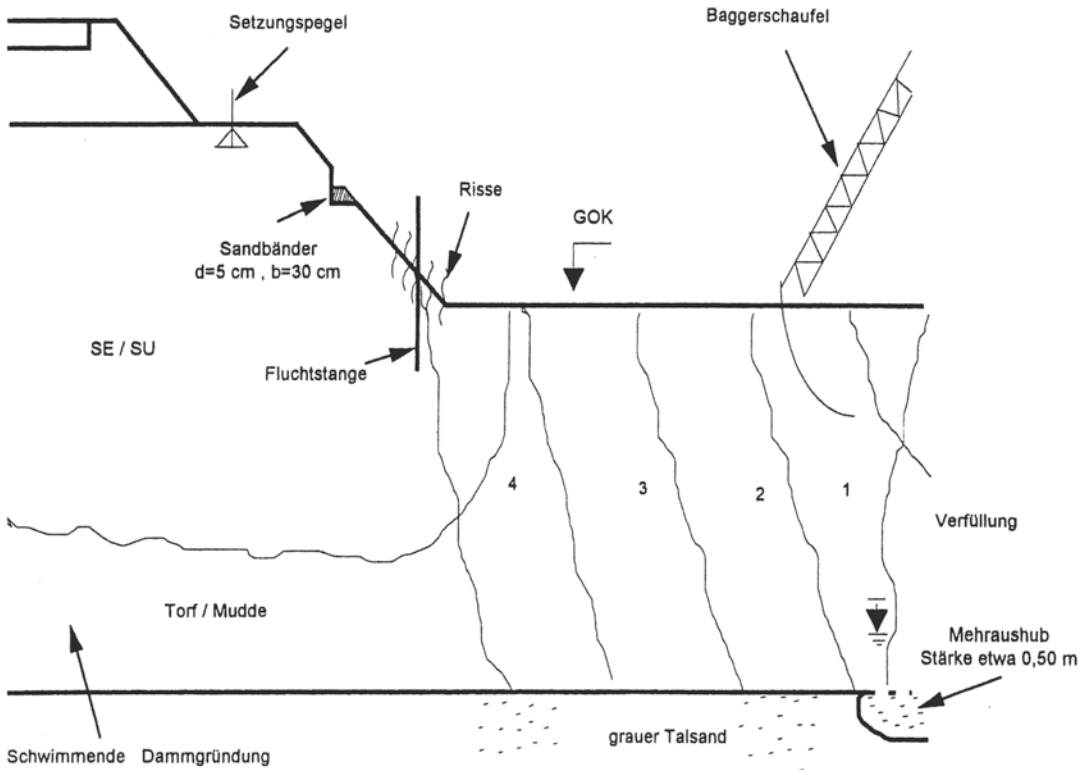


Abb. 4.89 Anordnung der Kontrollsysteme beim Bodenaustausch im Nassbaggerverfahren

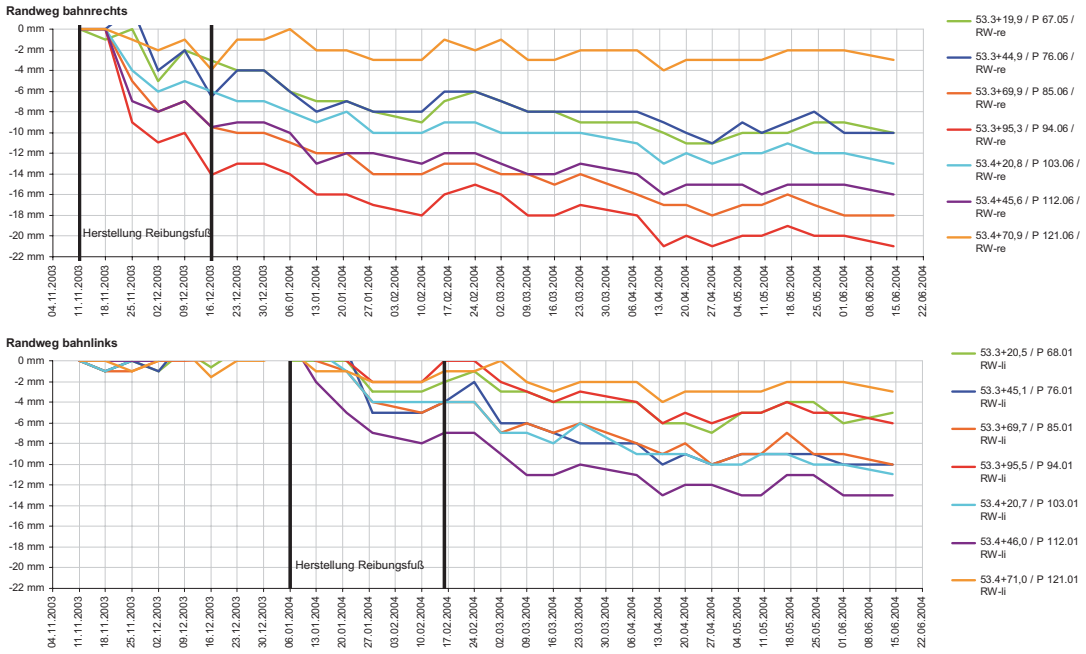


Abb. 4.90 Zeit-Setzungslinien am Reibungsfuß

Abb. 4.91 Mooraus-
tausch im Bahnkörper mit
Vorschubkasten



Der Einsatz des Vorschubkastens verlief ohne Komplikation. Die Qualität ist durch eine einwandfreie Gleislage über mehr als 10 Jahre auch nach Steigerung der Zuggeschwindigkeit auf 230 km/h überzeugend. Interessant ist dabei ein Vergleich mit der Lösung Rüttelstopfsäulen mit Geotextilabdeckung, die im Nachbarabschnitt im großen Umfang bei gleichen geologischen Bedingungen angewandt wurde [9]. Schon drei Jahre nach den Sanierungsmaßnahmen gab es Probleme in der Gleislage und zunehmend elastisch plastische Verformungen. Der Ausbau einer

Vielzahl der Säulen erfolgte bereits in den Jahren 2002 bis 2004 (s. auch Abschn. 4.4.6.8)

An der Strecke Berlin–Hamburg im Bereich Schwanheide, km 233, war die Herstellung eines Reibungsfußes an beiden Gleisseiten vorgesehen. Die Moormächtigkeit betrug 3 bis 6 m. Zum Schutz der Dammgründung sollte eine Spundwand in der Bauphase in Teilabschnitten eingebaut werden. Zum Einsatz kam eine Vibrationsramme. Nach Austausch des Bodens wurde die Spundwand wieder mit Vibration gezogen, s. Abb. 4.92.

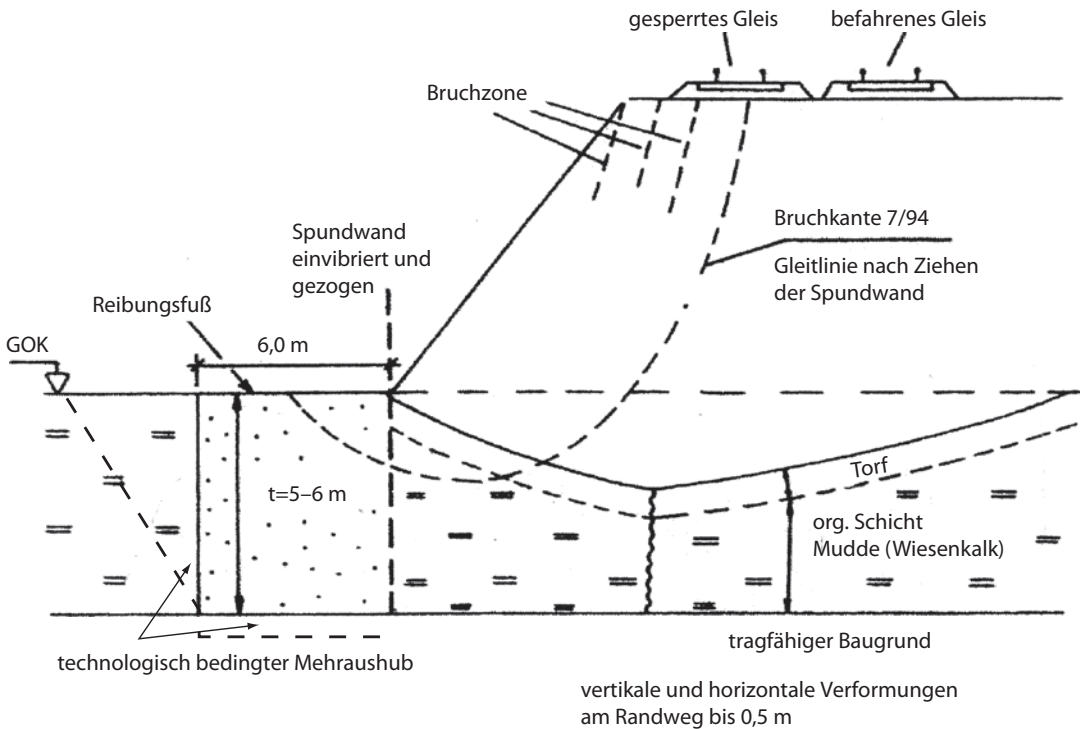


Abb. 4.92 Schaden bei Reibungsfußherstellung durch Dammfußsicherung mit Spundwand und Einsatz einer Vibrationsramme

Während dieser Arbeit zeigten sich bereits Risse in Böschung und Randweg des Bahndammes. Nach dem Ziehen der Spundwand entwickelte sich ein Bruch mit mehreren Phasen bis zum Abriss des Bahnkörpers in Gleismitte. Das gesperrte Gleis hing in der Luft.

Das Gleis wurde erst ein Jahr später wieder befahren, die La im befahrenen Gleis dauerte mehr als ein Jahr. Ursache des enormen Schadens war die Verflüssigung der organischen Stoffe (Mudde/zersetzte Torfe) in Folge der durch Vibration erzeugten kritischen Porenwasserüberdrücke. Zur Sanierung wurde der Querschnitt nach Abb. 4.93 ausgebildet.

Die Befahrung erfolgt jetzt mit 240 km/h. Der Damm zeigt ein stabiles und weitgehend schwingungsfreies Verhalten.

Die Querschnittsausbildung nach Abb. 4.94 ist bei weiteren Moorstellen mit Erfolg angewandt worden. Wesentlich dabei ist die Durchsetzung eines Überwachungsprogramms durch versierte

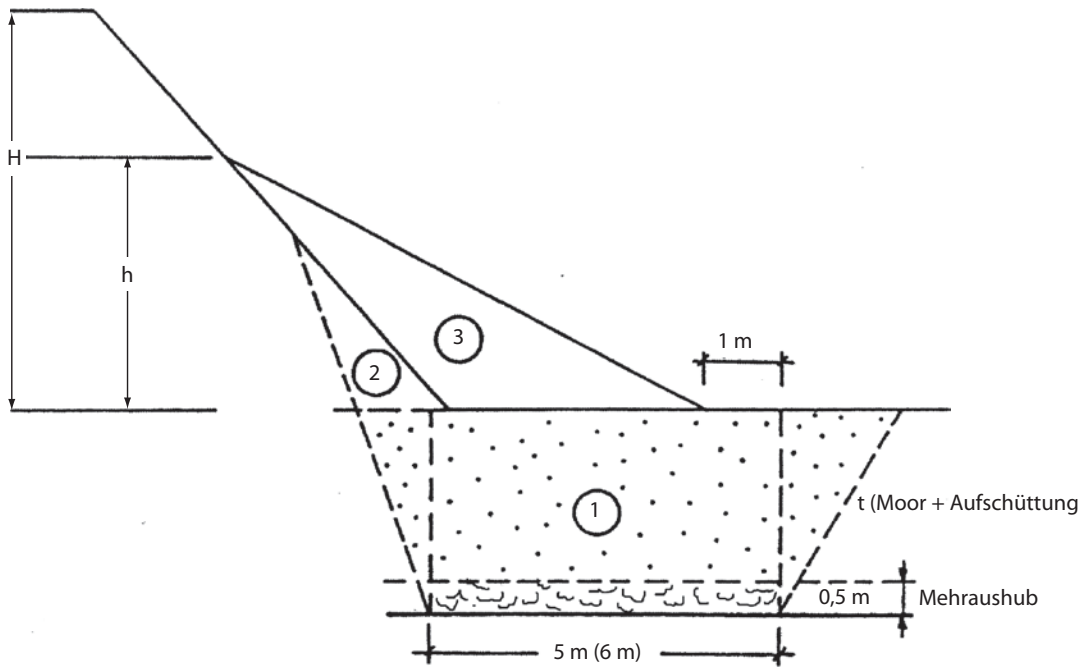
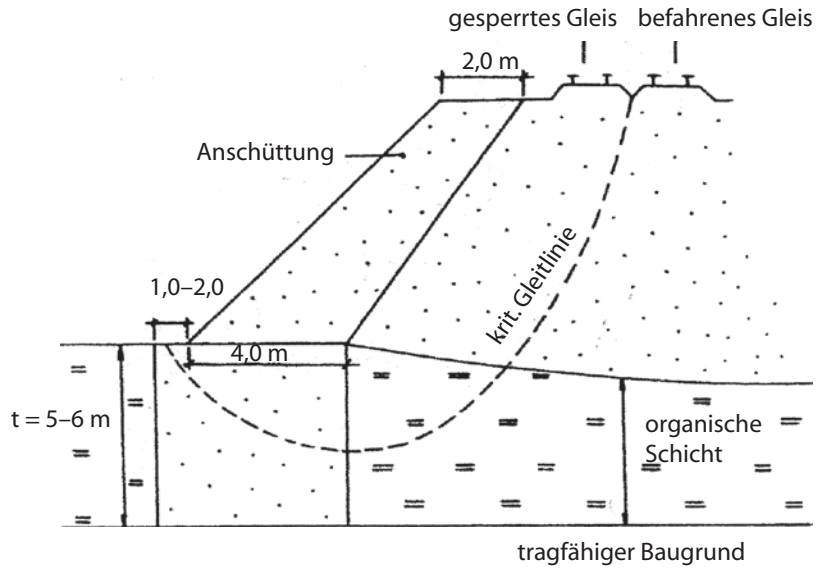
Fachkräfte nach dem in Abb. 4.89 dargestellten Kontrollsystem.

4.4.6.4 Kasten- oder Rohraustauschverfahren

Hierbei handelt es sich um den punktuellen Austausch einer Weichschicht durch Stahlrohre (\varnothing 1,20 m bis 1,50 m) oder Stahlkästen. Die Rohre werden durch starke Vibratoren bis zum tragfähigen Baugrund eingetrieben. Die meist organischen Schichten werden durch entsprechende Schalengreifer ausgeräumt und danach mit durchlässigen verdichtbaren Böden verfüllt. Durch Reihung dieses Vorgangs kann über eine große Fläche der Bodenaustausch vollzogen werden, s. Abb. 4.95.

Problematisch ist der Moment, wenn mit dem Entfernen der Grenzschicht zum tragfähigen, meist durchlässigen Baugrund das gespannte Wasser in das Rohr unter Mitnahme von Bodenschlagartig eindringt und dabei einen hydraulischen Bruch auslösen kann. Deshalb muss die

Abb. 4.93 Profilausbildung nach Abschluss der Sanierungsarbeiten



Zustand nach dem jeweiligen Ende der Aushubarbeiten (flacher Moorabschnitt)

- Verfüllfolge ① bei den Baggararbeiten
 ② nach Baggardurchlauf
 ③ für Endzustand

$h = \frac{1}{2}$ Dammhöhe H

Abb. 4.94 Bemessungsvorschlag für die Ausbildung von Reibungsfüßen durch Nassbaggerung in Moorbereichen bei $t \leq 2,50$ m Moormächtigkeit $La V_B = 30$ km/h bei $t 2,50-5,0$ m Moormächtigkeit – Gleissperrung

Abb. 4.95 Bodenaustausch mit Stahlrohren



Verfüllung des Rohres schnellstens mit durchlässigem Kiessand erfolgen, damit sich das Wasser entspannen kann und der Bodenverlust im Untergrund verhindert wird. Letzterer ist andernfalls die Ursache von Setzungen bzw. Ausspülungen am Erdbauwerk. Diese Austauschverfahren sind bezüglich der Bautechnologie gut in den Einzelementen entwickelt, d. h. technisch perfekt. Probleme machen jedoch die starken Vibratoren, mit denen die Rohre/Kästen eingetrieben und wieder gezogen werden müssen, durch ihre Nebenwirkungen. Die zersetzten Torfe und die Mudden in der Nachbarschaft reagieren durch Porenwasserdruckanstiege und neigen zur Verflüssigung. Es gibt bedauerlicherweise Beispiele für Vollsperrungen des Bahnbetriebes bei Anwendung dieses Verfahrens, nach dem ein Gleis in Folge bruchartiger Absackungen des Unterbaus nicht mehr befahrbar war. Das Komplizierte daran ist, dass eine solche Gefahrenstelle nicht durch Nachschottern allein zu beheben ist, sondern auch Gegenschüttungen am Dammfuß im Mooregebiet erforderlich macht, die aber viel Zeit bis zur Wirksamkeit kosten. Von einer Anwendung für den Bodenaustausch an einem im Betrieb befindlichen Bahnkörper bzw. im Bereich des beräumten Bahnkörpers wird abgeraten. Für die Anwendung ist laut RiL 836 eine Zulassung beim EBA zu beantragen.

4.4.6.5 Anschütten von Bermen und Auflastschüttung

Schwimmend gegründete Bahndämme zeigen i.d. R Setzungen und horizontale Verformungen (s. Abb. 4.76). Zur Sanierung bzw. Behebung kleinerer Bruchstellen wurden in den letzten 100 Jahren häufig Gegengewichtsbermen hergestellt. Dabei gab es z. T. wegen fehlerhafter Schüttvorgänge eine Häufung der bisherigen Nachteile (Setzungsvergrößerung und Brucherscheinungen, s. auch Abschn. 4.4.4). Dennoch findet man im Streckennetz zahlreiche Anwendungen. Heute wird dieses Verfahren aus Gründen der Beschleunigung der Setzungen und der Standsicherheit nur noch in Kombination mit Sanddrains oder ähnlichen Entwässerungselementen angewandt. Das Kernproblem ist, dass der Austrieb des Wassers anfangs nur über die Arbeits-/Filterschicht erfolgen kann. Der von der Schüttung verursachte Porenwasserdruck baut sich bedingt durch die sehr geringe vertikale Durchlässigkeit der organischen Schichten nur sehr langsam ab. Dies bedeutet für die Bauausführung:

- relativ langsame Schüttung mit geringer Dicke der Schüttlage $< 0,50$ m über der Arbeits- und Filterschicht, um Grundbrüche zu verhindern,

- Ruhezeit bis ca. vier Wochen vom Aufbau der nächsten Schüttlage,
- lang anhaltende Setzungen in der Nutzungsphase,
- die Liegezeit gegenüber Sanddrains verdoppelt sich (1½ Jahre),
- Mehrmassen für die zeitweilige Überschüttung sind notwendig, um gleiche Effekte wie bei den Sanddrains zu erreichen.

Am folgenden Beispiel soll die große Gefahr eines Grundbruchs mit Auswirkungen aufgezeigt werden.

Grundbruch eines schwimmendes Dammes für den Gleisanschluss Neubrandenburg Dezember 1978 – Moorstelle Datzeniederung.

Situation Es sollte ein Gleisanschluss durch das Mooregebiet hergestellt werden, der für den Zugbetrieb mit einer Geschwindigkeit $V_B < 30$ km/h ausgelegt ist. In einem Bereich > 5 m mit organischer Schichtung sollte durch Schütten in Lagen von 0,5 m nach einem vorgegebenen Schüttschema ein Erdbauwerk als schwimmender Damm auf ca. 300 m Länge entstehen. Die maximale Mächtigkeit der organischen Schichtungen betrug 20,6 m (3 m Torfe, Kalkmudden bis 18 m). Der Baugrundgutachter hatte – als Vorzugsvariante – eine Sanddraingründung oder bei Inkaufnahme langanhaltender Setzungen eine Überschüttung der Moorstelle in beiden Fällen mit zeitweisigem Mehrmassenauftrag zur Beschleunigung der Setzungen vorgeschlagen. Andere Varianten, wie das Einsprengen des Dammes, wurden von den Behörden untersagt. Um im Endzustand eine Aufschüttung 2 m über Gelände zu sichern, damit die Standsicherheit gewährleistet wird, waren am Tiefstpunkt der Strecke folgende Aufschüttungen vorgesehen:

- 2 m Dammhöhe – Breite 10 m,
- 4 m Setzungsausgleich,
- 2 m Ersatzlast für Fahrverkehr,
- 2 m zeitweilige Überschüttung zur Setzungsbeschleunigung,
- 10 m Gesamtschüttung,
- 4 m waren nach Beendigung der Maßnahmen abzutragen.

Die Breite der seitlichen Berme wurde mit max. 20 m zur Sicherung der Standsicherheit $\eta \geq 1,1$ im

Bauzustand festgelegt. Der Schüttprozess war so konzipiert, dass die entstehenden Porenwasserüberdrücke max. 60% der Belastung ausmachen. Die Entwicklung der Setzungen und Verschiebungen wurden durch ein Netz von Setzungspiegeln und Holzpflocken als Zwischenpunkte ständig kontrolliert. Der Baubetrieb hielt sich an die vertraglichen Vereinbarungen, d. h. auch an die Vorgaben zum Schüttprozess. Ein Ende der Aufschüttung war für Dezember 1978 vorgesehen. Ein Rückstand im Schüttprozess im Bereich der tiefsten Moorstelle war schon im November erkennbar. Ohne sich über die Konsequenzen klar zu sein und ohne vorherige Verständigung mit dem Auftraggeber, wurden in vier Wochen ca. 2,50 m Schüttung aufgebracht, wobei die Aufschüttung im Dezember in wenigen Tagen 2 m betrug. Die Folge war ein Grundbruch auf einer Länge von ca. 100 m mit folgenden Wirkungen (s. Abb. 4.96):

- Einsinken der Dammkubatur um ca. 5 m in den Untergrund, wobei die homogene Struktur des Erdbauwerkes durch zahlreiche Risse völlig zerstört wurde,
- die Böschungsflächen sind tief aufgerissen,
- im Bereich der Bermen kam es zu Hebungen bis 0,8 m und im nicht überschüttetem Vorfeld zu Hebungen des Moores bis zu 1,5 m,
- die Kontinuität des Setzungsverlaufes war völlig zerstört und die Schüttung war nicht mehr durch Baufahrzeuge befahrbar,
- die Inbetriebnahme des Gleisanschlusses war völlig in Frage gestellt.

Sanierung Der Auftraggeber konnte aufgrund dieser Situation dennoch nicht auf den Gleisanschluss verzichten (Priorität des Bahntransports bei Massengütern). Eine Expertenkommission legte dem Auftraggeber folgendes Konzept vor:

- Baupause im Bruchbereich von mindestens sechs Monaten, um den Abbau des Porenwasserdrucks zu ermöglichen,
- Aufnahme der Geometrie nach dem Bruch durch eine neuerliche Erkundung,
- Festlegung der Schüttungen in einem Ergänzungsgutachten.

Im Ergebnis der Untersuchungen wurden die Bauarbeiten nach neunmonatiger Unterbrechung mit folgenden Arbeitsschritten wieder aufgenommen:

Abb. 4.96 Grundbruch einer Moorüberschüttung bei ca. 7 m erreichter Dammhöhe



- die Fläche wird im gesamten Bruchbereich planiert,
- Aufbau eines Erdkörpers in Schüttlagen von 0,5 m über die Dammbreite in Höhe von 3 m. Beidseitig 10 m wird eine Aufschüttung von 1 m geplant. Die Schüttgeschwindigkeit wird in Abhängigkeit von den gemessenen Setzungsgeschwindigkeiten $V_S \leq 200$ mm/Monat gesteuert. In letzter Konsequenz wird eine Schüttlage von 50 cm in einem Zeitraum von vier Wochen aufgetragen (Schüttzeit 6 Monate),
- Die Setzungsprognose lässt ein Abschieben von 1 m nach einer weiteren Liegezeit von sechs Monaten zu,
- Das Gleis wird in einer Kiesbettung verlegt. Der Austausch gegen Schotter erfolgt erst nach 2-jähriger Nutzung. Die Mehraufwendungen, die durch die Nachsetzungen entstehen, werden vom Auftraggeber getragen (ständige Stopf- und Richtarbeiten).

Der Gleisanschluss konnte mit einer 2-jährigen Verzögerung in Betrieb genommen werden.

Schadensursache Hauptursache ist ein Verknennen der Zusammenhänge zwischen der errechneten Standsicherheit und der tatsächlichen Entwicklung des Porenwasserdrucks, durch den der Reibungsanteil herabgesetzt wurde. Die Not-

wendigkeit der strikten Einhaltung eines Schüttschemas bis zum Ende der Bauarbeiten wurde nicht mit dem nötigen Nachdruck bei AG und AN umgesetzt. Die Kontrolle ist im entscheidenden Moment nicht durchgeführt worden.

Der AG traf zwei Entscheidungen, die das Risiko erhöhten. Er entschied sich für eine Gründung ohne Sanddrains und verzichtete auf eine Porenwasserdruckkontrolle in situ. Die scheinbar eingesparten Mittel machen nur $\frac{1}{4}$ der notwendigen Mehraufwendungen nach dem Bruch aus – die entstandenen Mehrkosten, bedingt durch die verspätete Inbetriebnahme, wurden dabei nicht berücksichtigt.

Der Baubetrieb und das planende Ingenieurbüro verfügten über nicht ausreichende Erfahrungen zur Bewältigung der Arbeiten unter solch komplizierten Bedingungen.

4.4.6.6 Sanddrains mit Auflastschüttung

Wächst die Moormächtigkeit bei der Sanierung schwimmender Bahndämme über 5 m hinaus, wird die Auswahl eines geeigneten Verfahrens sehr begrenzt. Diese werden weiter eingeschränkt, wenn der Bahnbetrieb in der Bauzeit weitergeführt werden soll. Als erdbautechnische Lösung hat sich nach Erfahrungen des Verfassers nur das Sanddrainverfahren mit entsprechenden Aufschüttungen seitlich des

Tab. 4.20 Übersicht realisierter Sanddraingründungen, Teil 1

| Bauvorhaben | Realisierung | organische Mächtigkeit [m] | maximale Aufschüttung [m] | maximale Setzungen [m] | zulässige Zuggeschwindigkeit | |
|---|--------------|--|---------------------------|--------------------------------|------------------------------|-------------------------|
| | | | | | vor Bauarbeiten [km/h] | nach Baumaßnahme [km/h] |
| Str. Berlin-Rostock Laage Nord und Süd km 90.670–91.870 | 1963–1966 | 4–22,5 Torf ≤ 5 Mudde ≤ 17,5 Querneigung tragfähiger Baugrund | 11,5 | 4,25 | – | 120 |
| Str. Berlin-Rostock UW Neustrelitz Neubau Flächenstabilisierung | 1968–1971 | 4–13 Torf ≤ 4,5 Mudde ≤ 7,5 | 9,0 | 4,7 | – | – |
| Str. Berlin-Stralsund Peenebrücke km 174.4–174.8 | 1971–1974 | 4–7 Torf ≤ 3 Mudde ≤ 4 | 6,0 | 3,3 | 120 | 120 |
| Str. Berlin-Dresden Moorstelle Neuhof km 40.9–42.0 Dammsanierung beidseitig | 1972–1976 | 3–7 Torf ≤ 3,5 Mudde ≤ 6,5 Querneigung tragfähiger Baugrund | 5,5 | Berme 3,3 Randweg 0,7 | 30–60 | 140 |
| Großversuch Crivitz OU Crivitz Herstellung Sanddrains 20 m | 1971–1975 | 21,5 Torf ≤ 6 Mudde ≤ 15 | 2,50 | 1,0–1,3 | – | – |

Bahnkörpers zur Beschleunigung der Setzungen als die anpassungsfähigste und gleichzeitig verträglichste Lösung bei Aufrechterhaltung des Eisenbahnbetriebes entwickelt. Eine Übersicht der bekannten und realisierten Objekte zeigt Tab. 4.20 und 4.21.

Anwendungsbeispiele zeigen Abb. 4.97 und 4.98.

Die Empfehlung zur Anwendung der genannten Verfahrensweise wird gegeben, weil

- die Durchführung des Bahnbetriebes gesichert werden kann,
- die Inhomogenität der Baugrundsichten bezüglich der Materialunterschiede und zum Teil abrupt wechselnde Moormächtigkeiten so am besten stabilisiert werden können,
- die Anpassung bzw. Anschüttung an bestehende Verkehrsbauwerke in der Bauphase bei deren gleichzeitiger Stabilisierung eines Gründungsschadens realisiert wird und Korrekturen möglich sind,
- eine systematische Erhöhung der Standsicherheit im Laufe der Baumaßnahme und eine Steuerung des Setzungsverlaufs erfol-

gen kann. Die Anfangsstandsicherheit liegt bei $\eta=1$ (Globalsicherheitskonzept). Sie darf durch das Bauverfahren nicht weiter herabgesetzt werden,

- eine Herstellung kostengünstig und als erdbautechnische Lösung realisiert wird.

Sanddrains sind senkrecht eingebrachte Sandsäulen aus durchlässigen Kiessanden, die eine radiale Aufnahme des Wassers aus den zu konsolidierenden weichen Bodenschichten ermöglichen und in entsprechende Filterschichten abführen. Die Drains müssen in den tragfähigen Baugrund und in die Filterschicht dauerhaft einbinden. Das Verfüllmaterial darf nicht ausgespült und das Eindringen von Feinteilen in den Querschnitten muss verhindert werden, d. h., das Verfüllmaterial muss filterstabil sein. Die Funktion der Sanddrains lässt sich wie folgt beschreiben (s. Abb. 4.99):

- schnelle Abführung des aus organischen Schichten unter Spannung (Porenwasserdruck) austretenden Wassers in die Drains, Filterschicht bzw. in den durchlässigen Baugrund,

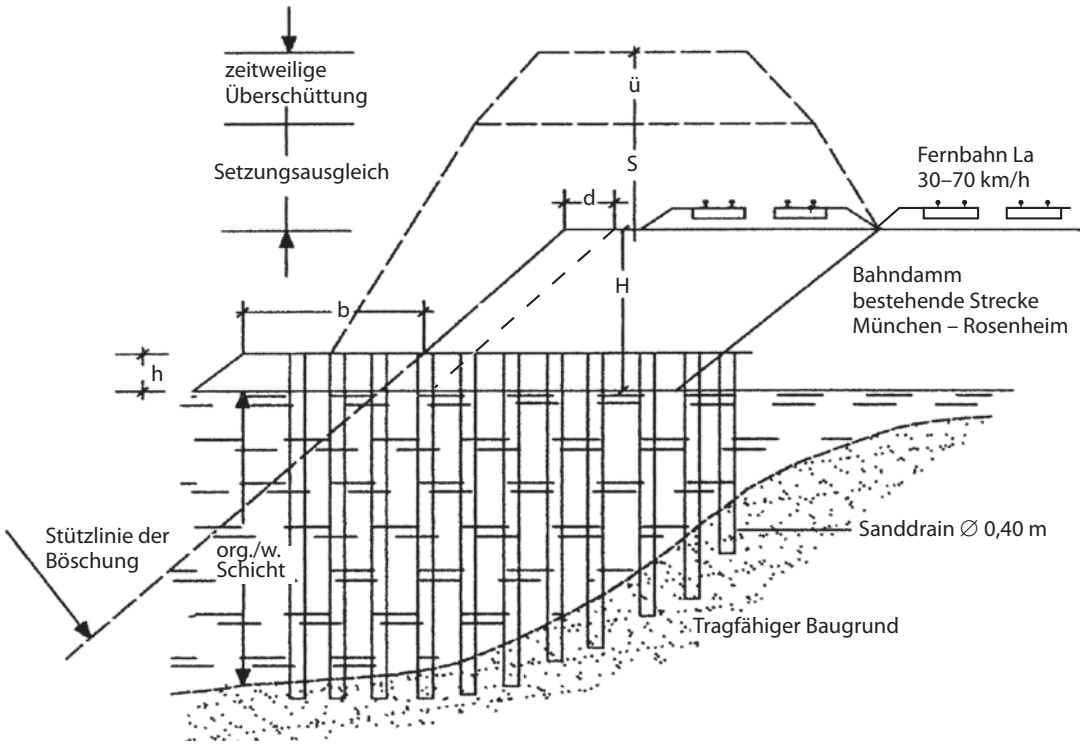
Tab. 4.21 Übersicht realisierter Sanddraingründungen, Teil 2

| Bauvorhaben | Realisierung | organische Mächtigkeit [m] | maximale Aufschüttung [m] | maximale Setzungen [m] | zulässige Zuggeschwindigkeit | |
|---|-------------------|--|---------------------------|---|---|-------------------------|
| | | | | | vor Bauarbeiten [km/h] | nach Baumaßnahme [km/h] |
| Str. Berlin-Dresden Moorstelle Pramisdorf km 27.0–27.5 Dammsanierung beidseitig Ertüchtigung 140 km/h | 1989–1992 | 7,0–13,2 (Bahnkörper) 5,0–18,5 (Berme) Querneigung tragfähiger Baugrund | Berme 5,6 | Bahnkörper $\leq 0,6$ Berme $\leq 4,28$ | 30–70 | 140 |
| Warnowbrücke Ost VBF Rostock Moorstelle Warnow Dammverbreiterung und -erhöhung | 1988–1992 | 6–16,5 Torf ≤ 6 Mudde ≤ 8 | 13,5 | Bahnkörper $\leq 1,3$ Berme $\leq 4,5$ | – | – |
| Str. München-Salzburg Moorstelle Zorneding-Grafiing km 35.4–35.9 Dammverbreiterung f. S-Bahngleise Dammfußsanierung | 1997–1999 | 5–16,2 Torf $\leq 9,5$ Seeton ≤ 8 | 10,5 | Bahnkörper $\leq 0,3$ Berme (neue Gleise) $\leq 4,45$ | vorh. Strecke La = 120 \rightarrow 70 | 140 120 |
| Str. Berlin-Cottbus-Moorstelle Dahmetal km 53.3–53.8 Dammsanierung und Ertüchtigung 160 km/h | ab 07/97 12/99 | 8–10,5 Torf $\leq 4,5$ Mudde $\leq 6,5$ Querneigung tragfähiger Baugrund | 8,50 | $\leq 3,9$ | La = 30 \rightarrow 70 | 160 |

- durch die Sanddrains wird eine Verkürzung des Sickerweges hergestellt und eine Entspannung des unter Druck stehenden Wassers aus dem Untergrund ermöglicht,
- Erhöhung der Scherfestigkeit durch Unterstützung der Konsolidation der organischen und weichen Schichten, Unterbrechung der Gleitlinie und Minderung der Porenwasserdrücke,
- Verbesserung des Schwingerverhaltens durch Erhöhung der Trägheit des Systems Damm/ Untergrund.

Die organischen Schichten verfügen, z. B. bei Torfen, bedingt durch die Art der Entstehung, horizontal über eine größere Durchlässigkeit als vertikal. Die Sanddrains sorgen deshalb für eine Entspannung der horizontal orientierten Wasseranreicherungen. Dies trifft auch mit entsprechender Zeitverzögerung für die aus Sedimenten

entstandenen Mudden und Faulschlammarten zu, die im unteren Teil der organischen Schichten anzutreffen sind. Sanddrains sind keine tragenden Säulen, sie müssen sich den Setzungen flexibel anpassen, ohne den Querschnitt zu verengen. Die Abstände der Sanddrainagen werden gewöhnlich nach Vorschlag Barron [10] ermittelt. Danach ist der Durchmesser für die Funktion weniger wichtig als der Abstand der Drains bei Beachtung der Drainageeigenschaften des Gesamtsystems (ein- oder zweiseitige Entwässerung, Vorflut). Der Durchmesser muss so gewählt werden, dass die entwässernde Funktion (Wasser aufnehmen und mit Druck an die Oberfläche leiten) über den Bedarfszeitraum gewährleistet wird. Der Drain muss eine entsprechende Filterstabilität aufweisen (Materialfrage). Andererseits muss ein Sanddrain erhebliche Verformungen (Setzungen bis



- ü = zeitweilige Überschüttung (Aufschüttung Setzungsvorwegnahme und Ausgleich für Oberbau)
- b = Bermbreite
- h = Bermhöhe
- d = Verbreiterung des Bahnkörpers um 1 m als Ausgleich für langzeitige Sekundärsetzungen
- S = Setzung (geplant)
- H = bleibende Aufschütthöhe Erdbauwerk

Abb. 4.97 Anschüttung eines zweigleisigen Bahnkörpers (S-Bahn) an eine bestehende Fernbahnstrecke im Bereich einer bis 14 m tiefen Moorrinne (Bauzeit $V_B = 30 \dots 70$ km/h)

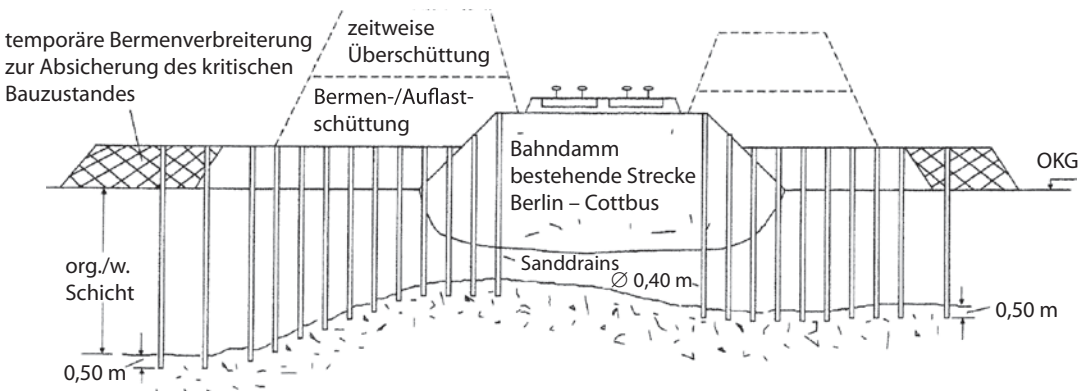


Abb. 4.98 Sanierung eines Grundbruches und Ertüchtigung der Eisenbahnstrecke für $V_B = 160$ km/h (maximale Moormächtigkeit 10,5 m, Bauzeit $V_B = 30 \dots 50$ km/h), jetzt $V_B = 220$ km/h, siehe Abschn. 4.5

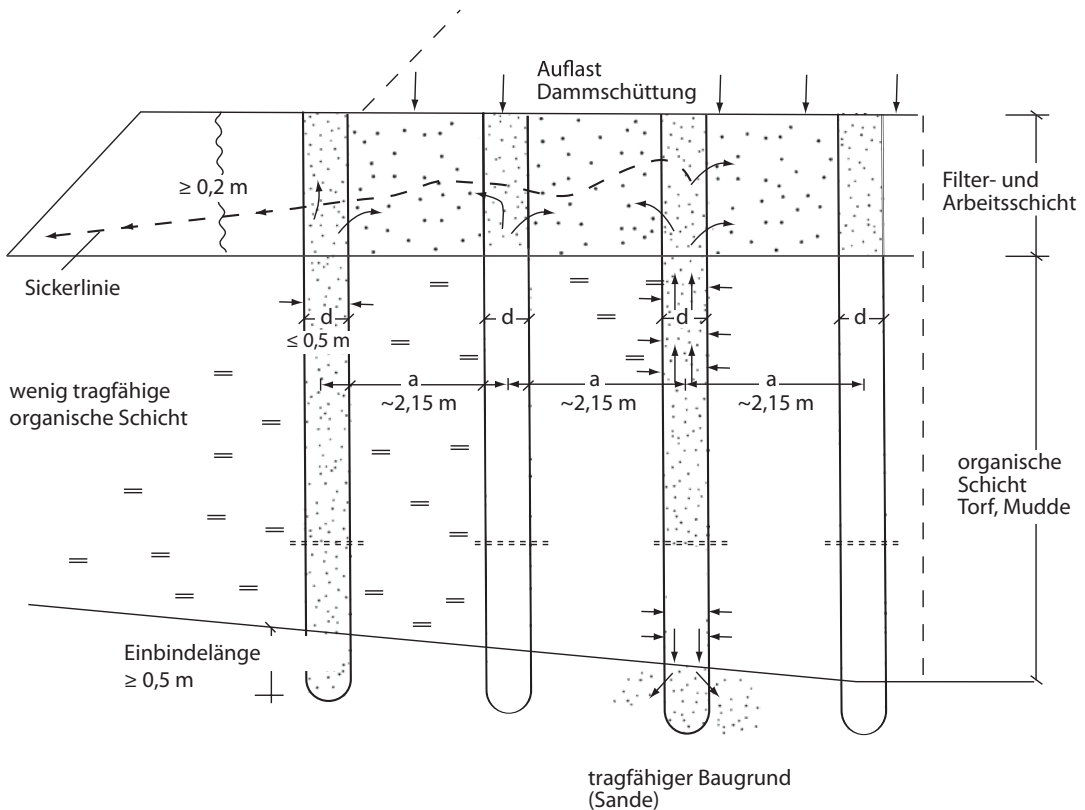


Abb. 4.99 Funktionsprinzip des Sanddrains

max. 5,0 m) mitmachen, ohne den Querschnitt einzuengen oder eine Querverschiebung zuzulassen. Letztere kann nur auftreten, wenn ein Grundbruch erzeugt wird. Ein solcher ist auch aus Gründen der Sicherung des Verkehrs auf dem bestehenden Bahnkörper bei Anschüttungen zu verhindern.

Auch am Drainstandort darf keine Verflüssigung der organischen Materialien – z. B. durch Einsatz von Vibratoren beim Rammvorgang – eintreten, weil sonst die Stützkräfte aus den organischen Schichten nicht gewährleistet sind und die Sanddrainposition als durchgängige Säule nicht garantiert ist. Aus diesen Erwägungen und der Herstellbarkeit solcher Drains bis 20 m Länge hat sich deshalb in Deutschland

- ein Drainabstand von 2 bis 3 m (2,50 m) und
- ein Draindurchmesser von 300 bis 500 mm (400 mm)

als geeignet für die hier anstehenden Bildungen (Torfe, Mudden, Faulschlamm) erwiesen.

Nicht bewährt (BV Rostock–Warnowbrücke) haben sich Geo-Drains. Diese haben die Setzungen nicht eliminieren können und sind bei etwa 1,0 m bis 1,5 m Setzungsgröße abgeknickt und damit unwirksam geworden. Bei der Notwendigkeit eines zügigen Bauablaufs der Schütтарbeiten oder erwarteten Bauzuständen/Zerrungen aus ungleichmäßigen Setzungen oder Standsicherheitsproblemen kann ggf. der Drainabstand im Bereich des alten Dammfußes auf die Hälfte verringert werden. Bei breiten Bermen kann der Drainabstand im Außenbereich um 50% zum gewählten Drainabstand vergrößert werden. Die Zahl der Drainreihen wird durch folgende Gesichtspunkte bestimmt:

- wo organische Schichten unter den bestehenden Bahnkörper reichen, sollen durch das Anordnen von Drains schwimmend ausgebildete und nur teilkonsolidierte Bereiche zur Konsolidation durch die seitlichen Anschüttungen angeregt werden. Auf diese Weise

kann in der Endphase (vor Inbetriebnahme) eine Homogenisierung der Setzungen in Längs- und Querrichtung des alten und neuen Bahnkörpers erreicht werden,

- Standsicherheitsuntersuchungen legen die Bermenbreiten fest. Es ist ebenfalls die notwendige Teilkonsolidierung des Teils der Berme zu sichern, in der die sog. Stützlinie (Verlängerung der Böschungslinie bis zum tragfähigen Baugrund) ausläuft.

Sanddrains können durch mechanisches Rammen bzw. Bohren oder Einspülen eines Hüllrohres, sofern die weichen Schichten das zulassen, hergestellt werden. Nicht zugelassen wurden bisher aus entsprechenden Erfahrungen Vibrationsverfahren wegen der starken Anregungen des Porenwasserdrucks und der damit entstehenden Grundbruchgefahr als Folge der Verflüssigung organischer Schichten, siehe Abschn. 4.5.3. Das Hüllrohr wird senkrecht durch die Filter- und Arbeitsschicht und die organische oder weiche Schicht bis ca. 0,50 m in den tragfähigen Baugrund eingetrieben, s. Abb. 4.99. Die Größe der zulässigen Eintragung der Rammenergie (Fallbär, Fallhöhe, Konzentration der Geräte in der Fläche) und die Abhängigkeit der kritischen Porenwasserdrücke vom Zugbetrieb oder anderen äußeren Einflussfaktoren sollte durch eine Messstation an der ungünstigsten Stelle der Baugrundverhältnisse regelmäßig überwacht werden. Die Verfüllung des Hüllrohres muss mit dem Ziehvorgang so abgestimmt werden, dass

- beim Öffnen des Rohrverschlusses (Klappe, Vorsatzplatte) an der Spitze das Material ungehindert und ohne Abreißen der Sandsäule mit dem Ziehvorgang auslaufen kann,
- Druckhilfen bei starkem Auftrieb zugelassen sind. Die Größe der eingebrachten Druckluft ist vom AG zu genehmigen,
- bei Wasseraustritt (gespanntes Wasser), s. Abb. 4.68, das betreffende Rohr stehen bleibt, bis sich der Hauptdruck entspannt hat,
- die Verfüllung im Endzustand ca. 1 m über die Filter- und Arbeitsschicht reicht (Klangprobe). Nach Beendigung des Herstellungsvorgangs bildet sich so ein Sandhaufen, der bei einem Nachsacken der Sandsäule die fehlende Kubatur ausgleicht.

In Abb. 4.100 ist der Ausschnitt eines Rasterplanes der häufigsten Anwendung mit einem Drainabstand von 2,50 m und damit einem Sickerweg von 1,25 m dargestellt. Wichtig ist, dass auch in weniger belasteten oder nur mit der Arbeits- und Filterschicht bedeckten Moorflächen Sanddrains wegen der Harmonisierung der Setzungsmulde angeordnet werden. Sie sind eine wesentliche Sicherheit dafür, dass die horizontal sich ausbildenden Porenwasserdrücke auch in den Randzonen abgebaut werden können. Anderenfalls kommt es zu Aufwölbungen der Moorflächen außerhalb der Schüttungen und im kritischen Falle zum Bruch. Eine Abstandsvergrößerung in den Randzonen ist nur dann zu empfehlen, wenn die Baugrundverhältnisse – vom Damm weg betrachtet – sich spürbar verbessern. Dazu gehören

- Abnahme von Moormächtigkeit,
- geringere Dicke der Muddeschichten,
- ausreichende Bermenbreite.

Der Ablauf des Schüttprozesses ist entsprechend einem vorausgerechneten Schüttschema nach Tab. 4.19 zu planen und möglichst durch Porenwasserdruckmessungen zu steuern. Die Vorausberechnung der Verformungen, die Festlegung einer zulässigen Setzung der bestehenden Gleise je nach der zu gewährleistenden Geschwindigkeit nach Tab. 4.22 und die Einhaltung eines höchst zulässigen Porenwasserdrucks sind die Schwerpunkte, die in der Planung und in der Bauphase optimiert werden müssen. Die dazu gehörende Porenwasserdruckbewertung im Schüttprozess wird in Abb. 3.101 dargestellt.

Der Verfasser hat an den verschiedensten Vorhaben der Bahn Messprogramme für Porenwasserdruckmessungen bei weichen organischen Baugrundschichten entwickelt und in der Realisierungsphase betreut. Danach ergibt sich folgender Stand (Abb. 3.102):

- Der Anstieg des Porenwasserdrucks in organischen Schichten verursacht zunehmend Konsistenzänderungen, d. h., der Boden entwickelt sich unter Einfluss äußerer Belastungen vom weichplastischen zum flüssigkeitsähnlichen Verhalten.
- Torfe reagieren, bedingt durch die Wassersättigung, auf vorgenannte Beanspruchung sehr spontan, bauen aber schnell die maximalen

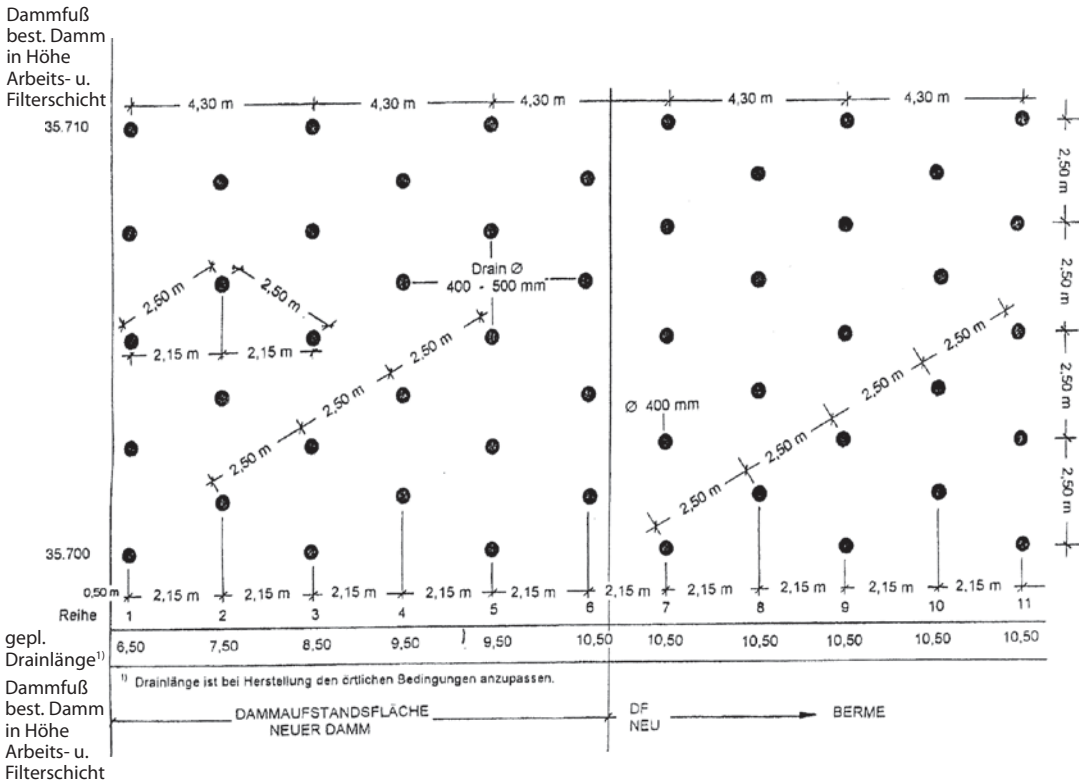


Abb. 4.100 Rasterplan der Sanddrainanordnung

Porenwasserüberdrücke, bedingt durch die relativ große horizontale Durchlässigkeit ab. Sanddrains verstärken diesen Effekt erheblich.

- Mudden, Seetone u. ä. reagieren, bedingt durch ihre Lage unter den Torfen und die geringere Durchlässigkeit sehr träge, bauen aber mit jeweiliger Verzögerung den Porenwasserdruck entsprechend der Belastung auf. Durch Drainagen (z. B. Sanddrains) kann der Porenwasserdruck sich langsam entspannen.
- Als Folge der statischen und dynamischen Belastungen bzw. des Verdrängungsvorgangs bei Herstellung der Sanddrains entwickelt sich die fast flüssige Konsistenz der organischen Böden. In der Regel bildet sich die Gleitfläche an der ungünstigsten Stelle der Schichtung aus. Dies ist meist das unterste Drittel der organischen Schicht, d. h. in der Mude.
- Die klassische Grundlage der statischen Böschungs- und Grundbruchberechnungen

basiert auf der Annahme eines elastisch-isotropen Halbraumes (homogen, Belastung erzeugt analoge Verformungen), dafür ist die Aktivierung von Reibung und Kohäsion im beanspruchten Boden eine wichtige Voraussetzung. Mit der Konsistenzveränderung reagieren die organischen Böden eher wie ein zähes flüssiges Material. Die in dieser Phase entstehenden Bruchfiguren folgen nur noch teilweise denen eines klassischen Gleitkreises.

Bei der Vorbereitung oder Durchführung einer Sanierung schwimmender Dammgründungen ist die zielsichere Vorhersage der Verformungen, d. h.

- der Setzungen,
 - der horizontalen Veränderungen,
 - der elastischen Verformungen
- von entscheidender Bedeutung für den befahrenen Verkehrsweg. Die Ausbildung von Steilrampen, negative Überhöhungen und Verdrillungen

Tab. 4.22 Zulässige relative Setzungen am Erdbauwerk und Unterhaltung am Gleis/Jahr (Δ_s auf 10 m Länge)

| Art der Strecke | Bauzustand | | Endzustand | | Bemerkungen |
|-------------------------------------|-------------------------|---|-------------------------|---|--|
| | Δ_s zul. mm/Jahr | notwendige Unterhaltungen am Gleis ^e | Δ_s zul. mm/Jahr | notwendige Unterhaltungen am Gleis ^e | |
| Hauptbahn ^c V 120 km/h | 70 bis 40 | 2 ×/Jahr | < 40 | 1 × | Abest 1.3.93 (TGL 11482/08) (Pkt. 4.6) |
| Nebenbahn ^c V < 80 km/h | 150 bis 70 | 2 ×/Jahr | < 70 | 1 × | Abest 1.3.93 (TGL 11482/08) (Pkt. 4.6) |
| Schnellfahrstrecken V = 160 km/h | – | 2 ×/Jahr | < 20 | 1 × | DS 836 |
| <i>Feste Fahrbah</i> | – | – | < 0,4 ^d | – | Anforderungen Katalog FF 5/94 |

Für diesen besonderen Fall der Strecke BAR, km 38,885–39,250/GVZ Wustermark wird folgender Entscheidungsvorschlag für die Bewertung analog Tabelle unterbreitet:

| Strecke BAR km 38,885–39,295 | Bauzustand | | Endzustand | | Bemerkungen |
|---------------------------------|-------------------------|---|-------------------------|---|------------------------|
| | Δ_s zul. mm/Jahr | notwendige Unterhaltungen am Gleis ^e | Δ_s zul. mm/Jahr | notwendige Unterhaltungen am Gleis ^e | |
| V _{zul.} 140 km/h | ≤ 50 | 2 × | ≤ 30 | 1 × | Vorschlag ^f |
| V _{zul.} 130 km/h | ≤ 60 | 2 × | ≤ 35 | 1 × | Vorschlag ^f |
| V _{zul.} 120 km/h | ≤ 70 | 2 × | ≤ 40 | 1 × | Vorschlag ^f |
| V _{zul.} 100 km/h | ≤ 100 | 2 × | ≤ 50 | 1 × | Vorschlag ^f |
| V _{zul.} 90 km/h | ≤ 110 | 2 × | ≤ 60 | 1 × | Vorschlag ^f |
| V _{zul.} 70 km/h | ≤ 140 | 2 × | | | |
| V _{zul.} 50 km/h | ≤ 180 | 2 × | | | |
| V _{zul.} 30 km/h | ≤ 250 | | | | |

^a Bauzustand: Erdbauwerk erleidet Setzungen aus Baumaßnahmen am Eisenbahndamm oder in dessen Nähe

^b Endzustand: Nach Beendigung der Bauarbeiten ausklingende Setzungen

^c Die Festlegung der zulässigen Fahrgeschwindigkeit erfolgt nicht anhand der an den Setzungspegeln gemessenen Setzungsunterschieden, sondern aufgrund der tatsächlich auftretenden Veränderungen am Gleis

^d $\Delta_s = 20$ mm bei 50-jähriger Liegedauer

^e Richt- und Stopfarbeiten am Gleisoberbau

^f Übersteigen die Setzungen das geplante Maß, so sind festzulegen:

- erhöhte Erhaltungsaufwendungen oder
- Herabsetzung der Geschwindigkeit oder
- Maßnahmen zur Verringerung der Schüttgeschwindigkeit der Anschüttung

des Erdbauwerkes sind für Fahrwege der Eisenbahn, insbesondere bei Hochgeschwindigkeiten, sehr problematisch. Am Beispiel einer bei der Deutschen Bahn häufig angewandten Verfahrensweise soll dieses Problem dargestellt werden.

Tabelle 4.22 nennt dazu entsprechend dem Charakter der Bahn und der gewählten Fahrbahnkonstruktion die entsprechenden zulässigen Setzungen auf 10 m Fahrbahnlänge (oberer Teil der Tabelle). Dabei ist verständlich, dass bei Schottergleisen die zulässigen Setzungen im Stadium der permanenten Überwachung größer sind, weil Fehler in der Fahrbahn früher erkannt und korri-

giert werden können. Wesentlich ist, dass diese Parameter für das Erdbauwerk und nicht für das Gleis gelten. Das Erdbauwerk reagiert punktuell früher als das relativ starre Gleis. Auf diese Art und Weise entsteht ein Frühwarnsystem für zu erwartende Veränderungen am Gleis. Prognostische Aussagen zum Setzungsverhalten lassen sich iterativ mit Hilfe der Setzungsgeschwindigkeit erarbeiten. Dieses System der Setzungsbeurteilung wurde weiter entwickelt (unterer Teil der Tab. 4.22), um aus der Setzungsprognose unmittelbar auf mögliche zu planende Zuggeschwindigkeiten schließen zu können. Daraus lässt sich

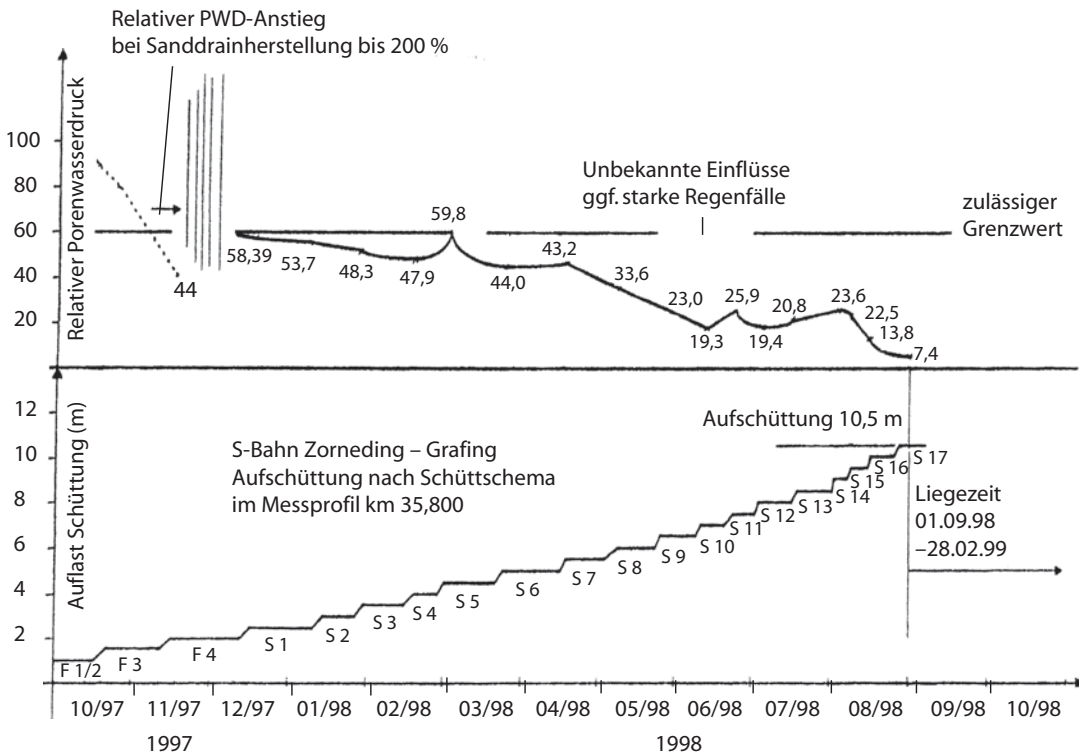


Abb. 4.101 Ergebnis der Entwicklung des relativen Porenwasserdruckes im Verhältnis zur Auflast der jeweiligen Schüttlage

andererseits erkennen, welche Setzungsgrößen zugelassen werden können, wenn eine bestimmte Zuggeschwindigkeit garantiert werden muss. In Tab. 4.22 ist eine Entwicklung aus der langjährigen Zusammenarbeit von Geotechnikern, Oberbauern und Vermessungsingenieuren [3, 7] dargestellt. Ziel war es, die Bewertungsmaßstäbe des Oberbaus mit denen eines überwachten Erdbauwerkes für die Abschätzung der Gesamtvorgänge zu nutzen. Nach mehr als 20-jähriger Anwendung hat sich die empirisch entwickelte Tab. 4.22 als wichtiges Hilfsmittel für die langfristige Planung, der Steuerung der Arbeitsvorgänge und Berechnung von Bauzeiten erwiesen. Aus Abb. 4.103 ist ersichtlich, wie durch das Auftragen einer zeitweiligen Überschüttung der restliche Setzungsverlauf beschleunigt werden kann. Im Beispiel ist die Zielstellung einer relativen Setzung im ersten Jahr nach der Inbetriebnahme von $V_S \leq 40$ mm/Jahr vorgegeben, d. h., dem entspräche eine Streckengeschwindigkeit von $V_B \leq 120$ km/h. Im zweiten Jahr nach der

Inbetriebnahme ist mit einem Rückgang der Setzungsgeschwindigkeit auf $V_S \leq 20$ mm/Jahr und damit mit einer Streckengeschwindigkeit von $V_B \leq 160$ km/h zu planen (Abb. 4.104 und 4.105).

Allerdings wird die Harmonisierung des Untergrundes von der Notwendigkeit

- des Abtrages der zeitweiligen Überschüttung und
- der Sanierung des Tragschichtsystems zeitweilig beeinflusst. Der Abtrag der seitlichen Auflasten ist eine Entlastung des Gesamtsystems und kann je nach gewählter Liegezeit auch mit leichten Hebungen am Bahnkörper verbunden sein. Die Überwachung der Setzungs-, Hebungsverläufe und Steuerung des Abtrages in einzelnen Schichten ist deshalb notwendig. Es entspricht einer Umkehr des Schüttschemas nach Tab. 4.19 mit allerdings größeren Abtragshöhen von ca. 1,0 bis 1,5 m.

Nachdem bisher die Gesamtstabilität der tieferen Untergrundschichten mit Hilfe der seitlichen Auflasten durch Konsolidation der orga-

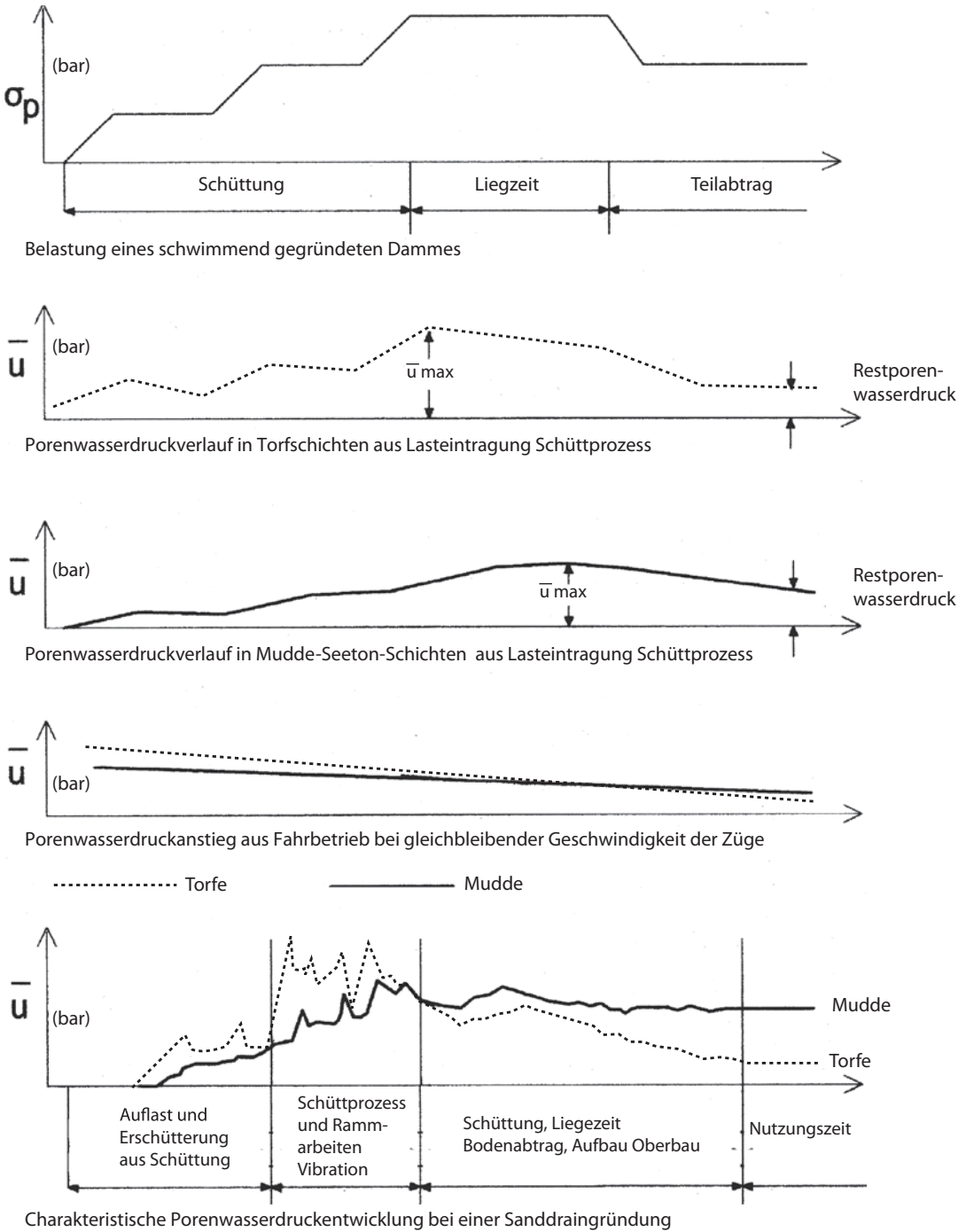


Abb. 4.102 Schematische Darstellung der Porenwasserdruckentwicklung in organischen Böden durch Auflastschüttung, Zugbetrieb und Bautechnologie bei einer Sanddrainagründung

nischen Schichten (s. auch Abb. 4.77) erreicht ist, muss nun der obere Teil des Damms (Tragschichtsystem), funktionstüchtig hergerichtet werden. Dabei sollen die Abträge der weniger

geeigneten mit Schottersäcken durchsetzten Teile des Erdbauwerkes wegen des Einflusses auf die Betriebssicherheit im befahrenen Gleis möglichst minimiert werden. Der Aufbau einer

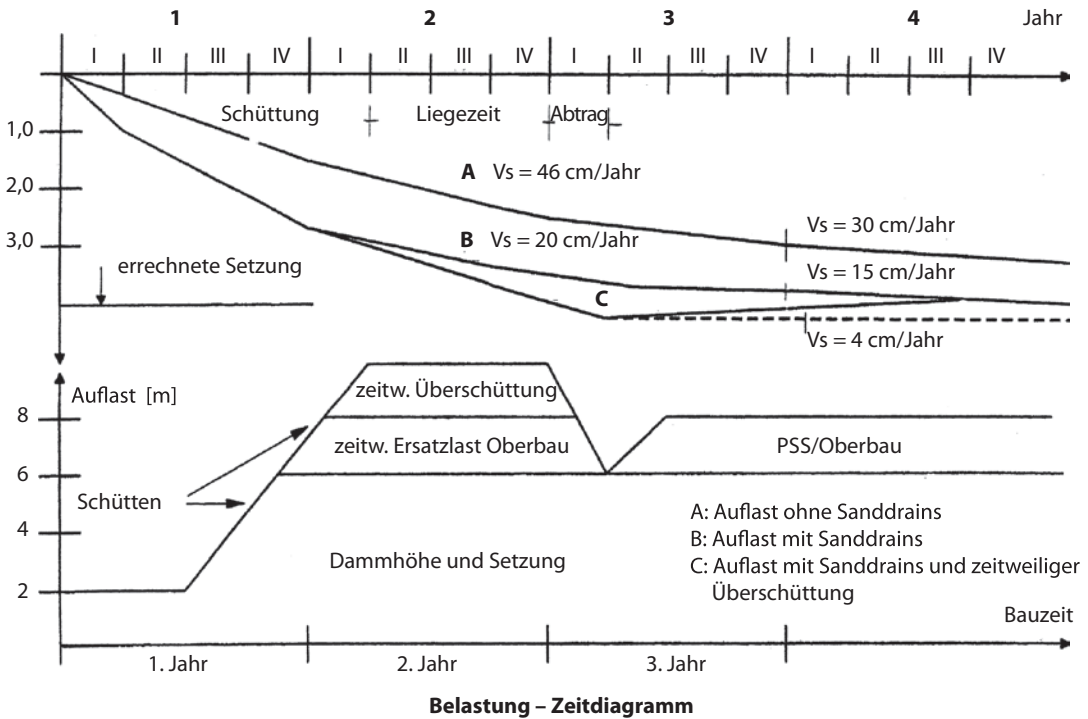


Abb. 4.103 Beispiele für ein Belastungs-Zeit-Setzungsdiagramm bei gewählten Verfahrensweisen und die damit erzielbare Setzungsgeschwindigkeit



Abb. 4.104 Endprofilierung der Auflastsschüttung. (Moorstelle Dahmetal Februar 2005)

Trag- und Ausgleichsschicht ist mit Rücksicht auf das vorhandene wenig geeignete Material im Erdbauwerk Grundvoraussetzung für die Gesamtfunktion entsprechend den technischen Anforderungen.

Die einzubauenden Trag- und Schutzschichten haben folgende Funktionen zu erfüllen:

- lastverteilend zu wirken und punktuelle Setzungsunterschiede aus dem sehr inhomogenen Erdplanum auszugleichen,
- Minderung der bisher sehr unterschiedlichen elastischen Verformungen,
- Erhöhung der Tragfähigkeit,
- Sicherung der Filterstabilität.

Die genannten Maßnahmen sind ohne Sperrung des betreffenden Gleises und Abbau von Oberbau, Schotter und einer Dicke der Mischzone, die dem Tragschichtsystem entspricht, nicht möglich. Die Behandlung der Schottersäcke und Herstellung des Erdplanums (s. Abschn. 4.3.2.4 und 4.3.2.5) sind die wichtigste Voraussetzung. Deshalb ist vom Einsatz eines gleisgebundenen Einbaus der Tragschichten ohne die Arbeiten am

Abb. 4.105 Auflast­schüt­tung ent­sprechend der Moormäch­ti­g­keit – Gleis­ver­for­mun­gen ent­sprechen der Lage der Moorrinne

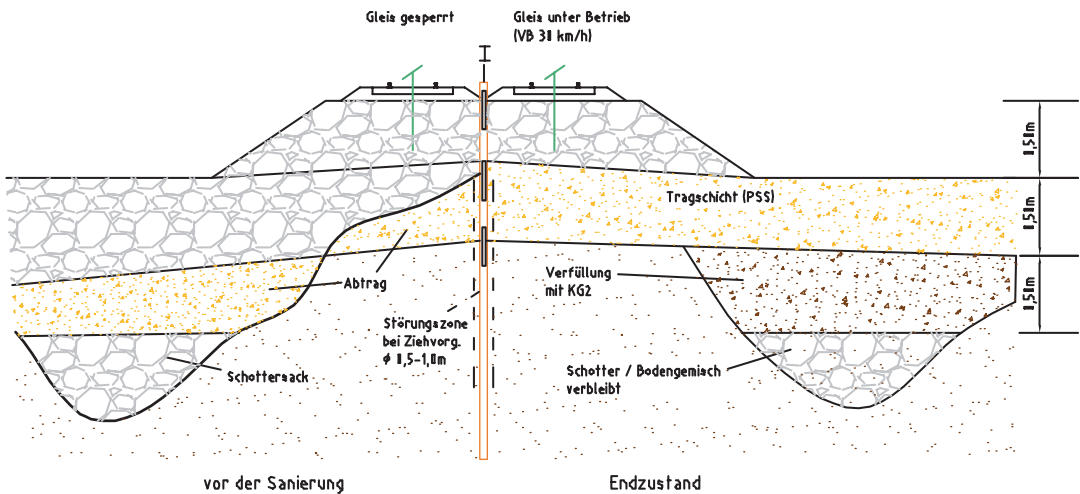


Abb. 4.106 Mittelverbau mit Doppel-T-Trägern und Ausbohlung (Berliner Verbau). Einbau und Ziehvorgang ohne Vibration

Erdplanum einschließlich der Verdichtung im Moorbereich dringend abzuraten.

Während des Abtrags (Oberbau, Schotter, Mischzone) kommt es zwangsläufig durch die Entlastung des Baugrundes zu leichten Hebungen, wie in der Phase des Bodenabtrags. Mit einer La von 30 bzw. 50 km/h kann die Befahrbarkeit des nicht gesperrten Gleises während der Arbeiten am Tragschichtsystem und Wiederaufbau des Oberbaus in jedem Falle mit Hilfe einer entsprechenden Überwachung gewährleistet

werden. Zur Sicherung der Schotterfläche für das befahrene Gleis wird in vielen Fällen ein Mittelverbau (Träger mit Ausbohlung/Berliner Verbau) vorgesehen. Die mit dem Ziehen der Träger verbundenen Auflockerungen führen bei sehr langen Trägern zu ungewollten Schäden, d. h. Hohlräumen bzw. hochgerissenen Tragschichten in der Dammmitte und unter Umständen zu Schäden in der Gleislage, Abb. 4.106. Eine andere Vorgehensweise zeigt Abb. 4.107. Unter Ausnutzung praktischer Erfahrungen wird zur Anwendung

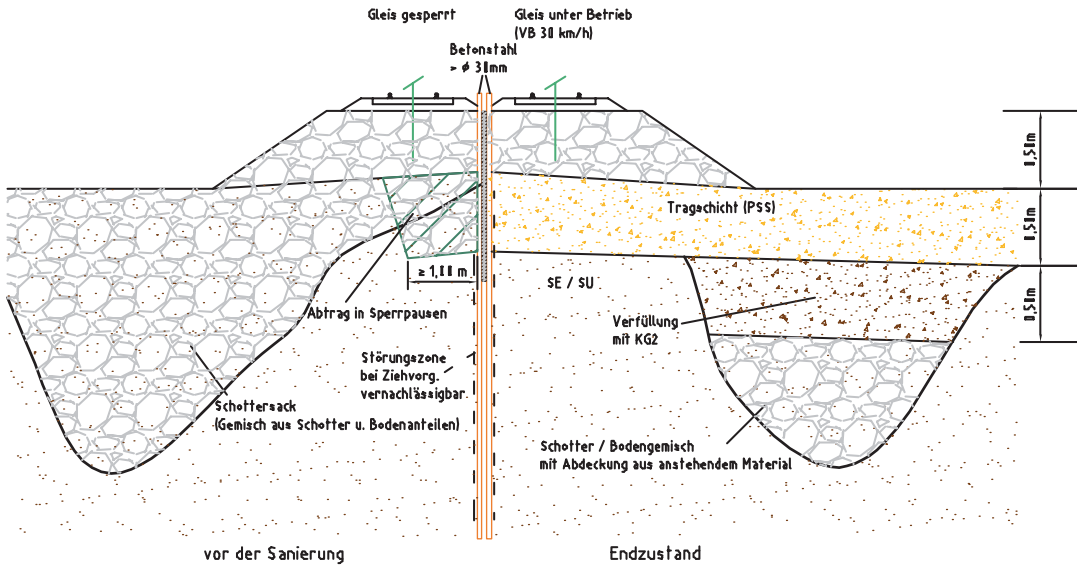


Abb. 4.107 Schotterabfangung mit Betonstählen und Bohlenausfachung – Abtrag des 1-m-Streifens nur in Sperrpausen oder längerer Zugpausen

einer Schotterabfangung ohne „statische Wirkung“ geraten. Das hat zur Folge, dass die Abtragstiefe nur in Sperrpausen (Nachtarbeit) in einem Streifen von ≥ 1 m erfolgen kann. Der Gewinn an Qualität und die Baukosteneinsparung sind erheblich.

Die Kernfrage der Gesamtqualität der technischen Lösung Sanddrainanwendung wird beantwortet mit dem Ergebnis der Setzungen zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme im Gleisbereich. Im folgenden Beispiel wird die Situation der geologisch sehr schwierigen Baugrundverhältnisse (Profil Abb. 4.69) der Baumaßnahme Zorneding–Grafing mit max. 15 m organischer Schichtdicke an der Bauwerksaußenseite am Dammfuß dargestellt.

Die Hauptaufgabe bestand darin, die Anschüttung für einen zweigleisigen S-Bahnkörper in einem Moorfeld mit Hilfe einer Sanddraingründung herzustellen. Die Gewährleistung der Sicherheit des Eisenbahnbetriebes der bestehenden Fernbahnstrecke schien anfangs nicht das Problem, weil man von einer stabilen – keiner schwimmenden Dammgründung – ausgegangen war. Ein Baugrundgutachten, welches mit ungeeigneten Erkundungsmethoden und einer viel zu geringen Aufschlussdichte vorlag, hatte das

Moorfeld überhaupt nicht erkannt. Die darauf basierende Planung sah deshalb, wie im Erdbau üblich, nur den Abtrag des Oberbodens vor. Allerdings scheiterte dieser, als die Planiermaschinen die Arbeiten beginnen wollten, siehe Abschn. 4.6.3. Sie versackten und konnten nur mit schwerem Gerät geborgen werden. Die Baustelle wurde gesperrt. Dies ergab für die Neuplanung einen kaum wieder einzuholenden Zeitverlust von mehr als 12 Monaten. Erkundung, Baugrundgutachten und Planung waren in kürzester Frist zu realisieren. Die Grundsätze der Planung folgten der im Abschn. 4.4 beschriebenen Verfahrensweise. Das Ergebnis ist in den Tab. 4.23 und 4.24 zu erkennen.

- Der Dammfuß des vorhandenen Bahnkörpers der Fernbahnstrecke, identisch mit dem Randweg des S-Bahngleises, hat durch den Schüttprozess erhebliche Setzungen bis 2,20 m (Tab. 4.23) erlitten und damit bewiesen, dass der bestehende Damm – entgegen anfänglichen Beteuerungen bezüglich der Gründung – als schwimmender Damm ausgebildet ist und damit anfangs keine ausreichende Standicherheit aufwies.
- Die Streckengeschwindigkeit konnte nicht wie geplant $V_B = 140$ km/h betragen. Die ein-

Tab. 4.23 Übersicht zu den Setzungen des bestehenden Erdbauwerks in Höhe alter Dammfuß infolge Anschüttung eines neuen S-Bahn-Erdbauwerks

| S-Bahnk. km | Bewertungszeitraum | | | | Schüttzeit 07/97-08/98 (Schüttung bahnlings) | | | | Liegezeit | | | |
|-------------|--------------------|-------|---------------|--------------------------------|--|-------------------------------|---|-------------|----------------|--------------|-------------------------------|----------------------------------|
| | Fernb. km | Pegel | Moordicke (m) | Initial-Setzung geschätzt (mm) | 07/97-09/97 | 09/97-30.08.98 | 07/97-08/98 | 07/97-08/98 | 01.09.98-02/99 | Setzung (mm) | Setzgeschwindigkeit (mm/Jahr) | Gesamtsetzung aus Belastung (mm) |
| | | | | | Gemessene Lastsetzung (mm) | Gesamtsetzung Schüttzeit (mm) | Setzgeschwindigkeit aus Schüttvorgang (mm/Jahr) | 07/97-02/99 | | | | |
| 22,893 | 35,470 | 22 | 2-3 | -300 | -462 | -762 | -677 | -30 x | 65 | | -792 | |
| 22,913 | 35,490 | 32 | 4,0 | -200 | -334 | -534 | -475 | -25 x | -55 | | 559 | |
| 22,933 | 35,510 | 42 | 2,0 | -100 | -112 | -212 | -191 | -13 x | -28 | | -225 | |
| 22,953 | 35,530 | 52 | 3,0 | -200 | -286 | -486 | -436 | -22 x | -48 | | -508 | |
| 23,003 | 35,580 | 62 | 4,0 | -100 | -111 | -211 | -187 | -10 x | -22 | | -221 | |
| 23,053 | 35,630 | 72 | 4,0 | -150 | -146 | -296 | -267 | -12 x | -26 | | -308 | |
| 23,093 | 35,670 | 82 | 4,0 | -200 | -244 | -244 | -396 | -25 xx | -55 | | -469 | |
| 23,143 | 35,720 | 102 | 6,0 | -250 | -300 | -550 | -489 | -35 xx | -76 | | -585 | |
| 23,173 | 35,750 | 112 | 6,0 | -400 | -502 | -902 | -800 | -48 xx | -105 | | -950 | |
| 23,193 | 35,770 | 122 | 8,0 | -700 | -1266 | -1966 | -1747 | -100 xx | -218 | | -2066 | |
| 23,213 | 35,790 | 132 | 8,0 | -800 | -1271 | -2071 | -1840 | -95 xx | -207 | | -2166 | |
| 23,223 | 35,800 | 142 | 10,4 | -600 | -618 | -1218 | -1084 | -60 xx | -131 | | -1278 | |
| 23,233 | 35,800 | 152 | 8,0 | -500 | -609 | -1109 | -987 | -45 xx | -98 | | -1154 | |
| 23,253 | 35,830 | 162 | 2,5 | -200 | -325 | -525 | -467 | -30 xx | -65 | | -555 | |

max. Wert + = Hebung - = Setzung Abtrag zeitweiliger Überschüttung: x nach 15.01.99 P22-73 xx nach 24.02.99 PP82-162

Tab. 4.24 Übersicht der Setzungen im Randweg bahnrrechts vom befahrenen Fernbahngleis nach Beendigung der Aufschüttungen bahmlinks

| Fernb. km | Pegel | 01.12.98–12.01.99 | | 26.01.99–16.02.99 | | 24.02.99–13.04.99 | | 13.04.99–26.05.99 | | 26.5.99–12.01.2000 | |
|--------------|-------|-------------------|--|-------------------|--|-------------------|--|-------------------|--|--------------------|--|
| | | Setzung (mm) | Setzungs- geschwin- digkeit (mm/Jahr) | Setzung (mm) | Setzungs- geschwin- digkeit (mm/Jahr) | Setzung (mm) | Setzungs- geschwin- digkeit (mm/Jahr) | Setzung (mm) | Setzungs- geschwin- digkeit (mm/Jahr) | Setzung (mm) | Setzungs- geschwin- digkeit (mm/Jahr) |
| 35,470 | 21 | 0 | 0 | +6 | +108 | -2 | -15 | 0 | 0 | -3 | -5 |
| 35,490 | 31 | +1 | +26 | +3 | +54 | -4 | -30 | +1 | +8 | -3 | -5 |
| 35,510 | 41 | +2 | +51 | +2 | +36 | -6 | -45 | +1 | +8 | -1 | -2 |
| 35,530 | 51 | +4 | +103 | 0 | 0 | -9 | -60 | +1 | +8 | -1 | -2 |
| 35,580 | 61 | +6 | +154 | +1 | +18 | -20 | -150 | +1 | +8 | -1 | -2 |
| 35,630 | 71 | +2 | +51 | -1 | -18 | -2 | -15 | +1 | +8 | -5 | -8 |
| 35,670 | 81 | +1 | +26 | 0 | 0 | -15 | -113 | +2 | +16 | -3 | -5 |
| 35,720 | 101 | -2 | -51 | +1 | +18 | -12 | -90 | 0 | 0 | -5 | -8 |
| 35,750 | 111 | -2 | -51 | +1 | +18 | -7 | -53 | -1 | -8 | -4 | -6 |
| 35,770 | 121 | -1 | -26 | -1 | -18 | -10 | -75 | -1 | -8 | -7 | -11 |
| 35,790 | 131 | -1 | -26 | 0 | 0 | -9 | -68 | -1 | -8 | -8 | -13 |
| 35,800 | 141 | 0 | 0 | 0 | 0 | -10 | -75 | 0 | 0 | -6 | -9 |
| 35,800 | 151 | +4 | +103 | -1 | -18 | -6 | -65 | +1 | +8 | -6 | -9 |
| 35,830 | 161 | +2 | +51 | -4 | -74 | -4 | -150 | 0 | 0 | -4 | -6 |

max. Wert + = Hebung - = Setzung

tretenden Setzungen erlaubten zeitweilig nur eine $La \leq 70$ km/h.

- Aus Tab. 4.24 ist ersichtlich, dass der bestehende Bahnkörper nach Beendigung der Liegezeit sowohl die Hebungen aus dem Abtrag der zeitweiligen Überschüttung als auch die danach wieder sich aktivierenden Setzungen nach Tab. 4.22 mit $V_B = 70$ km/h verträglich aufnehmen konnte. Der Unterhaltungsaufwand war erheblich größer als in der ursprünglichen Planung, aber noch vertretbar.
- Die Verkürzung der Liegezeit hatte auf den Fernbahndamm keine negativen Folgen. Ab Mitte 1999 konnte die Streckengeschwindigkeit wieder auf $V_B = 140$ km/h heraufgesetzt werden. Der Dammkörper erfüllte danach alle Forderungen zur Lagestabilität der Gleise und die Standsicherheit mit $\eta \geq 1,4$
- Die anfänglichen Nachteile einer erhöhten Unterhaltungsaufwendung aus der verkürzten Liegezeit auf 6,5 Monate im Bereich der S-Bahngleise wurden für ca. 1 Jahr in Kauf genommen.
- Die Schwingstabilität wurde nicht gesondert gemessen. Bei Betrachtung der Porenwasserdrücke nach Ende aller Bauarbeiten wird deutlich, dass ein Anstieg der Porenwasserdrücke aus der Dynamik des Verkehrs, wie vor Beginn der Bauarbeiten (s. Tab. 4.26) als kritische Größe festgestellt, jetzt keine Rolle mehr spielt. Die Schwingstabilität ist auf diese Weise überzeugend nachgewiesen.

Die Herstellung einer Sanddraingründung in Mooregebieten > 5 m Mächtigkeit ist durch viele Anwendungen bei einer umfassenden Planung und Überwachung, vor allem in geotechnischen Zusammenhängen, als eine hochwertige, ausgereifte erdbautechnische Lösung mit guten Gebrauchswerteigenschaften anzusehen. Die Konstruktion hat eine sehr lange Lebensdauer, ist nicht überwachungspflichtig und passt sich hervorragend den Standortbedingungen an [11, 12]. Dies lernt man besonders zu schätzen, wenn Dammverbreiterungen oder die Sanierung eines bestehenden, schwimmend gegründeten Erdbauwerkes anstehen. Die häufig nicht erkennbaren alten Grundbrüche und seitlichen Verkippungen und damit inhomogenen Baugrundverhältnis-

se können in das Gesamtsystem der Gründung durch systematisch erzwungene Konsolidierung einbezogen werden. Porenwasserdruck- und Setzungsmessungen sind dabei unverzichtbare Steuerungselemente. Für die Planung und Ausführung solcher Gründungen sind große Erfahrungen notwendig, um die täglichen Fragen aus In-situ-Messungen mit den Annahmen der Grundbaustatik unter Berücksichtigung statischer und dynamischer Vorgänge zuverlässig bewerten zu können.

4.4.6.7 Fräs-, Misch- und Injektionsverfahren (FMI)

In der RiL 836 ist das FMI-Verfahren für die Erhöhung des Unterbaus durch Einsatz von Zementen mit Hilfe von UIG/ZIE möglich, wenn die Bedingungen der befristeten Zulassung des EBA erfüllt sind. Für den Einsatz gilt u. a. eine bedingte Eignung, wenn „Böden mit organischen Anteilen den Anteil an organischen Böden oder Beimengungen von 30% des Gesamtvolumens nicht überschreiten“. Dies bedeutet, dass Torfe mit ca. 30 bis 90% Glühverlust (Anteil an der Gesamtmasse der Probe) nicht geeignet sind. Bei größeren Moordicken, > 5 m, werden diese Torfe von Mudden (Wiesenkalk, Faulschlamm, Seetone) unterlagert. Diese haben i. d. R 15 bis 30% organische Anteile (Glühverlust). Entscheidend für eine Verkittung der mineralischen Masseanteile ist die Größe der aktiven Huminsäuren, die gegenüber Zementen wie Abbindeverzögerer oder Abbindeverhinderer wirken. Wenn einige Praktiker behaupten, dass man den Anteil der organischen Böden auf $< 30\%$ durch Zusatzaufmischung von darüberliegenden oder unterlagernden Sanden erreichen könne, dann wird die genannte Bedingung der Zulassung auf den Kopf gestellt, weil $< 30\%$ als Grenzgröße nur den natürlichen Erdstoff betrifft, nicht irgendwelche Mischverhältnisse. Der Verfasser vertritt nach Kenntnis einiger Anwendungsbeispiele die Auffassung:

- Die Zukunft des Eisenbahnunterbaus bei der zu erwartenden Geschwindigkeitsentwicklung zu 300 km/h ist ein wenig verformbarer Untergrund mit neu zu definierenden elastischen Eigenschaften. Das FMI-Verfahren

bewirkt einen starren Untergrund und damit das Gegenteil. Schwierig sind und bleiben die Übergänge zu anderen Lösungen.

- Die Momentanreaktion bei einer Eignungsprüfung sichert nicht in jedem Falle den Langzeiteffekt. Es gibt noch keine Erfahrungen über eine volle Nutzungszeit.
- Nichtgebundene oder „abgesoffene“ Zementanteile werden in die angrenzenden Moorflächen ausgespült und können durch nachhaltige Änderung des pH-Wertes zu einem Moorsterben führen.
- Durch die Vermörtelung bis in den tragfähigen Untergrund entsteht eine hydrologische Sperre, die das charakteristische Unterströmen der Moorflächen verhindert und einseitige Wasserdrücke entstehen lässt. Dadurch können Flächen von der natürlichen Vorflut getrennt werden.
- Die sprichwörtliche Verfilzung von Torfschichten unter dem Bahnkörper lässt eine Vermischung zu einer Feinstruktur nicht zu, d. h. es bleiben Torfreste, die Ausgangspunkt von Schäden sein können, insbesondere wenn diese in die Frostzone reichen.
- Bei einem Versagen von Teilflächen ist der Unterbau Ursache unverträglicher Gleislageveränderungen. Ein Ersatz bzw. ein Abtrag solcher vermörtelten Teilkubaturen ist mit einem mehrfachen Aufwand als bei einem Erdkörper verbunden. Die Wiederverwendbarkeit bzw. Aufbereitung ist wegen der hohen organischen Anteile ausgeschlossen. Dies bedeutet eine vollständige Entsorgung.

Der Verfasser empfiehlt, das Verfahren für die Sanierung von Moorflächen (Torf, Mudde), wie es eigentlich die Zulassung des EBA erfordert, vorläufig nicht zuzulassen. Ausgeführte Vorhaben sollten einer regelmäßigen Bewertung durch ein unabhängiges Institut bezüglich des Langzeitverhaltens unterzogen werden.

4.4.6.8 Gründung der Dämme in Moorflächen mit pfahlartigen Konstruktionen

Derzeit gibt es wohl kaum eine Gründungs- methode in Mooregebieten zur Anwendung pfahlartiger Tragglieder mit dem unterschiedlichsten

Echo unter den beteiligten Ingenieuren des Straßen- und Eisenbahnbaus. Das trifft zu für Planer, Bauausführende, aber besonders auf die Kontroll- und Überwachungsingenieure in der Betriebsphase für das Streckennetz.

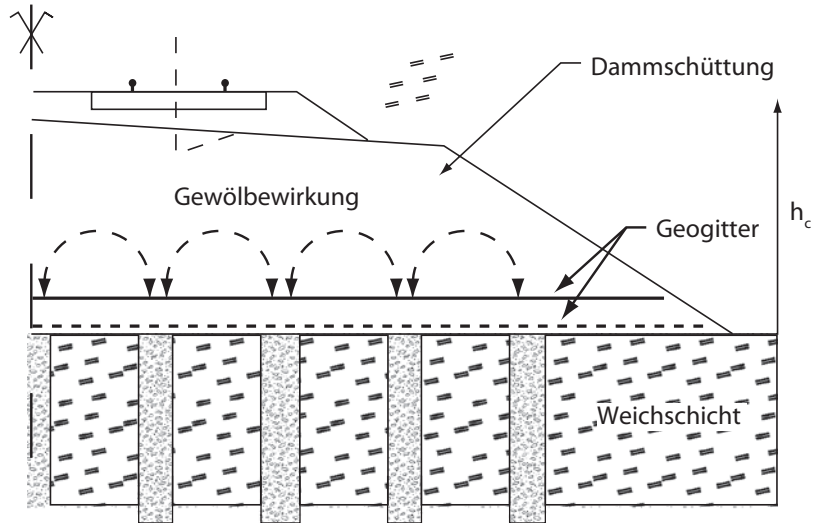
Jede neue Methode braucht Zeit für eine gewisse Reife der Vorbereitung, aber auch kritische und wissenschaftliche Begleitung in der Nutzungsphase. Nur hier entscheidet sich, ob die Forderungen nach einer langjährigen, unterhaltungsarmen Nutzung erfüllt werden oder nicht.

An den folgenden Beispielen wird deutlich, dass kritische Stimmen meist nur in regionaler Ebene zu finden sind – die generelle Auseinandersetzung bleibt leider aus. Die Richtlinien werden nicht ausreichend an den Wissensstand der Erkenntnisse einer Baumaßnahme herangeführt. Die Folge ist, dass die Unternehmen dies ggf. als betriebliches Know-how nutzen, aber nicht zum Allgemeingut machen. Baufehler werden also immer wieder an gleicher Stelle gemacht. Zusammenfassend gibt es folgende Kritikpunkte:

- nicht kalkulierbare Nebenwirkungen auf das befahrene Gleis durch die Bautechnologie bei den Sanierungs- bzw. Ertüchtigungsarbeiten (starke Senkungen, Verschiebungen und in kritischen Fällen Brucherscheinungen am Erdkörper),
- mehr Setzungen als vorhergesagt in der Nutzungsphase bis hin zu Rissbildungen im Bahnkörper und damit verbunden die eingeschränkte Nutzung (Herabsetzung der Geschwindigkeit) bzw. erhöhte Unterhaltungsaufwendungen,
- optisch wahrnehmbare elastische Verformungen vor dem Triebfahrzeug (Welle), also in Längsrichtung, obwohl in den Bemessungsansätzen keine horizontalen Kräfte in dieser Richtung wirken sollen,
- es fehlen Bewertungskriterien, um die Schwere eines Schadens beurteilen zu können,
- die Schwingstabilität wird in einigen Fällen nicht erreicht.

Die Ril 836 nennt folgende Herstellungsverfahren der Tragsäulen und verbindet mit der Anwendung eine Zustimmungsverpflichtung (UIG =

Abb. 4.108 Zweilagig mit Geogitter bewehrte Dammschüttung über vermörtelten Stopfsäulen nach [13]



Unternehmensinterne Genehmigung, ZIE = Zustimmung im Einzelfall) für

- geogitter-bewehrte Erdkörper auf Pfählen,
- geokunststoff-ummantelte Sand- bzw. Kies-säulen,
- Kalk- oder Zementsäulen.

Dazu sind Weiterentwicklungen wie Duktile Pfähle mit Stahlbetonkopfplatten, Stahlrohre verfüllt, Betonpfähle ohne Bewehrung und Zementpfähle im Injektionsverfahren mit den unterschiedlichsten Namensgebungen im Gespräch. Aber auch „Schottersäulen“ sind, obwohl ihr Versagen häufig festgestellt wurde, immer noch im Angebot der Unternehmen.

Vor allem fällt es jungen Ingenieuren schwer, die Solidität eines Angebots, welches sich i. d. R. nur mit der Herstellung auseinandersetzt, zu erkennen. Die Einflüsse der Technologie auf die „daneben“ zu gewährleistende Sicherheit des Eisenbahnbetriebes sind nicht erkennbar. Der Verfasser will versuchen, aus seinen Erfahrungen Hilfen zu Entscheidungsvorgängen zu geben und den Gesamtzusammenhang mit den derzeitigen Widersprüchen aufzuzeigen.

Lastannahmen und Reaktion des Baugrundes

In der Literatur [13, 14] wird die Lastannahme entsprechend den Forderungen der Ril 836 und RiL 804 als eine vertikal wirkende Flächenlast

mit Einrechnung der dynamischen Einflüsse berücksichtigt. Die erwarteten Baugrundreaktionen sind vertikale Verschiebungen, also Setzungen und horizontale Spreizkräfte. Dies sind die Anätze, die bei Annahme eines elastisch isotropen Halbraumes zu erwarten sind. Die verwendeten pfahlartigen Tragglieder sollen entsprechend den Vorgaben des Institutes für Bautechnik nur vertikal wirkende Lasten übernehmen. Die Einleitung der Kräfte wird in Form einer sich ausbildenden Gewölbewirkung bei Vorgabe einer Mindestüberdeckung durch Tragschichten nach Abb. 4.108 angenommen.

Den Aufbau der Gewölbewirkung sollen zwei Lagen Geogitter übernehmen, die sich wie eine Membran über die Aufstützpunkte (Pfahlköpfe) spannen. Das von den Aufsichtsbehörden weitgehend anerkannte Rechenmodell wird in [13] zum Zeitpunkt 1997 noch abhängig gemacht von „der Auswertung weiterer Messungen, um genauere Aussagen zur Übereinstimmung mit den gewählten Berechnungsansätzen, insbesondere aus dem Eisenbahnverkehr zu gewinnen“.

In [14] wird 2001 über Modellversuche „das tatsächliche Trag- und Systemverhalten des komplexen Systems unter Variation der maßgeblichen Einflussparameter untersucht“.

Neben neuen Erkenntnissen wird weiterhin noch ein erheblicher Forschungsbedarf angemeldet. In [14] wird über einige Anwendungsbei-

spiele berichtet, aber vorrangig aus der Sicht des Planers und des Bauausführenden.

Der Verfasser war bei einigen Anwendungen in der Bauphase, aber auch beratend in der Nutzungsphase für das Management Netz der Bahn tätig. Einige Auslegungen in den Darstellungen [14, 15] stimmen mit den praktischen Wahrnehmungen nicht überein. Während der Kontrollingenieur beim klassischen Oberbau auf eine Fülle von optischen und gewonnenen Daten das Bild der Tauglichkeit oder eines Fehlers mit entsprechender Erfahrung sehr eindeutig zuordnen kann, ist dies bei der durch Pfähle verstärkten Gründung unklar. Es fehlen zusätzliche Bewertungskriterien, die dem Gründungskörper zuzuordnen sind.

Ein Beispiel der Strecke Berlin–Hamburg am km 55,000 soll dies verdeutlichen. Im Jahre 1995/96 wurde auf längeren Abschnitten ein vierreihiges Raster von Rüttelstopfsäulen (\varnothing 0,60 m) mit 2-lagiger Geotextil-/Geogitterüberspannung analog Abb. 4.108 bei Moormächtigkeiten von 2–6 m hergestellt. Mehrere Rückfragen des Streckenmanagements nach Inbetriebnahme ließen die Notwendigkeit von Streckenbegängen und den Wunsch nach fachlicher Diskussion erkennen. Die Fragen im Vorfeld waren folgende:

- Die Aufmessung der Gleise „in Ruhe“ und mit den Gleismesswagen ließen keine kritischen Grenzwerte erkennen, aber optisch einen schadhafte Ober-/Unterbau bewerten.
- Die elastischen Einsenkungen des Gleises am Triebfahrzeug bei Befahrung sind zunehmend größer geworden als vor der Sanierung 1996.
- Die Setzungen in den betroffenen Senken wurden im Zeitraum eines Jahres mit bis zu 55 mm festgestellt.
- Warum gibt es am alten Überweg an der Auffahrseite eine Zone mit verstärktem Verschleiß an den Oberbaukleinteilen?
- Die These, dass horizontale Schubkräfte bei dieser Gründungsvariante nicht auftreten, ist in Frage zu stellen (s. Abb. 4.109a–4.109c)

Gespräche mit den Praktikern zeigten, dass sie ungenügend auf die Besonderheiten des neuen Systems vorbereitet waren. Die Fragestellungen waren voll berechtigt. Ein gesundes Gründungssystem darf die genannten Erscheinungen nicht zeigen.

Der Verfasser konnte dazu feststellen (s. Abb. 4.109a–4.109c)

- Folgt man dem Kriterium nach Tab. 4.16 für schwimmende Dämme im Endzustand bei Δ_s von 55 mm/Jahr wäre nur V_G 90 km/h zu empfehlen.
- Die Art und Weise der Entstehung der elastischen Verformung insbesondere beim ICE und der Verschleiß bzw. die Geräusche beim Befahren der Auffahrseite am Überweg (wirkt wie ein Rammbock) waren nur verständlich bei einer intensiven Energievernichtung.
- Wenn plastische und elastische Verformungen dieser Größenordnung auftreten, dann ist auch mit einer „Porenwasserdruckwelle“, d. h. mit horizontalen Schubwirkungen, zu rechnen. Die Statik des Verfahrens steht in Frage.

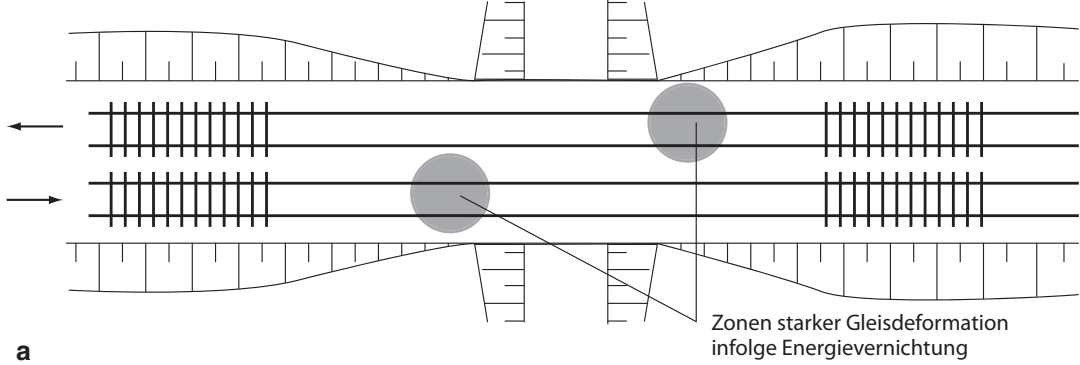
Die Information an die Leitung der Bahn führte unverzüglich zu einer Reduzierung der zulässigen Geschwindigkeit (2001). In den folgenden Sommermonaten wurde etwa an genanntem Standort ein Grossschurf angelegt und die Situation analysiert. Danach gab es erhebliche Mängel wie

- ungleiche Höhe der Pfahlköpfe,
- eine größere Anzahl der Betonrüttelpfähle hatte Schafftrisse,
- die Geotextil-/Geogitterbewehrung hat offenbar die Gewölbewirkung nicht abgesichert (fehlende Einspannung, zu große Dehnungen),
- die organischen Böden wurden entgegen den Annahmen durch Verkehr belastet,
- die Schwingstabilität des Systems ist nicht gegeben.

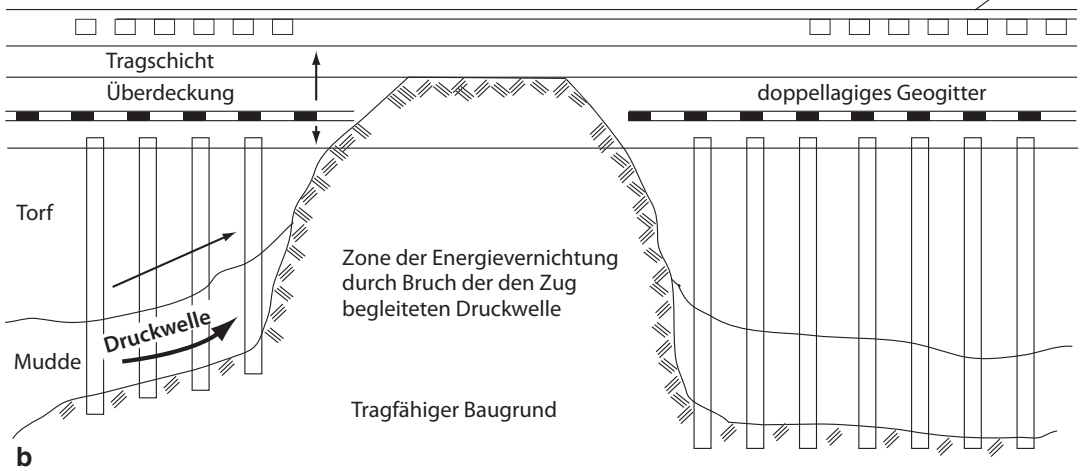
In [15] werden die Details der Reparatur, aber auch die Maßnahmen der Ertüchtigung von 2002 ausführlich dargestellt. Durch massive Kürzung der Säulen wurden automatisch der kritische Punkt der Überdeckungshöhe sowie durch Teilaushub von organischen Schichten die offensichtlichen Ursachen der oben dargestellten Situation beseitigt. Die Strecke ist in diesem Abschnitt mit 230 km/h seit Beendigung der Baumaßnahmen befahrbar.

Eine Kernfrage des statischen Systems ist offenbar die Überdeckung Pfahlkopf bis zur OK

Draufsicht über Zonen verstärkter Verschleisserscheinungen am Oberbau



Baugrundquerschnitt am Baugrundsattel und Rüttelstopfsäulen mit Geogitterbewehrung in den angrenzenden Moorsenken



Elastische Verformungen des Oberbaus und die Porenwasserdruckvorlaufwelle im organischen Untergrund

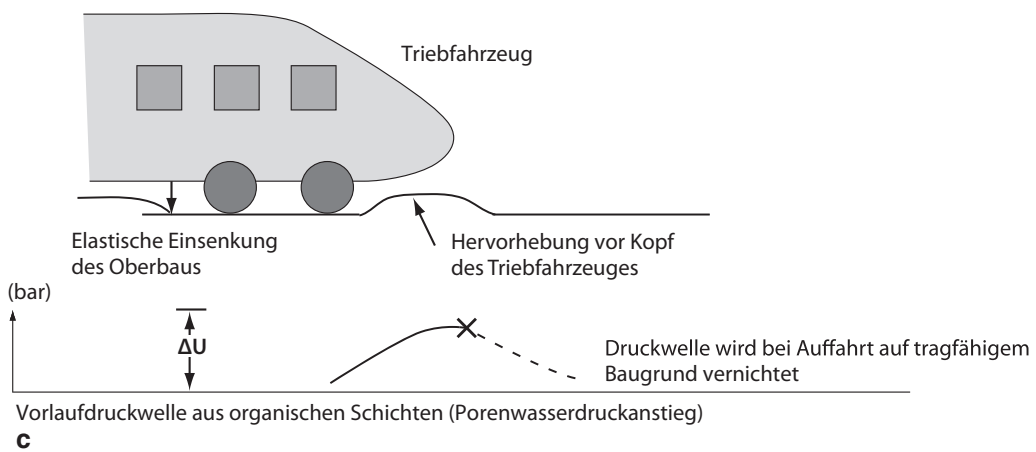


Abb. 4.109 a–c Wirkungen bei Auslauf einer Porenwasserdruckwelle aus einer Moorsenke im Bereich tragfähigen Baugrunds

Tab. 4.25 Vergleich der Bodenverdrängung je Standort bei Herstellung pfahlartiger Tragglieder

| Pfahldurchmesser (mm) | Verdrängter Querschnitt bei Pfahlherstellung (m ²) | Vergleich der Verdrängung zu Ø 400 mm % | Vorrangige Anwendung |
|--------------------------|--|---|------------------------------|
| 400 | 0,126 | 100 | Sanddrains |
| 500 | 0,196 | 156 | Rüttelstopfsäulen |
| 600 | 0,283 | 224 | Rüttelstopfsäulen |
| 700 | 0,385 | 305 | Geotextilmantelte Sandsäulen |
| 800 | 0,502 | 400 | Geotextilmantelte Sandsäulen |

der Tragschicht (kühne Planer rechnen dazu den Oberbau bis OK Schiene). In [8] wird 1991 aus praktischer Erfahrung – geprägt durch den ursprünglich dominanten Dampfloktrieb auf dem Gebiet der Deutschen Bundesbahn – berichtet. Dazu gab es bei (der Deutschen Reichsbahn [3, 6, 7]) ähnliche Erkenntnisse zur Schadensursache, aber wenig Übereinstimmung zu den vorgeschlagenen Maßnahmen (Schottersäulen, Kästeneinsatz). Völlig einig waren sich die Fachkollegen in einer Feststellung zur Anlage 5 in der Veröffentlichung der DB 28a [8], s. Tabelle 4.18: „Bei Überdeckung (OK Moorfläche bis OK Tragschicht) von $\geq 4,0$ m sind keine schädlichen Auswirkungen zu erwarten“. Mit dieser allgemeinen Faustformel war der Oberbauer sicher, dass alle Schubkräfte aus Anfahr- und Bremskräften in diesem Schubquerschnitt von mind. 11 m² bei eingleisigem Bahnkörper durch Reibung im mineralischen Boden abgebaut sind. Im zuvor beschriebenen Beispiel war dieser „Schubquerschnitt“ bei Überdeckung 2 m auf 40 % reduziert. Ob die Daumenregel 4 m Mindestüberdeckung bei den gewachsenen Geschwindigkeiten von seinerzeit 120 km/h auf angestrebte 300 km/h noch ausreicht, wäre zu prüfen. In jedem Falle hält es der Verfasser für leichtfertig, eine horizontale Beanspruchung der Überdeckung < 4 m in Moorstellen zu negieren. Die Deutsche Bahn sollte interessiert daran sein, diesen Lastfall eindeutig zu definieren. Auch sollte der Aspekt, dass solche pfahlartigen Säulen nur vertikale Kräfte unabhängig von der Lage des Pfahlkopfes aufnehmen, kritisch bewertet werden.

Einflussfaktoren aus der Technologie bei der Herstellung von pfahlartigen Säulen

Die Fertigung der pfahlartigen Säulen wird nicht im schonenden Bohrverfahren, sondern

von allen Anbietern aus Gründen höherer Leistung im Verdrängungsverfahren hergestellt. Die Verdrängung und der mehrfach wiederholte Rüttelvorgang führen bei mineralischen Böden zu Kornumlagerungen, solange das in den Poren vorhandene Wasser abfließen kann. Deshalb hat diese Methode bei einem Untergrund aus Sanden und schwach bindigen Böden $k_f \leq 10^{-5}$ ms eine im Voraus zu erwartende hohe Qualität ohne Nebenwirkungen auf das Umfeld. Bei gleicher Technologie zur Herstellung solcher Pfahlelemente in einem Moorgebiet sind deshalb nicht die gleichen Ergebnisse zu erwarten.

Bei der Eintreibung des Rohres mit entsprechenden Rüttlern wird in der organischen Schicht, bedingt durch den anderen Charakter der Torfe und Mudden gegenüber Sanden, keine Kornumlagerung erreicht, sondern der zu schaffende Raum für den Pfahlstandort durch Verdrängung erzeugt. Allein der Vergleich des zu verdrängenden Querschnitts lässt unterschiedliche Auswirkungen bei verschiedenen Querschnitten erwarten, s. Tab. 4.25.

In den Zulassungsbedingungen des Institutes für Bautechnik wird vorsorglich in den Anwendungshinweisen bei fast allen „pfahlartigen Traggliedern“ eine Anwendung auf bestimmte weiche Böden eingeschränkt. „Die Anwendung ist auf einen Baugrund zu beschränken, dessen undrainierte Scherfestigkeit $CU > 15$ kN/m² beträgt. Zwischenschichten mit CU-Wert von 8–15 kN/m² sind zulässig, soweit sie eine Einzelschichtdicke von 1,0 m nicht überschreiten.“

Vergleicht man die vorgegebenen Randbedingungen $CU > 15$ kN/m² mit dem Ist-Zustand, so haben die organischen Böden durch die Verdrängung und den eine Art Verflüssigung auslösenden Vibrationsvorgang nicht mehr annähernd einen

solchen vorgegebenen CU-Wert! Diese Auswirkungen sind entsprechend Tab. 4.25 nur gering zu halten durch Anwendung minimaler Querschnitte oder wenn der Empfehlung gefolgt wird, „Bohrpfähle“ herzustellen.

Die Anwendung von minimaler Rüttelenergie und ein im Probefeld getestetes Pilgerschrittverfahren sind die einzige Möglichkeit, einen Bruch zu verhindern.

Auf die Messung des Porenwasserdruckes sollte als verbindliche Kontrolle und Möglichkeit der Steuerung der Arbeitsvorgänge insbesondere bei Maßnahmen an befahrenen Bahnstrecken bei kritischen Profilen nicht verzichtet werden, siehe Abschn. 4.5.3

Trotz gewonnener Erfahrungen bei den Arbeiten sind Schadensfälle mit schwierigen Baugrundverhältnissen nicht ausgeblieben.

Fall Moorstellensanierung 1999 im Kirchseener Moor km 33,90–33,95 mit geotextilummantelten Sandsäulen Ø 800 mm

In diesem Falle ging es um eine Anschüttung für eine zweigleisige S-Bahnstrecke an die Fernbahn München–Rosenheim. Die Strecke lag am Rande einer Senke, deren Baugrund aus Torfen und dem sog. Seeton (spezielle Muddenart) bestand. Bedingt durch ein „unbrauchbares Baugrundgutachten sog. Billiganbieter“ war ein Planungsrückstand von fast 2 Jahren entstanden. Die Anbieter der geotextilummantelten Sandsäulen hatten eine im Sinne des AG geringe Bauzeit angeboten und den Zuschlag erhalten.

Nach zügigem Beginn der Bauarbeiten mit Herstellung von jeweils 5 Säulen im Querschnitt zeigten sich am 18.01.1999 erste Anzeichen von Verformungen. Unmittelbar am Dammfuß der Neuanschüttung stehen 50-jährige Fichten, die sich zu neigen begannen, Risse im Vorland und Hebungen wurden erkennbar. Trotz Arbeitsunterbrechung im sich abzeichnenden Bruchbereich war ein tiefgreifender Grundbruch nicht mehr zu stoppen. Die örtliche Presse reagierte umgehend (Abb. 4.110).

Die einsetzenden Untersuchungen ergaben, dass der „Seeton“ im fließähnlichen Zustand einen seitlichen Ausbruch unter der Anschüttung zum Teil vorbei an bestehenden geotextilummantelten Kiessäulen bzw. im unberührten Baufeld

flächenhaft verursacht hatte. Dazu entstanden Senken, aber auch Hebungen wie in Abb. 4.110 beschrieben.

Die Entwicklung des Schadens ist in einer Skizze in Abb. 4.111 dargestellt. Der Seeton flüssiger Konsistenz schiebt sich auf einer Breite von ca. 50 m unter die etwa 2 m dicke und stark durchwurzelte Torfschicht, die relativ geringe Wassergehalte aufwies.

Die in Messprofilen aufgenommenen Verformungen waren 2 Tage nach dem Bruch nur noch als Setzungen und horizontale Verschiebung an der Geländeoberfläche erkennbar. Veränderungen an den Fernbahngleisen führten zur Herabsetzung der Geschwindigkeit in der Gefahrenstelle auf $V_B \leq 30$ km/h und einer permanenten Überwachung.

Das Ausmaß der Schäden im Arbeitsplanum und am Böschungsfuß zeigen die Abb. 4.112 und 4.113.

Zwei zusätzliche Stahlrohrreihen sollten das seitliche Ausweichen des Seetons behindern und als Fließsicherung dienen (s. Abb. 4.114). Zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme im Mai 1999 waren noch erhebliche Verformungen an den Gleisen der Fernbahn, aber auch an der neuen S-Bahnstrecke zu verzeichnen. Mehraufwendungen der Unterhaltung in Form von Stopf- und Richtarbeiten waren unvermeidlich.

Der Versuch, die Bruchstelle kurzzeitig mit Geogittern zu stabilisieren, erwies sich solange der Bruch wirksam war, als Fehlschlag. Es ging hier nicht, wie sonst üblich, um eine Verbesserung der Lastverteilung, sondern um einen Grundbruch wegen Materialversagens der Seetonschicht. Als Ursache muss man die Erzeugung eines kritischen Porenwasserdruckes ansehen, der in drei Etappen entstanden ist:

1. Die permanenten Setzungen an der Fernbahnstrecke erzeugen (wie an anderer Stelle gemessen) relativ hohe Porenwasserdrücke, die man bei ungünstigen Zügen bis zu 4 m WS bei Geschwindigkeiten um 120 km/h annehmen musste. Dieser Porenwasserüberdruck war vor Baubeginn bereits vorhanden.
2. Schütten einer ca. 2,50 m Auflast ohne ausreichende Liegezeit und ohne Schüttschema zur Herstellung der Arbeitsebene (s. Abschn. 4.4.6.5).



Noch 50 Meter von der Unglücksstelle gibt es Bodenwellen.

Foto: S. Roßmann

Moos versank durch Erdbeben

Kirchseeon (cd) – Ein gewaltiger Erdbeben hat das Kirchseeoner Moos im Landkreis Ebersberg erschüttert. Auf einer Länge von fast 70 Metern ist der Boden um bis zu vier Meter abgesackt. Für die Bewohner der beschädigten Privatgrundstücke ist der Verursacher des Erdbebens schon ausgemacht: Bei den Bauarbeiten der Bahn AG, die seit Monaten am viergleisigen Streckenausbau arbeitet, sei geschlampt worden. Bei der Bahn wird

das freie Spiel der Naturkräfte jedoch einzig auf den Untergrund geschoben: „Das war nicht vorhersehbar“, so Eckart Schneider von der Bahn AG in München. Der schlechte Untergrund haben die Verformungen verursacht.

Innerhalb von eineinhalb Stunden ist der Boden abgerutscht. Auf vier Privatgrundstücken an der Bahnbaustelle stieg der Boden um dutzende Zentimeter und warf unnatürliche Falten.

Die Bäume an der Abrißkante stürzten ab. Die wenige Meter entfernte zweigleisige Bahnstrecke München-Rosenheim sei jedoch nicht gefährdet, versicherte der Sicherungstrupp vor Ort. Die Züge passieren langsam die Schadensstelle. Die Bahn sucht nun für die Anwohner nach Wegen für eine Entschädigung. In den meisten Fällen gehe man von außergerichtlichen Einigungen aus, Prozesse werden aber nicht ausgeschlossen.

Abb. 4.110 Presseinformation in Münchner Merkur vom 21.11.1999– 2 Tage nach dem Grundbruch

3. Kurzzeitig danach beginnen die Rammarbeiten mit starker Vibrationstechnik jeweils im Profil ohne messtechnische Kontrolle im Verdrängungsverfahren.

Es gilt als mehrfach nachgewiesen, dass sich die genannten Einflussfaktoren im ungünstigen Falle superponieren. Zusätzlich können sich dazu Einflüsse aus Sprengarbeiten außerhalb der Baustelle aber durch Verbindungen zum Moorfeld (Moorrinne) überlagern. Je nach Beschaffenheit der organischen Schichtungen sollte ein kritischer Porenwasserüberdruck (wirksamer Poren-

wasserüberdruck) nach Erfahrungen des Verfassers entsprechend Tab. 4.27 in keinem Falle überschritten werden.

Obwohl die Erfassung von Daten der Erzeugung von Porenwasserdrücken aus den verschiedensten Einflussfaktoren noch nicht das nötige Interesse der Forschung gefunden hat, gibt es dennoch einzelne Vergleiche aus praktischen Messaufgaben (s. dazu Tab. 4.26).

Bei der Abwägung, welches Verfahren als Lösung vorgeschlagen wird, sollte man sich die Größe der Bodenverdrängung bei entsprechen-

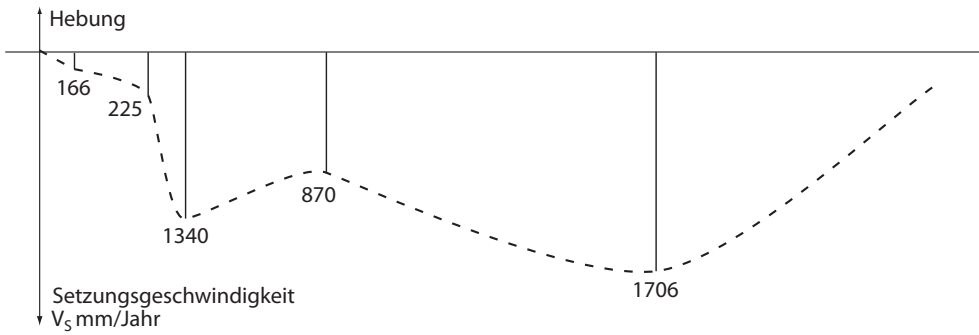
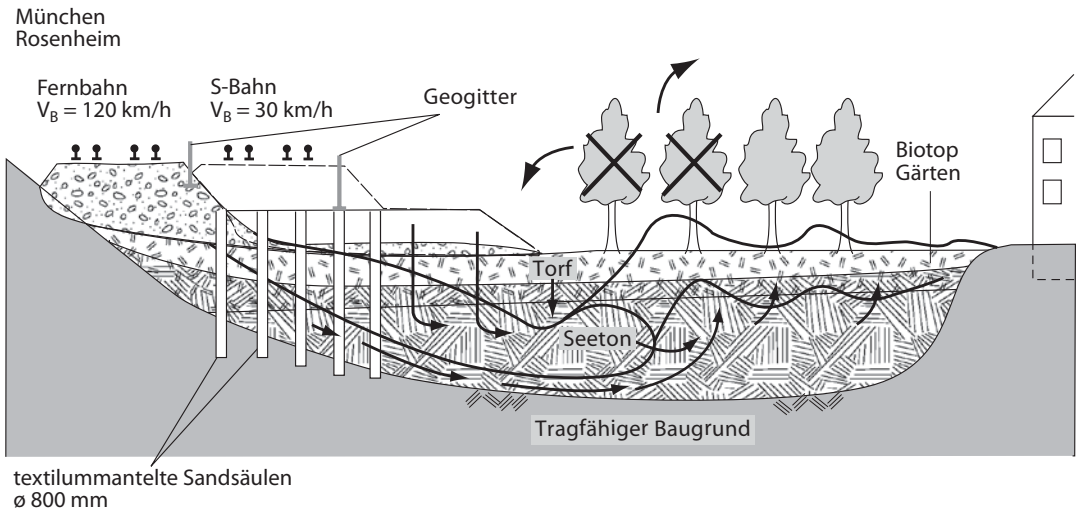


Abb. 4.111 Schematische Darstellung des Grundbruches. Ablaufende Bruchvorgänge Januar–März 1999

Abb. 4.112 Bahnkörperverbreiterung im Moor Zorneding/Kirchseon. Grundbruch Januar 1999 – Aufbrüche am neuen Dammfuß bis 2 m, Baumbewuchs angehoben und stürzt nach und nach um



Abb. 4.113 Bahnkörperverbreiterung im Moor Zorneding/Kirchseon. Grundbruch Januar 1999 – Abrisse und starke Senken im Planum und in der Böschung klaffende Risse im neu geschütteten Bahnkörper, Herabsetzung der Geschwindigkeit auf der Fernbahnstrecke auf $V_B \leq 30$ km/h wegen Gleisverformungen

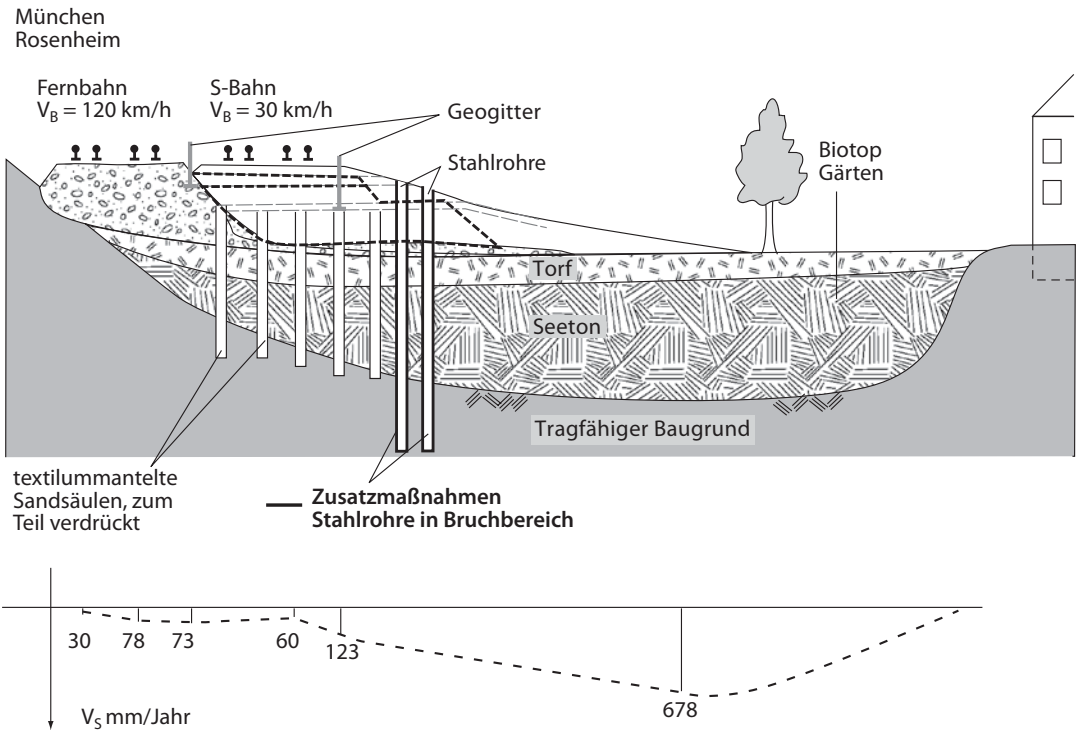


Abb. 4.114 Schematische Darstellung der Situation nach der Grundbruchsaniegerung im Mai 1999 mit Zusatzstahlrohren

dem Rohrdurchschnitt nach Tab. 4.25 vor Augen führen.

Da i. Allg. das Raster der Pfahlstandorte mit 2,50 m gewählt wurde, ist es verständlich, dass eine Volumenminimierung auf weniger als 50%

ohne einen zerstörerischen Anteil (Gefügestruktur) bei den besonders gefährdeten Mudden wohl kaum möglich ist. Selbst wenn es zu keinem Bruch kommt, bleibt immer ein hoher Porenwasserdruck zurück, der zu Langzeitsetzungen

Tab. 4.26 Gemessene Porenwasserüberdrücke in m Wassersäule (mWs) bei organischen Schichten > 3 m während der Herstellung pfahlartiger Gründungskörper Ø 600 mm und Sanddrains Ø 400 mm im Verdrängungsverfahren

| Spezifikation der Rammarbeiten | Max. Porenwasserdrücke ΔU(bar) (mWs) | | | |
|--|--------------------------------------|---------------------|--|---|
| | Torf | Mudde (Seeton) | Organ. Sand | Aus Verkehr |
| BV Berlin–Hamburg–(Friesack) 1995/96 | | | | V _B 45 km/h |
| Technik für Herstellung von Rüttelstopfsäulen Ø 600 mm bei V _B 45 km/h im befahrenen Gleis. Schlussfolgerung nach Gleisdeformation Energiereduzierung – Minimierung Vibration und Pilgerschrittverfahren 1–3– 5–7 sowie Arbeit in Zugpausen | 2,4 mWs 0,24 bar | 4,1 mWs 0,41 bar | – | P-Züge ICE 2,2 mWs 0,22 bar G-Züge 1,6 mWs 0,16 bar |
| BV München–Salzburg (Zorneding–Grafring) 1997–2000 | | | | V _B 120 km/h G-Züge 4,0 mWs |
| a) Herstellung von Sanddrains Ø 400 mm mit Super Delmag-Rammen (Mäkler 22 m, 8 t Bär) in Probephase (kritische Bruchgefahr) durch Großrammen | 3,5 mWs 0,35 bar | 4,4 mWs 0,44 bar | – | 0,4 bar P-Züge 2 mWs 0,2 bar |
| b) Reduzierung Energieeintrag – Fallbär → 4 t– Fallhöhe 2/3 h Arbeit im Pilgerschrittverfahren 1–4– 7–10 nur in Zugpausen | 1,5 mWs 0,15 bar | 3,5 mWs 0,35 bar | – | wie vor V _B 70 -90 km/h Zugverk. 4,0 mWs 0,4 bar |
| BV Berlin–Cottbus (Dahmetal) 2003–2006 | 1,5 mWs | 1,8 mWs | 2,95 | V _B 30 km/h |
| Herstellung Sanddrainagen Ø 400 mm im Pull-down-Verfahren (Eindrücken mit minimaler Vibration) Pilgerschrittverfahren 1–3– 5–7 | 0,15 bar | 0,18 bar | mWs 0,295 bar (Setzungs- fließgefahr) | |

Durch Probefelder konnte die Technologie der Herstellung bei genannten Bauvorhaben auf örtliche Bedingungen abgestimmt und ein Grundbruch mit Streckensperrung vermieden werden.

Tab. 4.27 Kritische Porenwasserüberdrücke Δ_U bei akuter Grundbruchgefahr (Erfahrungswerte)

| Betrachtung | Max. Werte |
|---|-----------------------|
| Flächenhafte Porenwasserdrücke – mehrere Werte in einer kritischen Gleitlinie | ≤ 6 m WS ≤ 0,6 bar |
| Einzelwert entlang der kritischen Gleitlinie | ≤ 7 m WS ≤ 0,7 bar |
| Arbeiten in alten Grundbruchbereichen | ≤ 4 m WS ≤ 0,4 bar |

führen wird. Deshalb gibt es bei Querschnitten > 500 mm die Empfehlung, das Bohrverfahren anzuwenden.

An den genannten Beispielen müsste deutlich geworden sein, dass bei Dammgründungen im Mooregebiet

- für die Planung nicht nur die Konstruktion, sondern auch die technologischen Randbedin-

gungen und Materialveränderungen mit großer Sorgfalt erarbeitet werden müssen,

- die Begleitung der Baumaßnahme (Überwachung) durch messtechnische Kontrollwerte wie Porenwasserdruck, Setzung, Standsicherheit und Schwingstabilität

im Verkehrsbau eine Grundvoraussetzung für erzielbare Qualität und technische Sicherheit sind.

4.4.6.9 Moorbrücken

Moorbrücken sind eine spezielle Kombination von Brückenelementen und einem Erdbauwerk nach dem Beispiel in Abb. 4.115.

Der Unterbau bildet eine auf Stahlbetonpfählen gegründete bewehrte Stahlbetonplatte, worauf das Erdbauwerk aufgesetzt wird. Die Dammhöhe sollte 3 m nicht überschreiten.

Der Unterbau bildet eine auf Stahlbetonpfähle gegründete bewehrte Stahlbetonplatte, worauf

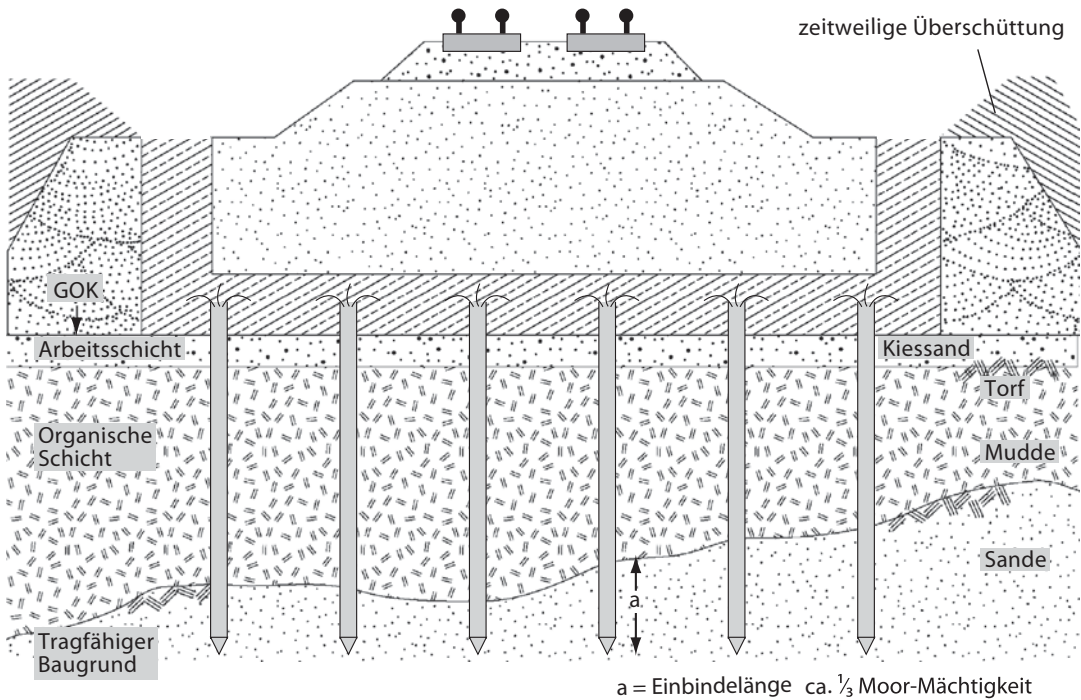


Abb. 4.115 Querschnitt einer Moorbrücke

das Erdbauwerk aufgesetzt wird. Die Dammhöhe sollte 3 m nicht überschreiten.

Während die Konstruktion nach bewährten Regelungen des Brückenbaus ohne Probleme entwickelt wird, muss mit einigen technisch-technologischen Schwierigkeiten in der Bauphase gerechnet werden.

Diese sind:

- Die Erkundung des Baugrundes muss in einem sehr engen Raster $< 10 \times 10$ m realisiert werden. Besonders wichtig ist die Aussagegenauigkeit zur Rammbarkeit. Da die Stahlbetonpfähle in Vorfertigung hergestellt sind, werden meist nur Überstände von 0,50 m akzeptiert. Bei stärkeren Abweichungen ist mit Ergänzungsprüfungen zurechnen.
- Vor Arbeitsbeginn ist eine Arbeitsschicht mit einer Mindestdicke ≥ 2 m in 3–4 Lagen analog den Schüttempfehlungen nach Abschn. 4.4.4 mit entsprechender Zusatzbreite (Berme) herzustellen. Eine ca. 4-wöchige Liegezeit sorgt für das Ausklingen der meist sehr starken Initialsetzungen. Bei der Festlegung der Arbeits-

breite (s. Abb. 4.115) sollte beachtet werden, dass die Einschüttung des Betontroges Setzungen verursacht. Eine zusätzliche Auflast kann diese vorab (analog Abschn. 4.4.6.5) ausgleichen. Gleichzeitig werden so Hebungen aus Rammarbeiten und den Seitenflächen verhindert.

- Bei den Rammarbeiten sollte auf Vibrations-systemwegen der Verflüssigungsgefahr der organischen Schichten, insbesondere von Mudden, verzichtet werden.
- Um den Einfluss der Verdrängung (s. Abschn. 4.4.6.8) möglichst gering zu halten, sollten die Arbeiten unter entsprechender Überwachung im Pilgerschritt-Verfahren erfolgen.
- Nach der Herstellung der Pfähle wird die Bewehrung der Pfahlköpfe aufgespreizt und die Bewehrung der Stahlbetonplatte eingebogen. Die Oberfläche der Aufschüttung dient gleichzeitig als untere Schalfläche.
- Der Betoniervorgang sollte möglichst in zwei Schichten erfolgen, wobei die untere als Unterbeton mit der Zulässigkeit von Rissbildungen ausgebildet werden sollte.

- Die Übergänge zu den anschließenden Streckenabschnittensollten mit Schleppplattenausgestattet werden. So können Setzungs- und Elastizitätsunterschiede mit erhöhten Verschleißerscheinungen am Oberbau weitgehendvermieden werden.

Der Bau von Moorbrücken wird sich wegen desimmensen Aufwands an Handarbeiten, aberauch wegen der Kosten immer auf Sonderfällebe-schränken. Nachteil ist auch, dass das Bauwerk-von unten keine Inspektion zulässt.

4.5 Schäden an Bauwerken im organischen Baugrund und die Rolle dieser Schichten als Überträger energiereicher Einwirkungen

4.5.1 Vorbemerkungen

Die klassischen Berechnungen zur Setzung und Standsicherheit eines Bauwerkes gehen von der Erfahrung aus, dass die statisch wirkende Last durch Reibung und Kohäsion im Baugrund am Ort der Aufbringung abgetragen wird – die Theorie des elastischen isotropen Halbraums.

Mit Sicherheit kann man davon ausgehen, dass die Gruppe der mineralischen Böden (Sande, Kiese, Schluffe mit ihren Kombinationen ...) in natürlicher Lagerung diesem Grund-satz folgt.

Organisch durchsetzte Schichten im Bau-grundprofil (z. B. organischen Sanden bzw. zu-nehmend bei Moorstandorten mit Schichtungen aus wassergesättigten Torfen, Mudden und orga-nischen Tonen) neigen zu einem völlig anderen nicht elastischen und nicht isotropen Verhalten. Sie erweisen sich als Überträger energetischer Belastungen mit hoher Geschwindigkeit in alle Richtungen des Moorfeldes. Dabei entstehen Porenwasserdrücke, die eine plastisch-flüssige Konsistenz hervorrufen, in deren Folge Setzungen oder andere Verformungen an Bauwerken entstehen.

Dieser Abschnitt soll dazu beitragen, solche meist dynamisch angeregten Zusatzbelastun-

gen für ein Bauwerk zu berücksichtigen. Das für diese Fälle anzuwendende Berechnungs-verfahren muss als statische und dynamische Untersuchung nicht nur an einem Querschnitt, sondern auch in einem Längsschnitt geführt werden.

Als Verursacher der geschilderten Erschei-nungen wurden meist dynamische Vorgänge, aber auch Naturgewalten, festgestellt:

- Sprengungen an Bauteilen im Moorfeld,
- Rüttelvorgänge bei Ramm- und Zieharbeiten stählerner Stützkonstruktionen (Spundwän-den, Stützen u. ä.),
- aus dem Bahnverkehr und Baumaßnahmen, Überlastung des Gleiskörpers und damit des Unterbaus mit schlechtem Wagenpark, Lang-zügen mit nicht zulässiger Schwerlast bzw. Geschwindigkeit,
- „Tuckern“ schwerer Bautechnik auf Schütt-flächen aus schluffigen Sanden, lockerer Lagerung und teilweiser Wassersättigung auf Kippen, z. B. ursprüngliche Flächen des Braunkohletagebaus,
- Blitzschlag; Einleitung über die Erdung der Maste zur Elektrifizierung,
- Überschallbelastung durch tief fliegende Jet-Formationen.

Die Aufmerksamkeit auf vorgenannte „Neben-wirkungen“ war erst gegeben, als Schadens-fälle eintraten, die man meist nicht zuordnen konnte. Mehr zufällig ergaben sich Erkenntnis-se beim Bau hoher Eisenbahndämme über z. T. sehr tiefe Moorrinnen (> 15 m), wo mit Hilfe von Porenwasserdruckmessgeräten in den orga-nischen Schichten ein standsicherer Aufbau durch entsprechende Schüttregime gewährleis-tet werden konnte (s. auch Abschn. 4.4.1 und 4.4.5.2).

Nach der Literatur [27] hat die Rütteltechnik beim Eintreiben von Pfählen oder Spundwänden die klassische Freifallramme durch seine höhere Wirtschaftlichkeit weitgehend abgelöst.

Es sei an dieser Stelle ausdrücklich darauf hingewiesen, dass es neben den Vorteilen auch Nebenwirkungen durch Auslösung von Scha-densfällen beim Bauen in Gebieten mit weichen Baugrundsichten (Torf, Mudde, Ton ...) gege-

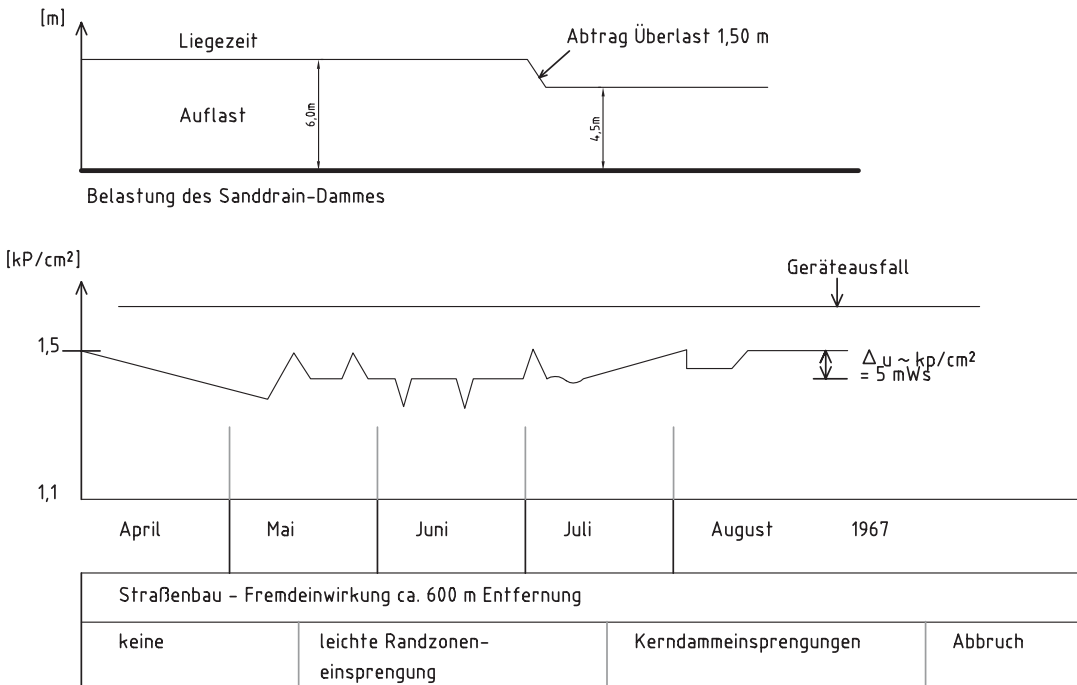


Abb. 4.116 Auszug Baudokumentation Strecke Berlin–Rostock, Sanddraingründung Laage Nord km 90,4+25, Geber 1 im Zentrum der Dammgründung

ben hat und in der Praxis immer wieder im Umfeld vorkommen.

An praktischen Beispielen sollen die Zusammenhänge und die Vermeidung eines Schadensfalles durch Steuerung der Technologie aufgezeigt werden. Es soll aber auch die Wissenschaft anregen, die dynamischen Einwirkungen genauer zu definieren und die Lücken in den Vorschriften zu schließen.

4.5.2 Erschütterungen im Baufeld durch Sprengungen

Es ist fast schon Alltag, dass die Sprengung von Blindgängern aus dem 2. Weltkrieg gewaltige Druckwellen und Schäden anrichtet. Solange diese Bomben im mineralischen Baugrund liegen, sind die betroffenen Flächen durch die Bremswirkung des Bodens begrenzt. Nicht so, wenn eine Detonation in einem Moorfeld erfolgt.

Nachfolgende Beispiele mit Zündungen kleiner Sprengladungen sollen die Auswirkungen

größerer Sprengkörper in Moorstandorten vorausschaubar machen und die Gefahrenabwehr verbessern.

4.5.2.1 Bau der Bahnstrecke Berlin–Rostock, Kreuzung mit dem Moorfeld Räknitzniederung bei Laage (Mecklenburg-Vorpommern)

Hier wurde eine Sanddraingründung bei Moor-tiefen bis 18 m und einer Dammhöhe bis 8 m mit Erfolg realisiert.

Grundlage war die Erstanwendung einer Porenwasserdruckmessanlage auf Baustellen der Deutschen Reichsbahn zur Steuerung der Schüttprozesse. In einer Phase der Belastungsruhe wurden an PWD-Gebern im kritischen Profil sowohl unerklärliche Überdrücke als auch Unterdrücke in der Größenordnung von 0,05–0,1 bar gemessen.

In Abb. 4.116 ist diese Situation auszugswise dargestellt, als im Juli/August 1967 ein ständiger Anstieg der Porenwasserdrücke sogar die Gesamtstandsicherheit gefährdete. Als

Ursache konnten anfangs Lockerungs- später Kerneinsprengungen für einen Straßendamm einer Ortsumgehung ca. 500–800 m entfernt in der gleichen Räknitz-Niederung ermittelt werden. Sofortige Veränderungen zur Gründung der Straße (Ende der Sprengungen) verhinderten nachhaltige Schäden am Eisenbahndamm. Bevor die Messtechnik, offenbar geschädigt durch die Druckwellen, ausfiel, wurden bereits Messwerte mit einer Druckerhöhung um 5 mWs und das in der Arbeitsphase der zeitweiligen Übersättigung gemessen (s. Tab. 4.26).

4.5.2.2 Einsprengung eines Straßendamms in einem Moorfeld neben der Kreuzung mit einer Eisenbahnstrecke

Zum Bau einer Verbindungsstraße bei Königs Wusterhausen in den Jahren 1990/1992, die eine Bahnstrecke kreuzt, waren umfangreiche Verdrängungs- und Kernsprengungen in bis zu 12 m tiefen Moorgebiet geplant. Die Deutsche Reichsbahn hatte zum Schutz der vorhandenen Brücken und Bahndämme Setzungsmessungen und visuelle Kontrollen festgelegt.

Zur Durchführung der ersten Verdrängungs-sprengungen in der Moorrandzone hatte die Bahnaufsicht gefordert, dass diese nur in Sperrpausen durchgeführt werden dürfen. Die ersten Sprengungen waren als Erschütterungen auf den Bahndämmen spürbar, aber keine Schäden am Ober- und Unterbau erkennbar.

Unerwartet waren Proteste der Anwohner aus einer ca. 1.000 m entfernten Siedlung. Erst lösten die Sprengungen das Klirren der Gläser in Schränken aus, dann fiel Putz von der Decke und es zeigten sich Abrisse an Schornsteinen und Anbauten. Die neuerlichen Bedenken der Deutschen Reichsbahn und die Häufung der Schäden führten zu einer Bausperre. Die Untersuchungen ergaben, dass Teile der Siedlung auf einer 4–5 m dicken Auffüllung eines Nebenarms des Moorfeldes errichtet wurden. Die Druckwellen aus den Sprengungen wurden auch in Bereichen der Siedlung durch Porenwasserüberdrücke und Verflüssigungen der Mudde übertragen.

Die Folgen sind die genannten Verformungen. Die Schäden machten zu Beginn schon das 5-fache der Planungen aus. Die Reparaturen an den Hochbauten waren noch mehrere Jahre nach Ende der Sprengungen notwendig. Die Technologie des Mooraustausches durch Sprengungen wurde verworfen. Mit erheblicher Zeitverzögerung wurde durch einen Schwimmbaggereinsatz bei erheblichen Kostensteigerungen das Vorhaben realisiert.

4.5.2.3 Sprengung eines Brückenpfeilers und die Schäden an einer Eisenbahnstahlbrücke bzw. den Anrampungen der Dämme in der Moorniederung der Peene bei Demmin (Mecklenburg Vorpommern)

In den Jahren 1971–1974 wurde zur Verbesserung der Schiffbarkeit eine neue Eisenbahnbrücke als Fachwerkkonstruktion über die Peene bei Demmin errichtet. Die Gründung der Betonwiderlager erfolgte in stählernen Kästen, die durch eine 5–6 m dicke Torfmuddeschicht in den tragfähigen Baugrund eingerammt wurden. Zwangsläufig mussten die Zufahrtsrampen bis zu 3 m erhöht bzw. verbreitet werden. Die Erdbaumaßnahmen wurden unterstützt bezüglich der Verringerung der Setzungen und Setzungszeit bzw. Erhöhung der Standsicherheit im Bauzustand und Sicherstellung der Funktion der nahe- liegenden alten Bahnbrücke in der Bauzeit durch Sanddrainagen. Damit war ein schneller Abbau der Porenwasserdrücke durch Entwässerung und eine Optimierung der Schüttprozesse möglich.

Alle Arbeiten waren in guter Qualität erfüllt, nur ein alter Brückenpfeiler im Flussbett in 10–15 m Abstand von der neuen Stahlbrücke musste vor der Inbetriebnahme gesprengt werden.

Mehrere Teilsprengungen brachten wegen der großen Festigkeit des Pfeilers nur geringe Fortschritte und viel Handarbeit mit sich. Die Inbetriebnahme der Brücke war gefährdet. Der Sprengmeister entschloss sich, die Schlussprengung mit einem wesentlich höheren Sprengstoff-

einsatz als geplant durchzuführen. Das Ergebnis war – der Pfeiler war weg, aber die Brücke durch von bis zu 50 cm große Gesteinsbrocken an einigen Zugstäben beschädigt. Die Widerlager hatten sofortige Verdrehungen und Setzungen bis zu 10 cm mit weiter anhaltenden Verformungen. Die Belastbarkeit der Brücke wurde mit 30% eingestuft, d. h. Züge durften nur im Schrittempo passieren. Die zul. Achslast war herabgesetzt. Hohe Kosten für die Reparaturen und die anfängliche Einschränkung des Eisenbahnbetriebes führten zu einem Prozess gegen die Verantwortlichen mit vielen Fragen zur Beweisführung und Erklärung der Zusammenhänge.

Klar war, dass die Schlussprengung neben der oberirdischen auch in der Muddeschicht eine gewaltige Druckwelle ausgelöst hat. Dies führte dazu, dass die Widerlager mit Spundwandkästen verdreht und angekippt wurden, d. h. diese Horizontalkräfte waren in keiner Berechnung erfasst. Die Porenwasserdruckerhöhung führte zu Zusatzsetzungen von ca. 10 cm in den Anrampungen. Auch die Widerlager zeigten längere zeitweilige Setzungen von max. 50 mm.

Daraus lässt sich folgern:

- die Vorgänge im Baugrund sind denen ähnlich wie in Abschn. 4.5.2.1 und 4.5.2.3, nur mit höherer Wirkung,
- wenn Sprengungen notwendig sind, müssen bei der Konstruktion horizontale Belastungen berücksichtigt werden.

4.5.3 Die Vibration – ein wichtiges Hilfsmittel zur Beschleunigung von Ramm- und Ziehvorgängen mit seinen Nebenwirkungen in Mooregebieten

4.5.3.1 Die Vibrationstechnik und ihr Wirkprinzip

An ein Trägergerät wird der Vibrator befestigt. Die Vibration wird durch einen Excenter (Unwucht) erzeugt, der durch Motorkraft in eine Drehbewegung zunehmend Vibrationskräfte auf den Boden abgibt. Diese beschreiben einen sinusförmigen Verlauf [27].

Die dabei entstehende Schwingung durchläuft niedrigere Frequenzen bis zu entsprechenden Höchstwerten je nach Konstruktion. In der Literatur findet man häufig den Hinweis, dass Frequenzen von 8–20 Hz. sich schädlich auf organische Böden (Eigenfrequenz) auswirken können (Grundbruchgefahr). Deshalb haben die Hersteller bei neuen Konstruktionen die Zuschaltung des Excenters erst bei hohen Drehzahlen, also hohen Frequenzen, ermöglicht. Die Erfahrungen zeigen, dass nicht allein die Frequenzen, sondern die in den Boden eingebrachte Energie sowohl für den Ramm-Rüttelerfolg als auch für entsprechende Nebenwirkungen verantwortlich sind. Deshalb ist es bei schwierigen Baugrundverhältnissen anzuraten, durch Rammungen mit Vibration die Festlegungen zur Rammfolge (Pilgerschrittverfahren o. ä.) durch Messungen der Reaktion des Baugrundes (z. B. Porenwasserdruck- und Erschütterungsmessungen) im Vorfeld der Bauarbeiten festzulegen.

Durch Messungen bei Bauarbeiten der Bahn wurde festgestellt, dass insbesondere stark zersetzte Torfe, Mudden in verschiedenen Erscheinungsformen, wie Seeton, Klei, Wiesenkalk u. a. sich als hervorragende Leiter solcher Vibrationen bei Rammarbeiten erweisen und zur Verflüssigung mit entsprechenden Nebenwirkungen neigen.

4.5.3.2 Proberammungen, Entwicklung der Technologie zur Sanddrainherstellung und die Überwachung in der Bauphase

Die Moorstelle „Dahmetal“, der 2-gleisigen Strecke Berlin–Cottbus, war mit steigender Streckenbelastung in einem Abschnitt als „schwimmender Damm“ geprägt durch ständige Unterhaltung und Geschwindigkeiten um $V_B \leq 70$ km/h (Tab. 4.19). Die Besonderheiten waren mehrere Moorrinnen bis 12 m Mächtigkeit und wechselnden Querneigungen. Die Vorgaben des Auftraggebers für den Endzustand mit $V_B \leq 220$ km/h, die ständige Gefahr eines Grundbuches und damit die mögliche spontane Streckensperrung, verlangten eine gründliche Vorbereitung [29]. Dieses traf insbesondere auf die exakte Bestimmung der Moordicken durch die Baugrunderkundung und die technologischen

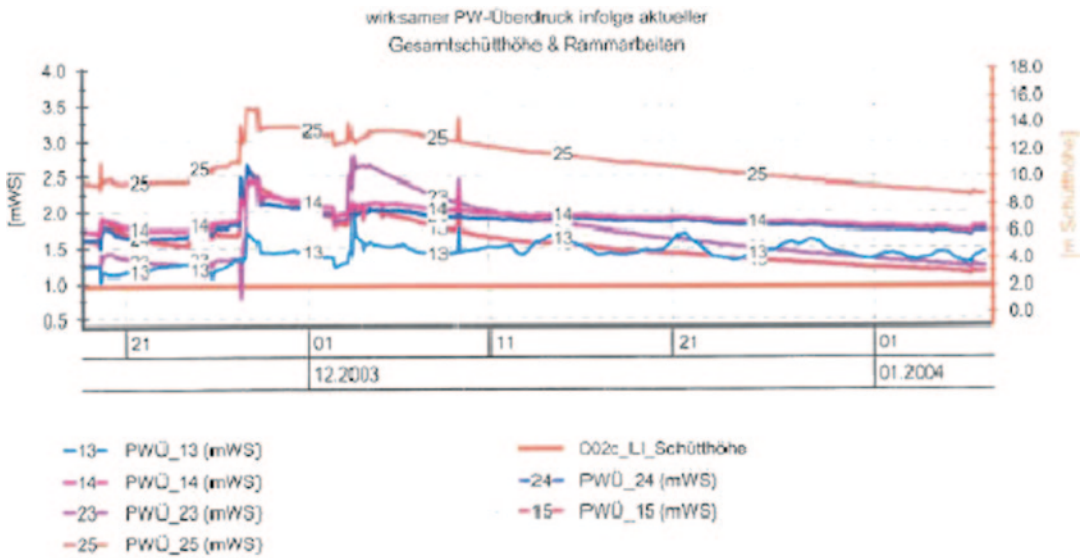


Abb. 4.117 Entwicklung der Porenwasserdrücke in m WS bei Proberammungen mit Vibration zur Sanddrainherstellung

Bauabläufe zu. Der Auftragnehmer teilte in der Ausführungsplanungsphase mit, dass er nicht die gewünschten Freifallrammen aus Termingründen zum Einsatz bringen könne, sondern modernste Rammtechnik mit Vibration im „pull down“ Verfahren. Dies und negative Erfahrungen mit anderer Vibrationstechnik bei Arbeiten an in Betrieb befindlichen Gleisen führten zu der Vereinbarung, den Bauarbeiten Proberammungen der vertikalen Sanddrains voranzustellen.

Die Kontrollmöglichkeit über die Vibrationswirkung war mit der Anordnung einer Porenwasserdruckmessstelle im kritischen Profil zur Kontrolle und Steuerung der Schüttabläufe gegeben.

Dieser Messbereich war auch das geeignete Zentrum der Proberammungen. So konnten aus anderen Bauvorhaben vertretbare Grenzen maximaler Porenwasserdruckanstiege mit einem DU von 4 mWS (Tab. 4.25) als Einfluss aus der Herstellung und dem Eisenbahnbetrieb festgelegt werden. Diese Anteile können sich im ungünstigsten Falle superponieren.

Abbildung 4.117 zeigt bei Beachtung der geometrischen Vorgaben schon nach wenigen Rammvorgängen mit Vibration bei Nachbarstandorten kritische Entwicklungen an.

Der Geber 25 und andere, die in der Muddeschicht eingebaut sind, nähern sich mit $DU=3,5$ mWS dem Grenzwert, obwohl die maximale Energie aus dem Bahnverkehr noch nicht eingetragen wurde.

Die Vorgabe von 4,0 mWS erfolgte dennoch, obwohl die Rammungen wegen Umrüstungen mit relativ großen Zeitabständen durchgeführt wurden. Nach weiteren Versuchen und entsprechenden Gerätevariationen konnte die Herstellungstechnologie und der Gesamttablauf vereinbart werden:

- Beim Eintreibvorgang des Hüllrohres durch die Arbeits- und Filterschicht darf die Vibration zugeschaltet werden.
- Das Rohr wird dann ohne Vibration allein durch die statische Last des Rammgerätes durch die organischen Schichten gedrückt (Pull-down-Verfahren).
- Mit Erreichen des tragfähigen Baugrundes darf die Vibration bis zum Erreichen der Einspannlänge von 0,5–1,0 m zugeschaltet werden.
- Die Folge der Drainherstellung wird im Pilgerschrittverfahren mit 1, 3, 5 ... in der jeweiligen Reihe bzw. auch im Querschnitt festgelegt.

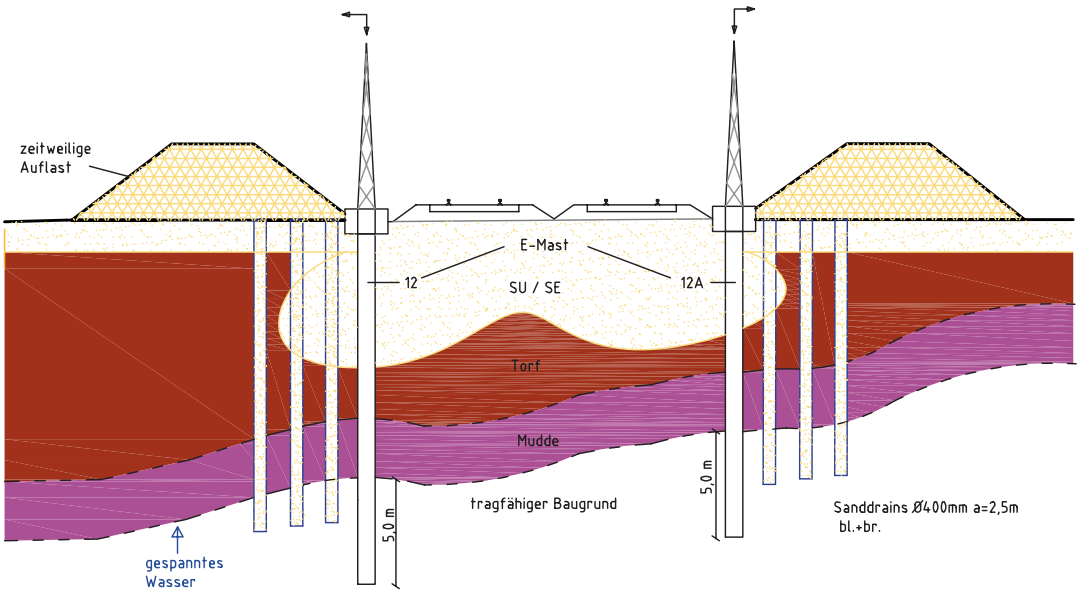


Abb. 4.118 Systemskizze Tiefgründung der E-Masten als Rammgründung nach Ausbildung von Verformungen infolge Einwirkung von Vibration im Einspannbereich bei der Sanddrainherstellung

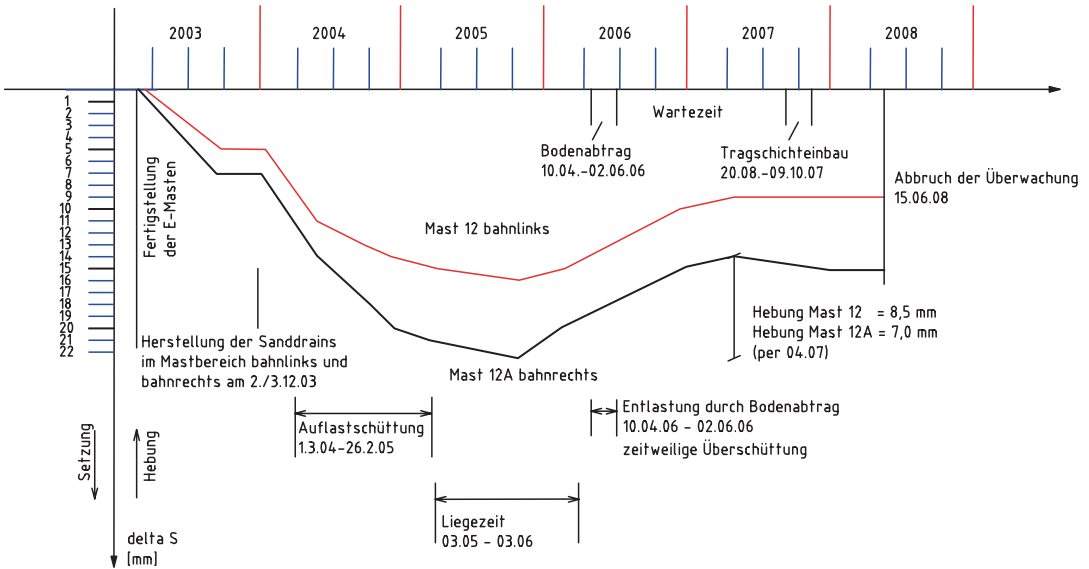


Abb. 4.119 Setzungen und Hebungen am Beispiel der E-Masten 12 und 12A km 53,771 Moorstelle Dahmetal, Sanddrainbereich – Strecke Berlin–Cottbus

- Die an den Bahnkörper angrenzenden zwei Drainreihen werden in nächtlichen Sperrzeiten hergestellt.
- Die Arbeitsrichtung wurde generell von außen nach innen, d. h. Richtung Gleis organisiert.
- Das jeweilige Team an der „Ramme“ wird besonders geschult und eine ständige Kontrolle durch Mitarbeiter der Bauüberwachung vereinbart.

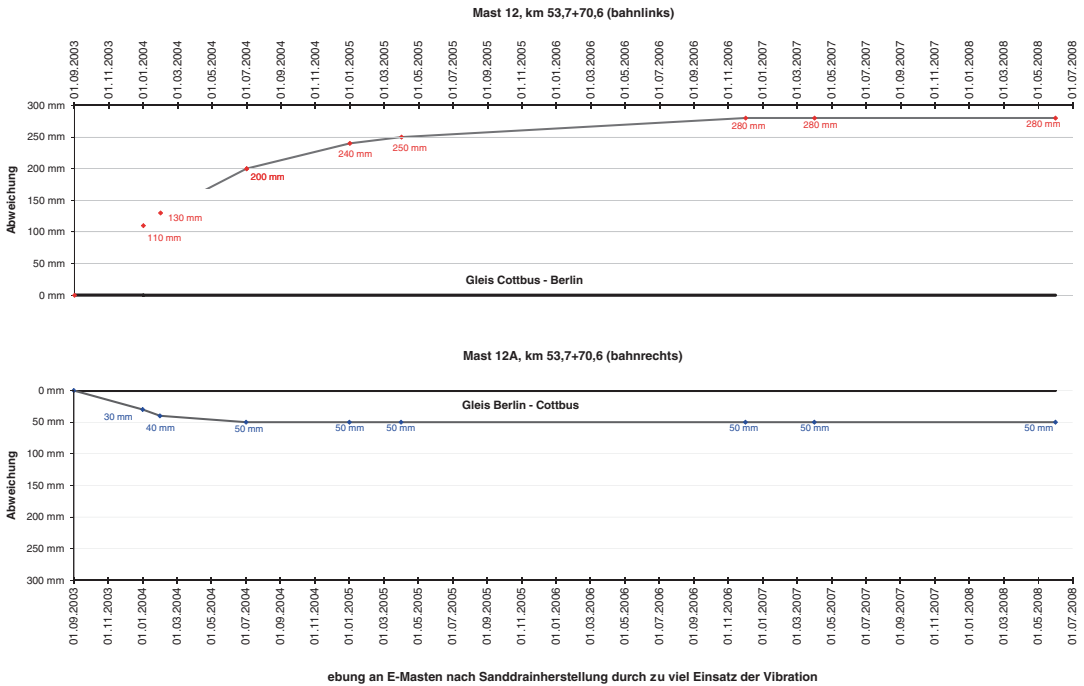


Abb. 4.120 Moorstelle Dahmetal – Horizontale Verschiebungen an E-Masten nach Sanddrainherstellung durch zu viel Einsatz der Vibration

Diese Festlegungen sicherten eine hohe Qualität und die vorgegebenen Termine. Bei den Arbeiten zu Beginn im kritischen Profil konnten durch die Porenwasserdruckmessungen die Vorgaben zusätzlich überprüft werden.

Trotz aller großer Sorgfalt hat es bei Arbeiten in den nächtlichen Sperrpausen im Bereich der E-Masten, durch Übereifer und Nachlassen der Kontrolle, Grund für eine Mängelanzeige gegeben (Abschn. 4.5.3.3)

4.5.3.3 Beeinträchtigung der Einspannung gerammter Mastgründungen der Elektrifizierung durch Einwirkung von Vibration

Die ursprünglichen Mastgründungen waren als Schwerkraftfundamente hergestellt worden. Die Neugründung der E-Masten im Vorlauf wurde durch stählerne Rammträger bis in den tragfähigen Baugrund realisiert. Begründet war dies durch die z. T. erheblichen Schiefstellungen und Setzungen der Altanlagen. Es bestand die Gefahr,

dass einige Altmasten durch die erzwungenen Setzungen des Untergrundes als Folge der Aufschüttungen die Baumaßnahme nicht überdauern würden. Ein Verkippen spontan in den Bahnkörper hätte möglicherweise zu einem Unfall, zumindest zu längeren Streckensperrungen geführt. Dieses war ein nicht überschaubares Risiko.

In Abb. 4.118 ist die örtliche Situation im sog. kritischen Profil dargestellt. Die zwei Sanddrainreihen im Bereich der Masten bahnlinks und bahnrechts wurden in nächtlichen Sperrpausen von 2 Rammkomplexen gleichzeitig hergestellt. Es herrschte am Ende allgemeine Zufriedenheit über die Einhaltung des Termins bei der hohen Vorgabe.

Die neuen Masten waren bereits 3 Monate vor Baubeginn ohne Mängel abgenommen worden. Ein Zeichen dafür, dass die bahneigene Freifallramme auf Bahnwagen gute Arbeit im Mooregebiet geleistet hat.

Nach mehr als 3 Monaten meldeten die Fachleute der Oberleitung, dass sich Veränderungen der Fahrdrathöhe und im sog. B-Maß

abzeichneten. Was anfänglich noch als Messfehler gedeutet wurde, ergab bei der Durchführung einer regelmäßigen geodätischen Überwachung folgendes:

- die meisten Masten in den Moorbereichen zeigten eine horizontale Bewegung weg vom Bahnkörper (Abb. 4.120),
- der Setzungsstillstand nach Abklingen der Eigensetzungen (≤ 10 mm) war beendet. Es gab neue Setzungen (Abb. 4.119) als Folge der Bauausführung.

Nähere Untersuchungen zeigten, dass die Leistungen der seinerzeit eingesetzten Rammkolonne bahnrechts die des links arbeitenden Teams übertraf. Einzelne Rammprotokolle zeigten letztlich einen erheblichen Mehreinsatz der Vibration beim Vortrieb der Rohre insbesondere beim Einbinden in den tragfähigen Baugrund. Dabei wurde das zulässige Maß von 0,5–1,0 m häufig überschritten. Damit wurden Teile der Einspannfläche der Mastgründung gelöst. Der Mast neigte sich sehr langsam, entgegen der eigentlichen Zugrichtung, vom Gleis weg.

Zur Freude aller Beteiligten verlangsamten sich die Verformungen und im Urteil der Experten wurden zulässige Grenzmaße nicht überschritten. Die Einspannung der Fundamente hat sich auf natürliche Weise wieder aktiviert. So bleibt nur ein kleiner Schönheitsfehler. Die Anlage aber ist voll funktionstüchtig. Neu für den Verfasser war, dass sich ein Teil der Setzungen zurückentwickeln (Abb. 4.119). Die Konsequenz ist, dass Vibration nicht nur in organischen Schichtungen, sondern auch in den sog. tragfähigen Böden bei unkontrolliertem Einsatz nachhaltige Schäden verursachen kann.

4.5.3.4 Schiefstellung von Spundwänden bei Rammarbeiten mit Vibrationswirkung in Mooregebieten

Nach den bisherigen Schilderungen ist es verständlich, wenn häufig von Schiefstellungen und Ausbauchungen an Spundwänden in Moorefeldern an Bahnkörpern berichtet wird. Meist sollte

ein Grundbruch, der eine Gefährdung der Standicherheit des Bahnkörpers und damit des Zugbetriebes ist, beruhigt werden. Durch den Einsatz der Vibration beim Rammvorgang kommt es zu Verflüssigungserscheinungen der organischen Böden um den Rammkörper, die sich systematisch ausdehnen und Porenwasserüberdrücke auslösen. Diese führen zu einer neuerlichen Aktivierung der Schubkräfte des Grundbruches mit der Folge von Schiefstellungen der Spundwände.

Erfahrungsgemäß erweist sich in solchen Fällen der Einsatz von Freifallrammen viel günstiger, wo durch das unrythmische Schlagen die geschilderten Erscheinungen und Schäden weitgehend ausbleiben. Eine Herstellung vom Bahnwagen des Gleises ist ein zusätzlicher Vorteil.

4.5.4 Schäden durch dynamische Wirkungen

4.5.4.1 Schwingstabilität schwimmend gegründeter Bahndämme

Die Entwicklung des Bahnverkehrs in den letzten 50 Jahren mit höheren Geschwindigkeiten, gleichartiger Beladung von Wagentypen mit gleichen Achsabständen, längeren Zügen, höheren Achslasten zeigt zunehmend Wirkungen an schwimmend gegründeten Dämmen.

Bei Begehungen des Bahnkörpers ist dies bei Zugdurchfahrten deutlich als „Aufschaukeln“ festzustellen. Der Bahnkörper gerät in Schwingungen, die am Gleis zu ansteigenden elastischen Verformungen führen. Dabei kommt es zu stärkeren Be- und Entlastungen des rollenden Rades. Im ungünstigsten Fall kann es zu Entgleisungen hinterer Wagen des Zuges führen.

Die Deutsche Reichsbahn wurde erstmals durch eine Entgleisung Ende der 70-er Jahre damit konfrontiert. Diese fand im Bereich des „Kölschsees bei Dannenwalde“, der Strecke Berlin–Rostock (siehe Abb. 4.121), statt. Diese Strecke wurde zunehmend mit Ganzzügen von Kohle, Getreide, Zement, Stahlprodukten u. a. Schüttgütern befahren. Es entgleisten die letzten 3 Wagen – beladen mit Getreide – des Langzuges.

Sanierung nach Schadensfall

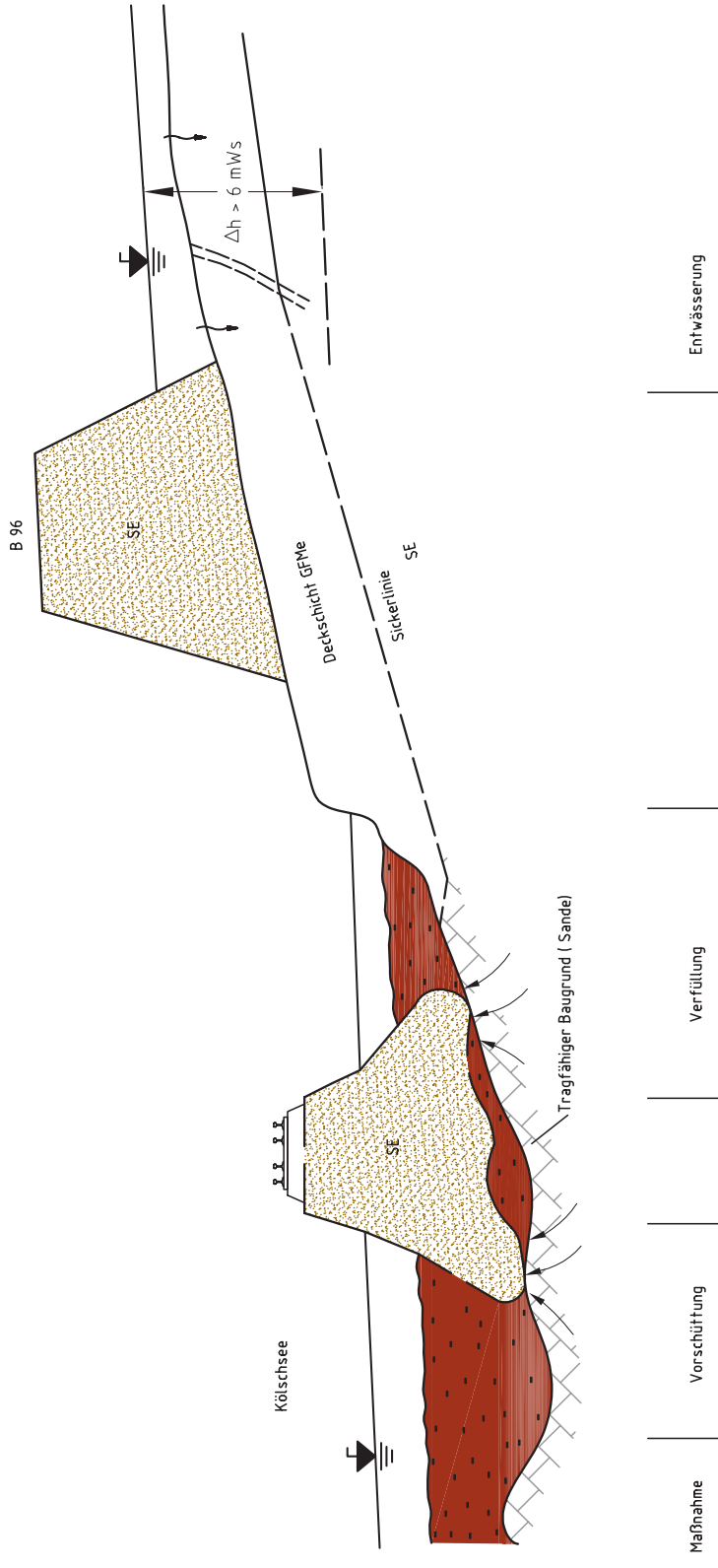


Abb. 4.121 Schwingungsempfindlichkeit Bahndamm Kölschsee, Strecke Berlin–Rostock bei Dannenwalde

Eine kurze Zeit vorher durchgeführte Befahrung mit dem Oberbaumesswagen bestätigte diesem Abschnitt der Strecke eine gute Qualität. Dieser Dammabschnitt zeigte aber schon häufiger fehlende Schwingstabilität, die der Oberbaumesswagen nicht feststellen kann, der Mensch aber gefühlsmäßig wahrnimmt. Der Damm durch den Kölschsee wurde als Teil einer Streckenbegradigung 1964–1966 als schwimmender Damm über ca. 10 m tiefen Moorschichtungen hergestellt. Die im Projekt geplanten Einsprengungen des Dammes wurden wegen der Nähe eines Raketen-depots der „Roten Armee“ nach ersten Anfängen untersagt. Da sich gleichzeitig durch die Aufhebung eines Überweges der B96 und der Neuverlegung der Straße Unterströmungen an der Seeseite des Dammes bemerkbar machten, zeigte sich bei der Nachuntersuchung die große Instabilität des Bahnkörpers (Standicherheit). Die Erhöhung des Dammes, die Trägheitserhöhung durch Vorschüttungen an der Seeseite und durch Entwässerungsmaßnahmen an der B96 wurde die Stabilität wieder hergestellt. Es wurde dieser Fall als Einzelfall betrachtet und fand keine Berücksichtigung in den Vorschriften. Durch das verbesserte Kontrollsystem an Erdbauwerken wurde solche fehlende Schwingstabilität an anderen Moorstellen, insbesondere nach Einführung der Dieseltraktion, festgestellt. Ein Sanierungsprogramm folgte. Eine wissenschaftliche Begleitung zur Aufklärung der Zusammenhänge lief nur zögerlich an.

Das schon mehrfach zitierte Objekt „Moorstelle Dahmetal“ ergab mit der Bildung der Deutschen Bahn die Möglichkeit, das mehrfach erprobte Programm der Bahnüberwachung durch „Schwingungsmessungen“ zu ergänzen. Für diese Leistungen wurde das NLF Hannover gewonnen [28].

Messungen am praktischen Beispiel sollten Annahmen aus Berechnungen prüfen. Es wurde festgelegt:

1. Messung 8/2003 bei einem Stand 2 m Aufschüttung beidseitig des Dammes über den Moorflächen (Arbeits- und Filterschicht) ($V_B \leq 30$ km/h, beide Gleise),
2. Messung 9/2005 bei voller seitlicher Auflast-schüttung ($V_B \leq 30$ km/h, beide Gleise),

3. Messung 5/2008 nach Sanierung der Tragschichtsysteme ($V_B \leq 50$ km/h, beide Gleise). Folgende Ergebnisse wurden erzielt:

- Fahrgeschwindigkeit der Züge, Achslasten und Achsabstände haben Einfluss auf die Schwingfrequenz Phase 1 < 15 Hz, Phase 3 > 20 Hz,
- in Analogie zu Fahrbahnbewertungen bei Autobahnen und Flugplätzen wurde der „Railroad-response-Faktor“ bestimmt: vor der Sanierung (Phase 1) 0,5–3,1 rrr, nach der Sanierung (Phase 3) 0,6–0,8 rrr.

Das Endergebnis zeigt eine wesentliche Verbesserung des Schwingverhaltens des „schwimmenden Dammes“ bedingt durch die Konsolidierung der organischen Schichten, Abbau der Porenwasserdrücke auch in der Mudde $D_u < 1,04$ mWs, Erhöhung der mitschwingenden Masse aus den seitlichen Anschüttungen. Das Gesamtsystem entspricht trotz der verbleibenden, aber konsolidierten organischen Schichten dem eines tragfähigen Baugrunds, und dies auf unbegrenzte Zeit. Die organischen Schichten, insbesondere die Torfe, haben durch ihre Verfilzung einen mattenähnlichen Effekt, der alle Dammteile verbindet. Durch die flächenhaften Belastungen der seitlichen Aufschüttungen (Bermen) konnten Schwachstellen des Untergrundes, durch höhere Setzungen erkennbar, frühzeitig in der Bauphase durch gezielte Nachschüttungen homogenisiert werden. Dadurch entstand eine homogene, gleichmäßig tragfähige, standsichere, mit weniger elastischer Verformung behaftete und letztlich schwingstabile Aufstandsfläche für den Oberbau. Die organischen Bodenschichten sind durch ihre Konsolidierung kein Störfaktor mehr. Sie reagieren als Teil des Gesamtsystems. Die Auflagen des Umweltschutzes zur Erhaltung der Moore werden erfüllt.

Mit den genannten Messungen konnte erstmals der Nachweis geführt werden, dass die technische Lösung zur Sanierung beispielhaft den Erfolg sichert. Dadurch kann für die Moorstelle Dahmetal unbedenklich eine Befahrbarkeit für den Personen- und Güterverkehr $V_B \geq 220$ km/h in Zukunft gewährleistet werden.

4.5.4.2 Verformungen an Bauwerken entlang von Bahnstrecken im Mooregebieten

Mit der Steigerung der Intensität des Bahnverkehrs bleiben Wirkungen aus der Dynamik des Zugbetriebes nicht auf den Unterbau der Strecke in Mooregebieten begrenzt, sondern verteilen sich an Schwachpunkten in das Umfeld.

Dabei sind Setzungen und Schiefstellungen an Stellwerken, Hochbauten der Stromversorgung und Widerlagern von Überführungsbauten immer häufiger. Dazu zählen auch Stützbauwerke und Maste der Elektrifizierung.

Die Ursache der Schäden sind häufig Streifenfundamente oder bewehrte Platten auf sandigen Aufschüttungen über organischen Schichtungen oder schwebende Pfahlkonstruktionen. In einfachen Fällen äußert sich der Zugverkehr im Klirren von Gläsern, selbst öffnende Türen u. ä. In den vorangegangenen Abschnitten wurden die Vorgänge zur Schadensbildung und Beseitigung so beschrieben, dass diese auch bei Hoch- und Brückenbauwerken berücksichtigt werden können. Voraussetzung ist eine Baugrunduntersuchung, die höheren Ansprüchen bei Neubauten und Reparaturen gerecht wird. Die Berechnung solcher Gründungen in Moorfeldern erfordert auch hier neben der klassischen Statik die Berücksichtigung dynamischer Einflüsse.

Danksagung Der Autor dankt den Herren Dipl.-Ing. Jens Engelmann und Dipl.-Ing. Thomas Rahn für die kritische Durchsicht und die nützlichen Hinweise zur 2. Auflage.

Literatur

1. Deutsche Bahn Netz AG, Richtlinie 836: Erdbauwerke und sonstige geotechnische Bauwerke planen, bauen und instand halten. Aktualisierung vom 1.10.2008
2. DIN 4020: Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke
3. TGL 11482/08: Erdarbeiten im Strassen- und Eisenbahnbau. – bis 1990 gültige Vorschrift der DR
4. Darr E, Fiebig W (1999) Feste Fahrbahn, Konstruktion, Bauarten – Systemvergleich Feste Fahrbahn – Schotteroberbau. Schriftreihe für Verkehr und Bahntechnik (VDEI), Bd. 1. Tetzlaff, Hamburg
5. BN 918062 „Kornmischungen für Trag- und Schutzschichten zur Herstellung von Eisenbahnfahrwegen“. Technische Lieferbedingungen (TL) Ausgabe 03/2000, gültig ab 01.04.2000
6. TGL 24756: Eisenbahnunterbau. – bis 1990 gültige Vorschrift der DR
7. Rahn H, Gruger N (1985) Beitrag zum Bau, zur Sicherung und Sanierung von Bahndämmen auf organischem Baugrund. Diss. HfV, TU Dresden
8. Schwingungsverhalten von Bahnkörpern auf organischem Boden (Torf). Bautechnik 28a v. 02/1991 Deutsche Bundesbahn BZA
9. Tost S, Kempfert HG, Brunger F (2004) Ertüchtigung einer Bahnstrecke unter einem optimierten, geogitterbewehrten Tragschichtsystem über teilvermortelten Stopfsäulen (TVSS). Planung, Bauausführung, Beobachtung. Baugrundtagung Leipzig, S 253–260
10. Zeller I, Zeindler H (1956) Vertikale Sanddrains – eine Methode zur Konsolidierung von wenig durchlässigen, setzungsempfindlichen Böden. Strasse und Verkehr, Heft 6 und 7
11. Rahn H (2003) Bau von Verkehrsdämmen auf organischem Baugrund großer Mächtigkeit. Beitrag auf der Fachtagung „Geotechnik im Verkehrswegebau“ am 31.01.2003, Dresden
12. Rahn H (Seminar material 1996–2003) Systematische Vermeidung von Schadensfällen an Erdbauwerken. Beispiele aus dem Verkehrsbau. Haus der Technik Essen
13. Kempfert HG, Stadel M (1995) Zum Tragverhalten geokunststoffbewehrter Erdbauwerke über pfahlähnlichen Traggliedern. Geotechnik Sonderheft. S 146–152
14. Zaeske D (2001) Zur Wirkungsweise von unbewehrten und bewehrten mineralischen Tragschichten über pfahlartigen Grundungselementen. Schriftreihe Universität Kassel, H10
15. Reimann B (1997) Gründung von Verkehrsdämmen in Mooregebieten – Ausführung, Bemessung. Messtechnische Überwachung und Auswertung von Messungen bei dynamischer Belastung. Diplomarbeit TU Berlin
16. Darr E, Fiebig W (2006): Feste Fahrbahn. Konstruktion und Bauarten für Eisenbahn und Straßenbahn. 2. Aufl. Eurailpress, Hamburg
17. DIN 1054: Baugrund, Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau
18. DIN 4020: Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke
19. DIN 4021: Aufschluss durch Schurfe und Bohrungen sowie Entnahme von Bodenproben
20. DIN 4094: Baugrund, Erkundungen durch Sondierungen
21. DIN Taschenbuch Nr. 113: Erkundungen und Untersuchung des Baugrundes. Berlin: Beuth-Verlag
22. Floss R (1971): Dämme auf weichem Untergrund. Möglichkeiten der Untergrundverbesserung. Strasse und Tiefbau, Heft 2
23. Rahn H (2001) Die Rolle der Tragschichten im Eisenbahnbau. In: Eisenbahningenieur 3/2001

24. Rahn H (1998) Dammschaden. In: Striegler W (Hrsg) Dammbau. Verlag für Bauwesen 3.22 Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI), Berlin
25. Rahn H (Recherchen) Erfahrungen bei der Anwendung der Kalkstabilisierung/Kunstliche Austrocknung mit Branntkalk bei der Deutschen Reichsbahn (Zuarbeit im Rahmen des Forschungsberichts des (BMV BW) zu „Einflüsse des Gebrauchsverhaltens kalkbehandelter frostempfindlicher Boden im Planungsbereich von Verkehrsflächen 2003/2004“) – unveröffentlicht
26. Liebherr, Werk Neuzing (Hrsg) (2008) Spezialtiefbau – Kompendium Verfahrenstechnik und Geräteauswahl. Ernst und Sohn, Berlin
27. Baustellendokumentation „Moorstelle Dahmetal“ – Auswertung dynamischer Messungen bei Zugvorbeifahrten auf der DB-Strecke 6142 Berlin–Cottbus durch das „Niedersächsische Landesamt für Bodenforschung (NLfB/GGA)“. Teil Nullmessung August 2003. Teil Zwischenmessungen Juli 2005. Abschlussmessungen Mai 2008
28. Baustellendokumentation „Moorstelle Dahmetal“ – Planung Teilprojekte 1–4, Prüfberichte, Einschätzungen der Bauzustände, Aktualisierung zulässiger Fahrgeschwindigkeiten. Bearbeitet durch Dr.-Ing. Horst Rahn, Dipl.-Ing. Jens Engelmann, Dipl.-Ing. Bernd Kratzer für Deutsche Bahn Netz AG
29. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (Hrsg) (2010) Merkblatt für Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund

5.1 Allgemeines

Der Leser sei einführend darauf hingewiesen, dass in diesem Kapitel Weichen umfassend in Geometrie, Konstruktion und Anwendung abgehandelt werden, während in Kapitel 12 in den Abschn. 12.6.1 und 12.6.2 auf Weichen aus der Sicht der Trassierung und Gleisplangestaltung eingegangen wird. Das bringt gewisse Überschneidungen mit sich, hat aber den Vorteil eines organischen inhaltlichen Zusammenhalts in beiden Kapiteln.

5.1.1 Geschichte und Definition

Der Begriff „*Weiche*“ geht zurück auf Ausweichstellen in der Flussschifffahrt. Es steht also das „Ausweichen“ als Pate des Begriffes. Die ersten Eisenbahnweichen gab es in den Grubenbahnen Englands bereits Ende des 18. Jahrhunderts. Schon diese Weichen hatten bewegliche Zungen und sie hatten Herzstücke. Diese konstruktiven Grundsätze finden sich noch heute in den modernen Weichen, obwohl es seither viele Anstrengungen gab, andere Prinzipien zur Anwendungsreife zu entwickeln.

Weichen sind definiert als Oberbaukonstruktionen, die Schienenfahrzeugen den Übergang von einem Gleis auf ein anderes ohne Unterbrechung der Fahrt ermöglichen. Drehscheiben oder Schiebebühnen erlauben auch den Übergang von einem Gleis zum anderen, jedoch nur mit Fahrtunterbrechung und für begrenzt lange Einheiten.

Weichen stellen wesentliche Elemente eines Eisenbahnnetzes dar. So definiert die Eisenbahnbau- und Betriebsordnung (EBO) „Bahnhöfe als Bahnanlagen mit mindestens einer Weiche, wo Züge beginnen, enden, ausweichen oder wenden dürfen“. Ohne Weichen gäbe es also keine Bahnhöfe, und eine Netzbildung wäre folglich auch nicht denkbar. Abzweigstellen, wo Züge von einer Strecke auf eine andere übergehen können, sind selbstverständlich ohne Weichen auch nicht denkbar.

Bestehende oder neue Eisenbahnnetze benötigen Weichen in den Bahnhöfen und entlang der Strecken, z. B. für Überleitstellen oder Streckenverzweigungen, sowie in den Zugbehandlungs- und Instandhaltungsanlagen.

Weichen erlauben die flexible und für die betrieblichen Erfordernisse ausgelegte Gestaltung von Eisenbahnnetzen, aber auch einzelner sozusagen „isolierter“ Eisenbahnstrecken, wie z. B. in Japan oder Taiwan, wo Schnellfahrstrecken ohne Einbindung in die bisher bestehenden Bahnnetze betrieben werden, oft sogar mit anderer Spurweite.

Wesentliche Eigenschaften der Weichen sind bewegliche Bauteile. Diese beweglichen Teile müssen vor und während der Befahrung durch

E. Lay (✉)
64342 Seeheim-Jugenheim, Deutschland

R. Rensing
R²-railconsult GmbH, 46325 Borken, Deutschland
E-Mail: rensing@r2-railconsult.de



Abb. 5.1 Weiche (Blick vom Weichenanfang)

Züge oder Rangiereinheiten festgelegt und gesichert sein, Abb. 5.1.

Damit vor der Zulassung jeder einzelnen Zugfahrt die richtige Stellung der beweglichen Weichenteile sichergestellt ist, müssen die Weichen mit entsprechenden Antriebs-, Verschluss- und Sicherungseinrichtungen ausgestattet werden.

Darüber hinaus ist eine Einbindung in das Signalsystem nach Maßgabe der EBO erforderlich. „Weichen“ finden sich in der EBO mit den Signalen zusammen im „§ 14 Signale und Weichen“.

Es gibt ortsgestellte Weichen und ferngestellte Weichen. Ortsgestellte Weichen sind eher von untergeordneter Bedeutung und werden nicht in Zug- oder Rangierstraßen verwendet. Ferngestellte Weichen sind die betriebswichtigen Weichen, die voll in das Sicherungssystem eingebunden sind. Sie werden von einem entfernt liegenden Stellwerk aus gestellt.

5.1.2 Weichen als Kostenfaktor

Beim Bau neuer Strecken beanspruchen die Investitionskosten für die Oberbauanlagen, also für die Gleise und Weichen gemeinsam, etwa 5–7% der gesamten Investitionskosten. Obwohl Weichen aufgrund ihrer konstruktiven Besonder-

heiten im Vergleich zu Gleisen sehr teuer sind, haben sie bei Streckenneubauten nur einen Anteil von etwa 10% an den zuvor genannten Oberbauinvestitionen, also weniger als 1% an den Gesamtinvestitionskosten.

Bei den Instandhaltungskosten kehrt sich dieses Verhältnis der Kostenanteile dramatisch um: Die Gleisinstandhaltung (ohne Weichen) beläuft sich auf rund 25% und die Weicheninstandhaltung selbst auf mehr als 25% der Gesamtinstandhaltungskosten für eine Strecke. Der Rest der Instandhaltungskosten verteilt sich auf Signalanlagen, Fahrleitungsanlagen und Ingenieurbauten.

Die Verwendung der Festen Fahrbahn für Weichen und Gleise kann das Investitionsvolumen geringfügig nach oben beeinflussen, jedoch erlaubt die Feste Fahrbahn aufgrund der geringeren Bauhöhe und der flexibleren Trassierungsmöglichkeiten Einsparungen bei den Ingenieurbauwerken. Bei der Instandhaltung können sich für die Feste Fahrbahn günstigere Werte über den Lebenszyklus als für Schotteroberbau ergeben unter der Voraussetzung, dass erprobte Systeme der Feste Fahrbahn bei gleichzeitig guter Bauausführung zum Einsatz kommen. Damit erhöht die Verwendung der Feste Fahrbahn nicht die Gesamtstreckenkosten. Weichen in Fester Fahrbahn erfahren dieselbe Beständigkeit der geometrischen Qualität wie

Gleise in Fester Fahrbahn. Gleichzeitig erlaubt die Feste Fahrbahn eine sorgfältige Abstimmung der Stützpunktelastizitäten in Abhängigkeit der innerhalb einer Weiche stark wechselnden Steifigkeit der Fahrbahnelemente, was zu einer Homogenisierung der Kontaktkräfte und zu einer Reduktion der innerhalb der Weiche unvermeidlichen Kraftspitzen führt. Somit erhöht die Verwendung der Festen Fahrbahn auch innerhalb der Weichen die Lebenserwartung bei gleichzeitig deutlich reduzierten Instandhaltungsaufwendungen. Ergänzend sei erwähnt, dass die dauerhaft gute geometrische Lage der Weichen in Fester Fahrbahn auch zur Verringerung der Schwingungen der Komponenten der Stell- und Sicherungssysteme beitragen und entsprechende Schäden vermeiden hilft.

Neben den monetär darstellbaren Besonderheiten der Weichen stellen diese als Fahrweegelemente teils erhebliche Störstellen für den ruhigen Fahrzeuglauf dar. Störstellen sind z. B. die Radüberläufe von Zunge zu Backenschiene oder Flügelschiene zu Herzstück und umgekehrt. Bei den starren Herzstücken mit Radlenkern wechselt die Führung der Radsätze im Bereich der Fahrkantenunterbrechung am Herzstück von der Spurkanzflankenführung zur Führung am Radrücken des anderen Rades. Dies verursacht deutliche höhere dynamische Kräfte und folglich höhere Beanspruchungen für die Weichenkomponenten und die Fahrzeuge, was sich auch auf den Fahrkomfort auswirkt und den Verschleiß am Fahrweg und an den Fahrzeugen erhöht.

Wegen der beweglichen Bauteile und der Einbindung in das Sicherungssystem sind Weichen für die größte Zahl betriebsbehindernder Störungen im Netz verursachend.

Aus den dargestellten Größenordnungen für die Instandhaltungskosten und die Häufigkeit von Betriebsstörungen lässt sich die Forderung untermauern, so wenig wie möglich Weichen einzuplanen und diese auf die wirklichen Bedürfnisse hin – also so klein und einfach wie möglich – auszulegen.

Wegen der oben dargestellten Kostenverhältnisse bei Streckenneubauten wirken sich Verbesserungen der technischen Lösungen bei den Weichen selbst nur unwesentlich auf die Gesamtinvestitionskosten aus. Solche Verbesserungen

können aber in erheblichem Umfang die Störanfälligkeit und den Instandhaltungsbedarf der Gesamtanlage reduzieren und die Lebensdauer verbessern. Relativ geringe Mehrinvestitionen in die Weichentechnik tragen damit zur Begrenzung der Instandhaltungsaufwände insgesamt bei. Allerdings muss dabei auch die Zahl der Weichen im Netz berücksichtigt werden, wodurch eine beachtliche Akkumulation der Kosten entsteht. Dies ist wiederum bei der Instandhaltung ein starkes Argument zugunsten einer sauberen technisch-wirtschaftlich abgestimmten Lösung. Hebel zur Reduktion der Instandhaltungskosten der Weichen können verbesserte Materialien (z. B. bainitische Herzstücke, Manganstahlherzstücke oder wärmebehandelte Schienen mit höherer Festigkeit) oder die Vergrößerung des Abnutzungsvorrates wie beispielsweise dickere Zungenquerschnitte mit Anpassung der Backenschienen und modifizierte Überlaufgeometrien oder aufwändigere und damit qualitativ höherwertige Fertigungsmethoden sein. Auch höhere vertikale Elastizitäten in den Stützpunkten können sich positiv auf den Instandhaltungsaufwand auswirken. Ein wesentlicher Schritt in dieser Richtung war z. B. die Einführung der Spannbetonschwellen in den Weichen oder der Einsatz der direkten Schienenbefestigung mit Dübeln anstelle der Befestigung mit Durchsteckverschraubung.

Bei den Kosten für Weichen ist immer zu berücksichtigen, dass Weichen für die Energieversorgung (Weichenumstellung, Weichenheizung) und für die sicherungstechnische Anbindung an Kabel angeschlossen werden müssen, was wiederum Kabelkanäle und damit Erdarbeiten erfordert. Bei elektrifizierten Strecken sind für die Fahrleitung (die „dritte Schiene“) zusätzliche Aufwände (Überspannung der Zweiggleise, zusätzliche Masten) einzuplanen. Weichen erfordern zusätzliche sicherungstechnische Ausrüstungen, wie beispielsweise Deckungssignale, Gleisisolierungen oder Achszähler, mit entsprechenden Folgekosten für Investition und Instandhaltung.

Weichen haben auch Auswirkungen auf die Gestaltung des Unterbaues und des Schotterbettes bzw. der Festen Fahrbahn, was bei der Planung und Bauausführung zu berücksichtigen

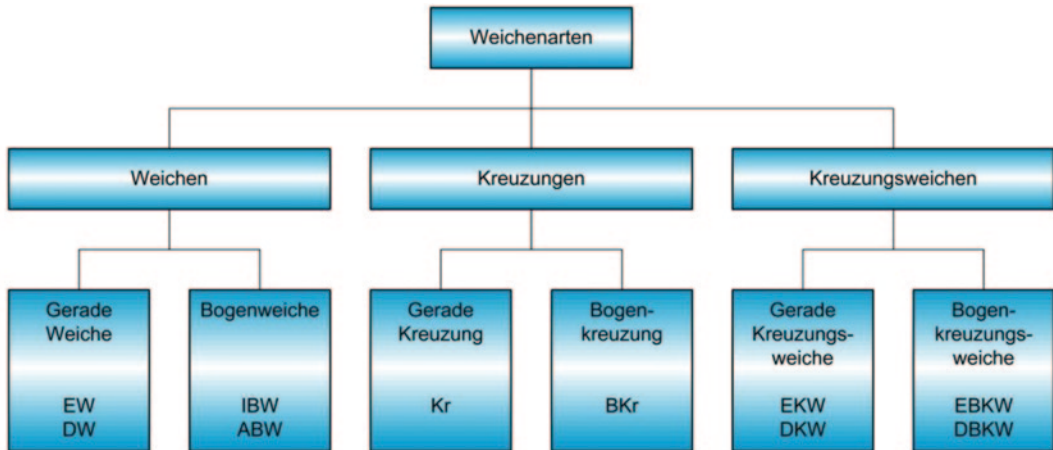


Abb. 5.2 Weichenarten

ist. Als ein Beispiel sei hier genannt, dass bei Überleitverbindungen auf Strecken mit größerem Gleisabstand die Planumsquerneigung so abgeflacht werden muss, dass unter dem Verbindungsgleis noch eine ausreichende Schotterbettstärke verbleibt. Die größere Bauhöhe der Weichenfahrbahn und Schwellen im Vergleich zur Bauhöhe normaler Gleise erfordert gegebenenfalls eine Berücksichtigung bei der Planung und dem Bau der Planumsoberkante. Auch solche Anpassungen führen zu höheren Kosten beim Bau und zu Fehlermöglichkeiten.

Die Zweiggleisradien und damit die möglichen Zweiggleisgeschwindigkeiten sind streng auf die Belange der betrieblichen Infrastrukturplanung hin abzustimmen. Jedoch soll auch die Verschleißsituation Rücksicht genommen werden. So sind Weichen mit dem Zweiggleisradius 190 m in Fahrstraßen für 40 km/h möglichst zu vermeiden. Weichen mit geraden Herzstücken sind verschleißgünstiger als solche mit Bogenherzstücken.

5.2 Weichen und Kreuzungen

5.2.1 Allgemeines

Damit die geforderte Flexibilität der Bahnanlagen sichergestellt werden kann, werden verschiedene Arten von Weichen verwendet. Auch

Kreuzungen und Kreuzungsweichen zählen zur Kategorie Weichen, Abb. 5.2.

Weichen werden entweder von vorn (spitz) oder vom Herzstück her (stumpf) befahren.

Hauptunterscheidungsmerkmale der Weichenarten sind die Linienführung des Stammgleises und die Krümmung des abzweigenden Gleises (Zweiggleis) sowie die Weichenneigung, aber auch die verwendeten Schienenformen und die Unterschwellung. Schienenform und Unterschwellung sollen die Oberbauform der anschließenden Gleise berücksichtigen.

Nach diesen aufgeführten Komponenten und Parametern werden die Weichen bei der Deutsche Bahn AG (DB) bezeichnet.

„EW 60-760-1:18,5-r-fb (H)“ ist eine typische Bezeichnung einer einfachen Weiche mit der Schienenform UIC 60¹, dem Zweiggleisradius $r=760$ m und einer Weichenneigung von 1:18,5. Diese Weiche hat ein federnd bewegliches Herzstück (fb). Der Schwellensatz besteht aus Holzschwellen (H). Schließlich zweigt diese Weiche nach rechts (r) ab.

Die Systematik der Weichenbezeichnung ergibt sich aus Abb. 5.3.

Hinweis: Im Ausland werden Weichen häufig nur nach ihrer Neigung bezeichnet, und der

¹ herkömmliche Bezeichnung; neue Bezeichnungsweise nach EN 13674: 60 E1 oder 60 E2, abhängig von Schienenkopfkantur.

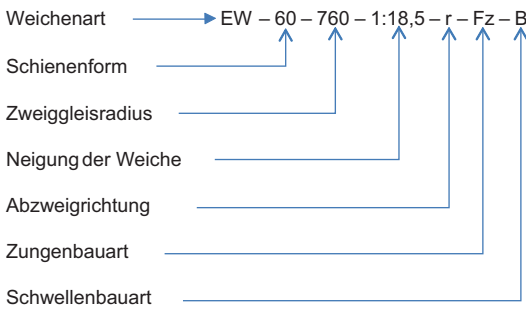


Abb. 5.3 Systematik der Weichenbezeichnung

Zweiggleisradius erscheint in der Weichenbezeichnung nicht. Die oben genannte Weiche wäre demnach z. B. eine Weiche „Nr. 18,5“.

Die dargestellte Weichenbezeichnung stellt die Grundform dieser Weiche mit dem Zweiggleisradius $r_z = 760$ m dar. Es gibt davon abgewandelt z. B. Innenbogen- und Außenbogenweichen, aber auch veränderte Weichenneigungen. Insgesamt gibt es unter Berücksichtigung der verschiedenen Schienenformen bei der DB mehr als zweihundert Weichengrundformen.

Zu den Weichen werden auch Kreuzungen ohne oder mit beweglichen Teilen und Kreuzungweichen gezählt. Auch diese sind in der vorgenannten Zahl von Weichengrundformen enthalten. Da Schienenauszüge bearbeitete Fahrbahnkomponenten wie Zungen und Backenschienen haben, werden sie nicht nur von Weichenherstellern gefertigt, sondern auch der Familie der Weichen zugerechnet, jedoch nicht in diesem Beitrag behandelt.

Die im Folgenden dargestellten Weichenarten finden im Netz der DB Anwendung. Ihre geometrischen Grundlagen gehen weitgehend zurück auf die Weichen, die in den 20er und 30er Jahren des vorigen Jahrhunderts für die damalige Deutsche Reichsbahn entwickelt wurden. Bereits damals wurde darauf geachtet, dass die Konstruktionen für alle Weichenarten möglichst viele gemeinsame Komponenten hatten und dass Weichenneigungen und Kreuzungneigungen miteinander korrespondierten.

Neben dem Einfluss auf die Herstellungsvielfalt wirkt sich diese Standardisierung auf die Spurplangestaltung, auf die Vorhaltung von

Ersatzteilen und auf die Instandhaltungsverfahren aus.

Wegen der vielen Schnittstellen zu anderen Gewerken wird bei der Erneuerung von Weichen möglichst die gegebene geometrische Situation beibehalten. Dies gilt beim Neubau in vergleichbarer Weise.

Nur wenn die Anforderungen an die Infrastruktur sich ändern, z. B. beim Streckenausbau, können komplexe Anpassungen der Geometrie sinnvoll und wirtschaftlich sein.

5.2.2 Weichenbauarten

Aus den einfachen Weichen lassen sich die in Abb. 5.4 dargestellten Weichenbauarten ableiten.

Erläuterungen zu den einzelnen Bauarten finden sich im folgenden Abschnitt.

5.2.2.1 Einfache Weichen

Einfache Weichen haben ein gerades Stammgleis und ein gebogenes Zweiggleis. Es gibt einfache Weichen links und einfache Weichen rechts. Die Unterscheidung zwischen rechter und linker Weiche ergibt sich aus dem Blick vom Weichenanfang zum Weichenende hin. Diese Unterscheidung gilt für alle Weichenarten, nicht jedoch für Kreuzungen und Kreuzungweichen.

Einfache Weichen werden i. d. R. ohne Überhöhung verwendet. Es gibt aber einfache Weichen, bei denen der Hauptfahrweg im Zweiggleis liegt. In solchen Fällen kann die Überhöhung für die Fahrt im Hauptfahrweg optimiert sein, und es entstehen überhöhte einfache Weichen. Das Zweiggleis zweigt dann nach außen und ohne Krümmung ab.

Bei der Weiche in Abb. 5.5 endet der Zweiggleisbogen vor dem Herzstück, d. h. es handelt sich hier um eine einfache Weiche mit geradem Herzstück. Demgegenüber zeigt Abb. 5.6 eine Weiche mit gebogenem Herzstück.

5.2.2.2 Bogenweichen

Bogenweichen entstehen aus einfachen Weichen durch Verbiegen des Stammgleises um den Weichenmittelpunkt (Tangentenschnittpunkt) herum. Hierdurch ändern sich weder die Weichennei-

Abb. 5.4 Weichenbauarten

| Weichenbauart | Weichenbezeichnung | Abkürzung |
|---------------|--|-----------------|
| | Einfache Weiche (gerade Rechts-Weiche) | EW (rechts) |
| | Einfache Weiche (gerade Links-Weiche) | EW (links) |
| | Innenbogenweiche | IBW |
| | Außenbogenweiche | ABW |
| | Doppelweiche, einseitig | DW (einseitig) |
| | Doppelweiche, zweiseitig | DW (zweiseitig) |

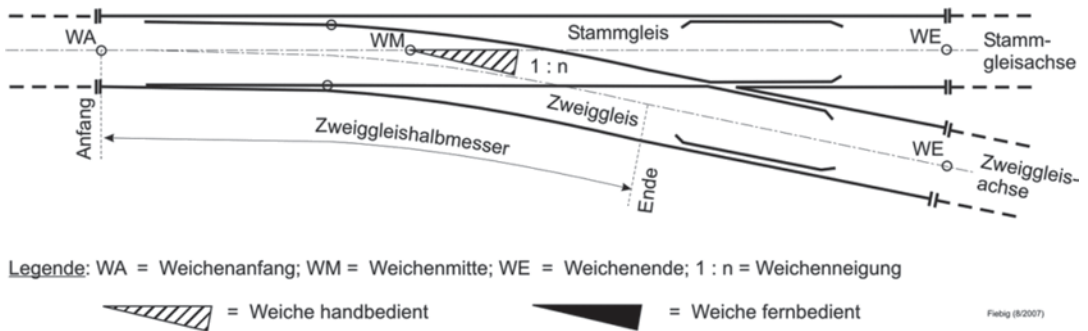


Abb. 5.5 Fahrkantenbild einer einfachen Weiche

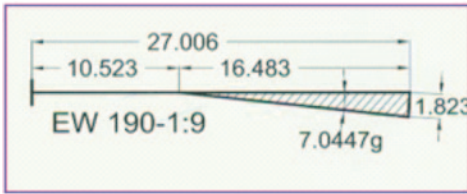
gung noch die Länge der Tangenten. Das Zweiggleis wird wegen seiner festen Verbindung zum Stammgleis und wegen der unveränderten Weichenneigung und Tangentenlänge mit gebogen.

Je nach Biegerichtung entstehen Außenbogenweichen (ABW) oder Innenbogenweichen (IBW). Innenbogenweichen haben die Krümmung von Stamm- und Zweiggleis in gleicher Richtung, d. h. die Bogenmittelpunkte von Stamm- und Zweiggleis liegen auf derselben Seite der Stammgleisachse. Der Zweiggleisradius wird dabei kleiner als bei der einfachen Weiche. Bei Außenbogenweichen haben die Krümmungen von Stamm- und Zweiggleis unterschiedliche Richtungen, d. h. die Bogenmittelpunkte liegen links und rechts der Stammgleisachse. Der Zweiggleisradius wird dabei größer als bei der einfachen Weiche.

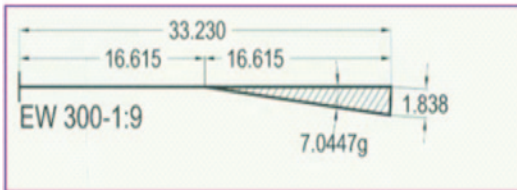
Die geometrischen Grundlagen für Bogenweichen sowie ihre Berechnung und Anwendung sind in Abschn. 12.6.2 beschrieben.

Durch die Verbiegung der Weichen entstehen Längenänderungen der Fahrbahn, die in den Zwischenschienen ausgeglichen werden. Die sog. Konstruktionsschienen wie Zungen, Backenschienen und Herzstück sowie Radlenker behalten ihre ursprünglichen Längen der einfachen Weiche bei. Der Schwellensatz bleibt unverändert. Zu den Grenzen der Biegebarkeit von Innenbogenweichen s. Tabelle 12.6 in Abschn. 12.6.2.

Die Herzstücke von Innen- und Außenbogenweichen müssen im Weichenwerk gebogen werden. Dies ist im Vergleich zu einfachen Weichen mit zusätzlichem Aufwand und höheren Kosten verbunden. Bei geraden Herzstücken in



Gerades Herzstück



Gebogenes Herzstück

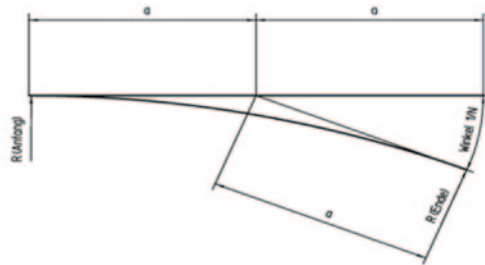
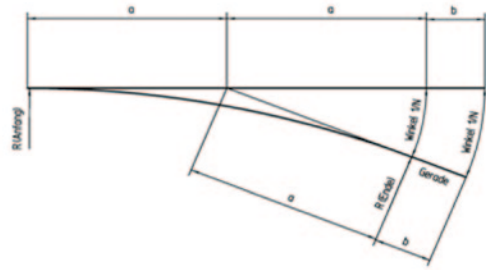


Abb. 5.6 Gegenüberstellung einer Weiche mit geradem Herzstück (oben) und einer Weiche mit gebogenem Herzstück (unten) bei gleicher Weichenneigung, aber unterschiedlichem Zweiggleisradius

Bogenweichen ist zu beachten, dass beim Biegen zur Innenbogenweiche der Zweiggleisradius im Herzstück bis zum Weichenende gleich dem Radius des Stammgleises wird. Hierdurch ist die Geometrie des Zweiggleises festgelegt.

Bogenweichen sollen vermieden werden, da sie höheren Instandhaltungsaufwand verursachen als einfache Weichen. Aus fahrdynamischen Gründen und zur Vermeidung von Sprungkosten kann es jedoch, auch bei Neubauten, erforderlich werden, Bogenweichen zu verwenden. Außerdem ist zu berücksichtigen, dass im Netz der DB eine beachtliche Zahl von Bogenweichen vorhanden ist, die bei ihrer Erneuerung nur in den seltensten Fällen unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten durch einfache, d. h. gerade Weichen ersetzt werden können.

Fahrdynamisch ist zu berücksichtigen, dass bei Bogenweichen das Herzstück im bogenäußeren Strang liegen kann, was bei nicht ausgeglichener Fliehbeschleunigung (also bei gegebenem Überhöhungsfehlbetrag) den Wechsel von der Spurkranzflankenführung zur Radrückenführung durch den Radlenker erzwingt, weil das Rad vor Erreichen des Radlenkers am Spurkranz durch die Fahrkante der bogenäußeren Schiene

geführt wird. Am Radlenker wird der Radsatz dann am Radrücken des bogeninneren Rades geführt und so von der bogenäußeren Schiene weggezogen. Das erhöht Beanspruchung und Verschleiß am Radsatz der Fahrzeuge und vor allem an der Weiche, hauptsächlich an dem beanspruchten Radlenker und seiner Abstützung und Befestigung.

Bei Außenbogenweichen (Abb. 5.7) liegt das Herzstück immer im bogenäußeren Strang, bei Innenbogenweichen kann das Herzstück – je nach befahrenem Strang – auch bogeninnen liegen.

Bei Anordnung von Herzstücken im bogenäußeren Strang kann es bei Vorliegen größerer Überhöhungsfehlbeträge und höherer Geschwindigkeiten zur Vermeidung zu hoher Beanspruchungen am Radlenker erforderlich werden, bewegliche Herzstücke einzusetzen, die die Fahrkantenunterbrechung am Herzstück schließen; der Wechsel von der Spurkranzflankenführung zur Radrückenführung durch den Radlenker entfällt dann.

Bei Weichen in überhöhten Gleisbögen sind die Höhenverläufe der einzelnen Schienen zu untersuchen (Weichenhöhenplan).

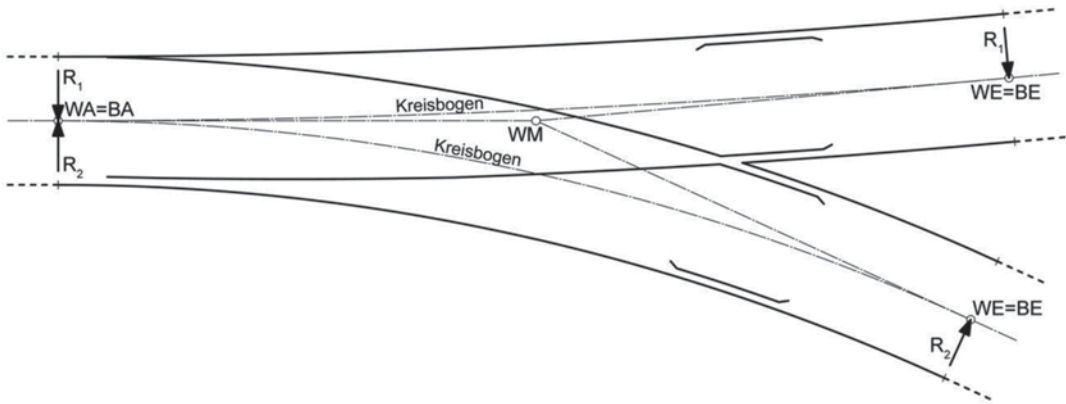


Abb. 5.7 Fahrkantenbild einer Außenbogenweiche

Außenbogenweichen (ABW)

Außenbogenweichen entstehen durch Verbiegung einfacher Weichen entgegen der Krümmung des Zweiggleises. Hierdurch wird der Zweiggleisradius größer, was eventuell eine höhere zulässige Zweiggleisgeschwindigkeit erlaubt als bei der Weichengrundform, wenn der Krümmungssprung am Weichenanfang auf beide Stränge der Weiche verteilt wird. Dies wird in sog. symmetrischen Außenbogenweichen ausgenutzt (s. u.).

Bei ABW, die komplett in einem durchgehenden Gleisbogen liegen, entspricht die Krümmungsdifferenz zwischen dem durchlaufenden Gleis und dem abzweigenden Gleis (wie bei IBW) derjenigen der entsprechenden einfachen Weiche.

Werden Außenbogenweichen in überhöhten Gleisen eingesetzt, kommt es zwangsläufig in einem Strang zu einer falschen (negativen) Überhöhung (sog. Untertiefung), die dann eine zusätzliche Geschwindigkeitsbeschränkung erforderlich machen kann. Zur Vermeidung einer Untertiefung kann es dann geboten sein, eine Innenbogenweiche zu verwenden, was eine größere Weichengrundform erfordert².

Werden Weichen mit geradem Herzstück zu Außenbogenweichen gebogen, so soll das Herzstück nicht mit gebogen werden, um im Zweiggleis einen Gegenbogen zu vermeiden.

Wenn beide Zweiggleise einer Außenbogenweiche den gleichen Radius haben, d. h. die Zweiggleiskrümmung der zugrunde liegenden einfachen Weiche hälftig auf beide Stränge der ABW verteilt wurde, liegt eine symmetrische Außenbogenweiche vor. Diese Form eignet sich hervorragend für symmetrische Streckenverzweigungen z. B. aus einer eingleisigen in eine zweigleisige Strecke. Die Zweiggleisradien sind dabei doppelt so groß wie der Zweiggleisradius der einfachen Weiche. Auf diese Weise wird z. B. aus einer EW 60-2500-1:26,5 eine symmetrische ABW mit zwei Zweiggleisradien von $r=5.000$ m. Geometrisch erlaubt dies eine um 40% höhere Geschwindigkeit als im 2500 m – Bogen.³ Auch wenn die Zweiggleisradien 5000 m betragen, wird die Weiche mit dem Radius der zugrunde liegenden einfachen Weiche als ABW 60-2500 1-26,5 bezeichnet. Dies gilt (mit Ausnahme der ABW 215 – 1:4,8, s. u.) für alle Bogenweichen.

Die in Rangierbahnhöfen zum Einsatz kommenden symmetrischen Außenbogenweichen 49-215-1:4,8 und 54-215-1:4,8 werden nur als ABW gefertigt, d. h. es gibt diese Weiche nicht als einfache Weiche und auch nicht mit der

² Zweiggleisradius r_0 muss größer sein als der Radius des Stammgleises (nach außen abzweigende Innenbogenweiche).

³ allerdings ggf. zu Lasten einer Geschwindigkeitsbeschränkung im anderen Weichenstrang, weil ja die Geschwindigkeit im Stammgleis einer Einfachen Weiche (theoretisch) unbegrenzt ist.

Schienenform UIC 60⁴. Der Radius $r=215$ m ergibt sich aus dem früheren Erfordernis der Spurerweiterung bei Radien von $r=214$ m und weniger, die vermieden werden sollte.

Innenbogenweichen (IBW)

Innenbogenweichen entstehen durch Verbiegen des Stammgleises in die gleiche Krümmungsrichtung wie die des vorhandenen Zweiggleises. Der Zweiggleisradius wird dabei kleiner als der Zweiggleisradius in der Weichengrundform.

Bei Abzweigungen in überhöhten Gleisbögen sollen Innenbogenweichen verwendet werden (Abb. 5.8 und 5.9), damit Stammgleis und Zweiggleis der Weiche die der Krümmung entsprechende Überhöhungsrichtung haben.

5.2.2.3 Doppelweichen (DW)

Doppelweichen sind Weichen mit Abzweigungen aus einem Gleis in zwei Zweiggleise. Sie sind recht kompliziert, sowohl in der Fertigung als auch der Instandhaltung. Deshalb findet man bei der DB solche Weichen sehr selten und auch nur bei Vorliegen besonders beengter Verhältnisse.

Doppelweichen sind nur zulässig, wenn die Entwicklungslängen für zwei einfache Weichen nicht ausreichen, wie es in Werks- oder Hafenanlagen vorkommen kann, Abb. 5.10.

Bei einseitigen Doppelweichen führen beide Zweiggleise in die gleiche Richtung, bei zweiseitigen Doppelweichen zweigt ein Zweiggleis nach links und das andere nach rechts ab.

Es gibt bei der DB nur drei Typen von DW: 54-190-1:9 R(L) und 1:9 L(R), 54-190-1:9 R(L) und 1:7,5 L(R) sowie die Einseitige DW 54-190-1:9 R(L) und 1:9 R(L).

5.2.2.4 Kreuzungen und Kreuzungsweichen

Kreuzungen sind Durchschneidungen zweier Gleise auf gleicher Höhe. Das befahrene Gleis kann nicht gewechselt werden.



Abb. 5.8 Überhöhte Innenbogenweichen

Aus Kreuzungen können Kreuzungsweichen abgeleitet werden, die zusätzlich ein Abzweigen in den anderen Gleisstrang ermöglichen, wie Abb. 5.11 zeigt.

Kreuzungen

Kreuzungen haben zwei einfache Herzstücke mit geraden Radlenkern und zwei Doppelherzstücke, die im Fall starrer Doppelherzstücke einen abgeknickten Radlenker haben (s. Abb. 5.12 und 5.39).

Kreuzungen mit starren Doppelherzstücken beeinträchtigen den Fahrzeuglauf spürbar. Sie dürfen deshalb in Gleisen mit zulässigen Geschwindigkeiten über 100 km/h nicht eingebaut werden.

Im Fall starrer Doppelherzstücke besitzen die Kreuzungen keine beweglichen Bauteile und müssen nicht mit Antriebs- und Verschlusseinrichtungen versehen werden.

Starre Doppelherzstücke verursachen dort, wo beide Durchschneidungsstellen in einem Gleis gegenüber liegen, führunglose Stellen, die aber bei Beachtung konstruktiver Grundsätze sicher befahren werden können. Radlenker können an die-

⁴ Da diese Weiche nicht durch Biegen einer einfachen Weiche entsteht und der Radius $r=215$ m dem tatsächlichen Radius entspricht (nicht dem der Weichengrundform), wird diese Weiche auch als „Zweibogenweiche“ bezeichnet.

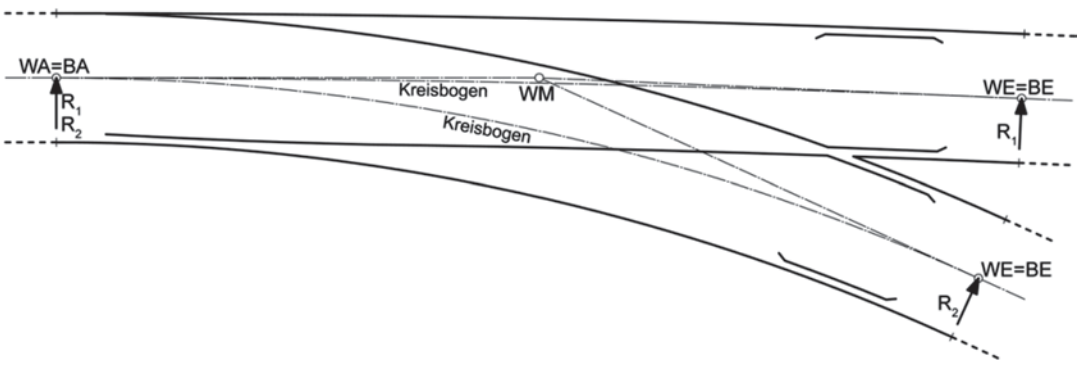


Abb. 5.9 Fahrkantenbild einer Innenbogenweiche

Abb. 5.10 Fahrkantenbild einer einseitigen Doppelweiche

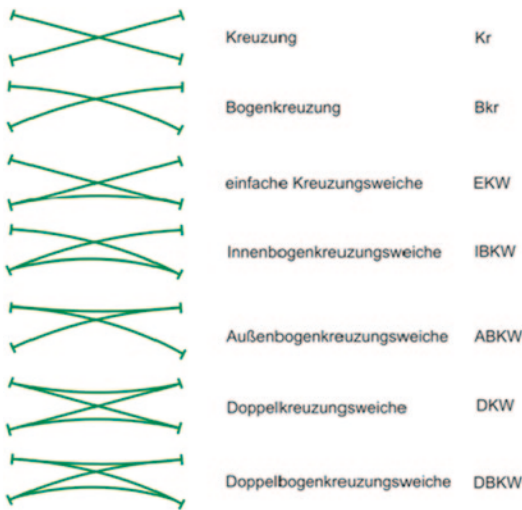
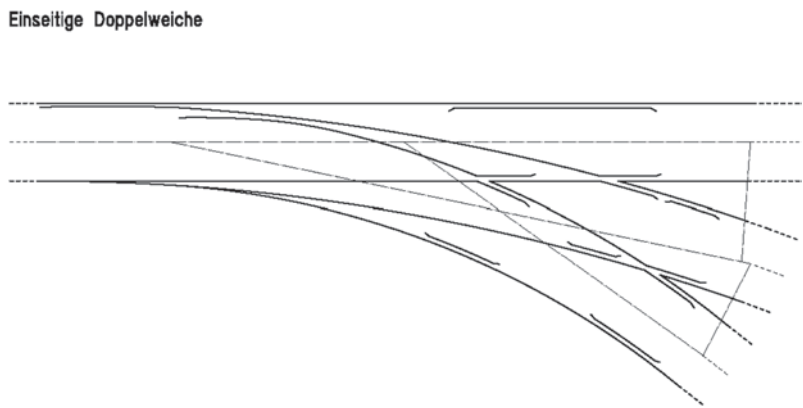


Abb. 5.11 Kreuzungsbauarten

sen Durchschneidungsstellen nur in abgeknickter Form angebracht werden, weil die notwendigen Spurrillen keine geraden Radlenker erlauben. Dies ist der konstruktive Grund dafür, dass die Radsätze im Bereich der führunglosen Stelle weder am Spurkranz noch am Radrücken geführt sind.

Dort erfolgt die sichere Führung des Radsatzes über eine kurze Strecke quasi nur durch Reibung und Trägheit. Die Überhöhung der abgeknickten Radlenker auf 4,5 cm (statt 2 cm) und die Begrenzung des Kreuzungswinkels auf 1:9 und steiler stellt dabei die Sicherheit gegen Entgleisen her.

Die Kreuzungen mit den Kreuzungswinkeln 1:14 und 1:18,5 werden „Flachkreuzungen“ genannt. Bei ihnen würden die führunglosen Stellen so lang werden, dass die Entgleisungssicherheit nicht mehr gegeben wäre. Deshalb werden in diesen Kreuzungen sowie bei den Bogen-Kreuzungen mit dem Neigungswinkel 1:11,515 bewegliche Doppelherzstücke erforderlich, die Antriebs- und Verschlusseinrichtungen benötigen.

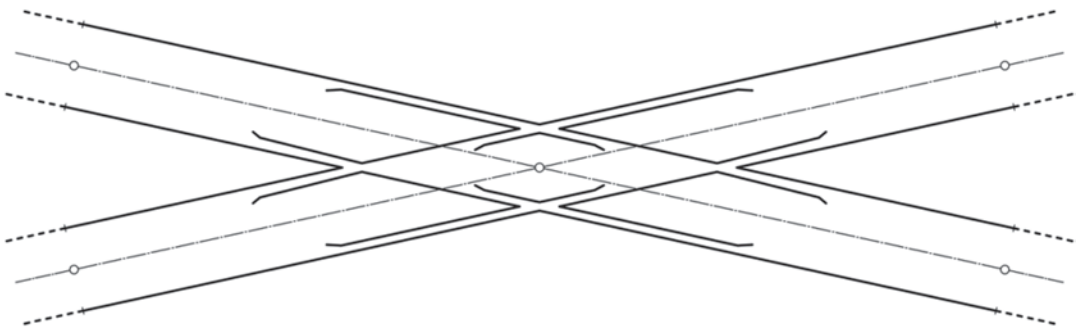


Abb. 5.12 Fahrkantenbild einer Kreuzung

Kreuzungen mit der Regelneigung 1:9 dürfen bis zum Radius $r=450$ m gebogen werden. Kreuzungen mit einer Kreuzungsneigung flacher als 1:9 und Steilkreuzungen dürfen nicht gebogen werden.

Kreuzungsweichen

Kreuzungsweichen setzen sich zusammen aus einer Durchschneidung zweier Gleise, also einer Kreuzung, und einem oder zwei Verbindungsgleisen. Besitzt die Kreuzungsweiche ein Verbindungsgleis, spricht man von einer Einfachen Kreuzungsweiche (EKW). Im Falle von zwei Verbindungsgleisen handelt es sich um eine Doppelte Kreuzungsweiche (DKW).

Jedes der Verbindungsgleise besitzt zwei Zungenvorrichtungen. Eine EKW hat demnach zwei Zungenvorrichtungen und eine DKW vier Zungenvorrichtungen. Bei einer DKW werden die beiden auf derselben Seite der DKW liegenden Zungenvorrichtungen von einem Antrieb gestellt.

Beim Zweiggleisradius $r_z=190$ m liegen die Zungenvorrichtungen innerhalb des Kreuzungsvierecks, beim Zweiggleisradius $r_z=500$ m liegen sie außerhalb des Kreuzungsvierecks.

Bei Kreuzungsweichen mit innenliegenden Zungenvorrichtungen gibt es jeweils zwei Doppelherzstücke (siehe Abb. 5.13) und zwei einfache Herzstücke. Die Anordnung und Konstruktion der Herzstücke entspricht somit denen der Kreuzungen mit den gleichen Kreuzungswinkeln. Auch Kreuzungsweichen mit ihren starren Herzstücken dürfen nicht in Gleise mit einer zulässigen Geschwindigkeit über 100 km/h eingebaut werden.

Kreuzungsweichen mit $r_o=190$ m dürfen nicht gebogen werden.

Bei Kreuzungsweichen mit größerem Radius lassen sich die Zungenvorrichtungen nicht mehr im Kreuzungsviereck unterbringen, Abb. 5.14. Bei Kreuzungsweichen mit außen liegenden Zungenvorrichtungen ergeben sich sehr komplizierte Zwei- oder gar Dreifachherzstücke (Abschn. 5.4.5.1).

5.3 Weichen und Kreuzungen als Planungselement

5.3.1 Grundlagen der Weichengeometrie

Einfache Weichen haben ein gerades Stammgleis und ein gekrümmtes Zweiggleis.

Der Zweiggleisradius sowie alle Radien in Weichen beziehen sich bei der DB und vielen anderen Bahnen immer auf die Gleisachse des Zweiggleises.

Der Zweiggleisbogen beginnt an der Stelle, an der die Achse des Stammgleises als Tangente den Zweiggleisbogen berührt. Dieser Berührungspunkt bildet den Weichenanfang (WA). Damit ist Bogenanfang = Weichenanfang. Hier wird der Schweißstoß oder in Ausnahmefällen der Laschenstoß zwischen der Weiche und dem Gleis angeordnet.

Das Weichenende (WE) wird festgelegt an der Stelle, an der die beiden Schienen hinter dem Herzstück so weit voneinander entfernt sind, dass entweder eine Schienenverbindungsschweißung

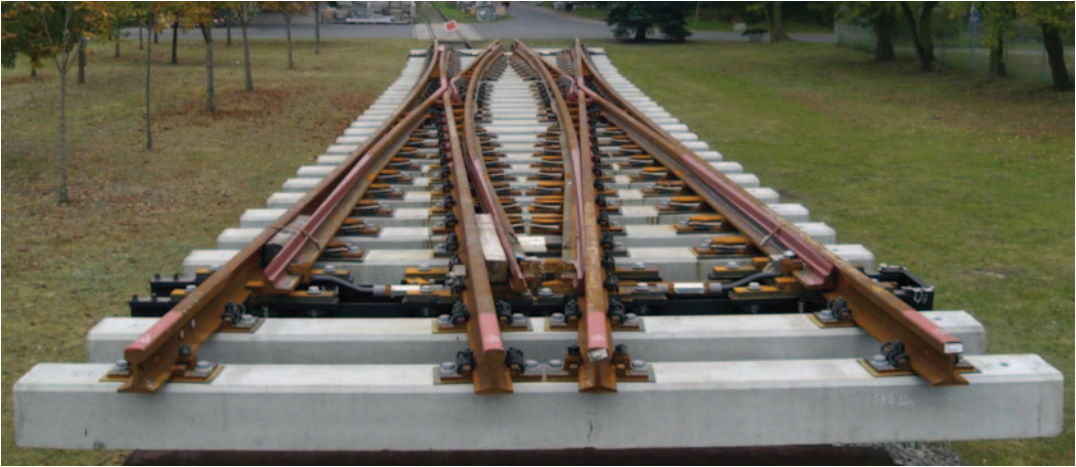


Abb. 5.13 Mittelteil einer doppelten Kreuzungsweiche (DKW) mit innen liegenden Zungen (4 Zungenvorrichtungen)

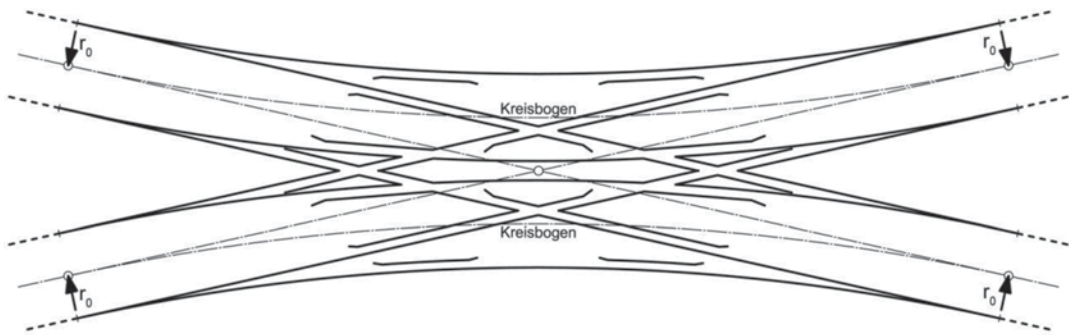


Abb. 5.14 Fahrkantenbild einer doppelten Kreuzungsweiche (DKW) mit außen liegenden Zungen

oder eine Verlaschung mit den Schienen des Weichenendteiles möglich ist. Das bedeutet gleichzeitig, dass getrennte Schienenbefestigungen für die jeweiligen Schienen verwendet werden können. Eine Verbindungsschweißung benötigt z. B. für den Einsatz der Formen für die alumino-thermische Schweißung einen freien Raum zwischen den beiden Schienen von mindestens 200 bis 220 mm. Außerdem muss der Schienenstoß am Weichenende im Schwellenfach liegen und es müssen die gewünschten geometrischen Abmessungen der Weiche an dem gewählten Weichenende erreicht sein.

Die am Bogenende des Zweiggleises anliegende Tangente bildet mit dem Stammgleis den Weichenwinkel (siehe Abb. 5.6). Der Tangens

des Weichenwinkels ist die sog. Weichenneigung. Die Weichenneigung soll bei der Weichenrundform möglichst ein einfacher Bruch sein, z. B: 1:7,5, 1:9, 1:12, 1:18, 1:26,5 usw., was die Planungsarbeiten und auch die zeichnerische Darstellung erleichtert. Außerdem besitzen die im Netz vorhandenen Weichen solche Neigungen. Um einen derartigen einfachen Bruch zu erhalten, wird das Weichenende entsprechend weiter vom zuvor genannten konstruktiv erforderlichen Weichenende nach hinten verschoben. Der dadurch entstehende Punkt ist das geometrische und schließlich auch das konstruktive Weichenende (WE). Der Abstand der Zweiggleisachse zur Stammgleisachse an dieser Stelle wird Spreizmaß genannt und beträgt etwa 1,75 m bis zu etwa 1,90 m, bei wenigen Weichen auch mehr.

Bei der geometrischen Festlegung von Weichen geht man zunächst von einem Radius aus, der die vorgesehene Zweiggelgeschwindigkeit zulässt. Als nächsten Schritt wählt man ein Spreizmaß am WE von 1,75 m und errechnet mit dem gewählten Zweiggelradius die vorläufige Weichenneigung. Aus diesen beiden Größen ergibt sich eine unrunde, vorläufige Weichenneigung, die dann für den zweiten Rechenschritt gerundet wird, was zur Bestimmung der Tangentenlängen und somit der Weichenlänge führt.

Der Zweiggelbogen kann vor dem Herzstück enden, dann entsteht ein „gerades Herzstück“, er kann am Weichenende enden, dann entsteht ein Bogenherzstück, und der Zweiggelbogen kann über das Herzstück hinaus bis zur letzten durchgehenden Schwelle weitergeführt werden, die bei einem Gleisabstand von etwa 2,30 m liegt⁵. Ein Krümmungswechsel innerhalb des sog. Langschwelleanteils zwischen Weichenende und letzter durchgehender Schwelle soll vermieden werden, um Regelschwelleätze verwenden zu können.

Die Spurweite in Weichen für die DB beträgt 1435 mm für alle Geschwindigkeitsbereiche.

5.3.2 Zweiggelbogen

Als Bogenformen für das Zweiggel kommen Kreisbogen, aus Kreisbogen zusammengesetzte Korbbogen oder Klothoiden mit Kreisbogen in Frage.

Die Regelform der Zweiggelgeometrie ist der Kreisbogen. Die gängigsten Zweiggelradien der DB-Kreisbogenweichen mit den zugehörigen zulässigen Zweiggelgeschwindigkeiten und möglichen Endneigungen sind in der folgenden Tabelle aufgeführt.

Kreisbogen ohne Übergangsbogen im Zweiggel stellen grundsätzlich unvermittelte Krümmungswechsel am Bogenanfang – also am Weichenanfang – und ggf. am Bogenende dar. Die zulässige Geschwindigkeit im Zweiggel berücksichtigt den zulässigen Überhöhungsfehlbe-

trag bei der Fahrt im Bogen und die Differenz der Überhöhungsfehlbeträge am Bogenanfang entsprechend dem für die Linienführung anzuwenden Regelwerk.

Der Zweiggelbogen beginnt am Weichenanfang und endet entweder vor dem Herzstück (gerades Herzstück), am Herzstückende (Bogenherzstück) oder er wird über das Weichende hinaus bis zum Ende der Langschwelle verlängert. Wesentlich ist, dass der praktische Bogenanfang des Zweiggeltes nicht mit dem theoretischen Bogenanfang, der am Weichenanfang liegt, zusammenfällt. Hierauf wird im Abschn. 5.4.3 noch näher eingegangen.

Die Weichen 60-6000/3700-1:32,5 –fb für 160 km/h Zweiggelgeschwindigkeit und 60-7000/6000-1:42-fb für 200 km/h Zweiggelgeschwindigkeit besitzen Korbbögen im Zweiggel. Die Verwendung von Korbbögen verringert die Krümmungsdifferenz am Anfang des Zweiggelbogens und erlaubt so eine Begrenzung der Weichenlänge und dennoch eine hohe Abzweiggeschwindigkeit bei gutem Fahrkomfort. Die Anordnung von Korbbögen reduziert am Übergang von der Geraden zum größeren Korbbogenradius die Differenz der Überhöhungsfehlbeträge und führt dann in einer „zweiten Stufe“ zum höheren Überhöhungsfehlbetrag des kleineren Radius des Zweiggeltes.

Die zulässige Geschwindigkeit im Zweiggel bestimmt sich aus dem maximal zulässigen Überhöhungsfehlbetrag und dem zulässigen Ruck am jeweiligen Bogenanfang beziehungsweise dem Bogenende.

Um eine Reduktion des Rucks bei möglichst kleinen Zweiggelradien zu erzielen, wurden in den 80er Jahren des vorigen Jahrhunderts Zweiggelgeometrien entwickelt, die aus Klothoiden und Kreisbögen zusammengesetzt sind (siehe Abschn. 12.6.2.3, Abb. 12.11). Solche Weichen (Typ 1 und Typ 2) wurden zuerst auf den spanischen Hochgeschwindigkeitsstrecken eingebaut und ab Mitte der 90er Jahre auch auf den Schnellfahrstrecken der DB realisiert. Weichen mit Klothoiden im Zweiggel sind z. B. in China, Spanien und Taiwan Stand der Technik für Hochgeschwindigkeitsstrecken, wenn die Zweiggelte fahrplanmäßig von Reisezügen befahren werden.

⁵ Die folgenden zwei gekürzten Regelschwelle je 2,20 m und 10 cm Schotter ergeben einen Gleisabstand von 2,30 m.

Tab. 5.1 kennzeichnende Daten einfacher Weichen der DB

| Radius r_z [m] | zul v im Zweiggleis [km/h] | verfügbare Schienenformen Metergewicht in [kg/m] | Endneigung |
|------------------|---------------------------------|--|----------------------------|
| 190 | 40 | 49 und 54 | 1:9; 1:7,5 und 1:7,5/6,6 |
| 300 | 50 | 49, 54 und 60 | 1:9, 1:14 und 1:9/1:9,4 |
| 500 | 60 | 49, 54 und 60 | 1:12, 1.14 und |
| 760 | 80 | 49, 54 und 60 | 1:14, 1:14/1:15 und 1:18,5 |
| 1200 | 100 | 49, 54 und 60 | 1:18,5 und 1:18,5/1.19,277 |
| 2500 | 130 | 60 | 1:26,5 |

In Frankreich werden für hohe Abzweiggeschwindigkeiten Zweiggleisgeometrien verwendet, bei denen das Zweiggleis am Weichenanfang mit einem Kreisbogen beginnt und mit einer Klothoide am Weichenende ausläuft (Typ 3 in o. g. Abbildung).

Bei der Verwendung der Weichen mit Klothoiden im Zweiggleis ist zu beachten, dass die Weichen bei gleicher Weichenneigung und gleicher Abzweiggeschwindigkeit länger sind als entsprechende Kreisbogenweichen, was sich auch im Preis für die Weiche niederschlägt. Bedingt durch die Klothoiden, entfernen sich die Zungen nur langsam von den Backenschienen, was eine Verlängerung der Zungen bewirkt.

Aus Abb. 12.11 ist ersichtlich, dass die in Weichen eingesetzten Klothoidenäste nicht beim Radius $=\infty$ beginnen, sondern aus konstruktiven Gründen immer mit einem endlichen Radius ansetzen.

Beispiele für solche Klothoidenweichen sind die EW 60-4800/2450-1:26,5, die mit 130 km/h im Zweiggleis befahren werden kann oder die EW 60-10000/4000, die bei der DB mit 160 km/h im Zweiggleis befahren wird. Im Ausland wird diese Zweiggleisgeometrie, ohne nennenswerte Einschränkung des Fahrkomforts, mit 170 km/h befahren.

Bei der Weiche EW 60-4800/2450 beginnt der Zweiggleisbogen mit einem Radius von 4.800 m und wird dann in einer Klothoide zum Radius 2450 m geführt. Die Länge der Klothoide entspricht den im Abschn. 12 erläuterten trassierungstechnischen Grundsätzen.

Eine Alternative zur Anwendung von Übergangsbögen im Zweiggleis ist die Trassierung

mit Korbbögen. Beispiel hierfür sind die Weichen der Form 60-7000/6000 oder 6000/3700. Bei solchen Weichen beginnt der Zweiggleisbogen mit dem genannten größeren Radius, an den nach einer Länge, die etwa 0,4 $zul\ v$ und somit einer Fahrzeit von etwa 1,5 s entspricht, der kleinere Radius anschließt.

Beide Lösungen, Korbbögen oder Klothoiden im Zweiggleis, verringern den Ruck bei der Einfahrt ins Zweiggleis und verbessern damit den Fahrkomfort.

5.3.3 Darstellung im Lageplan

Weichen und Kreuzungen sind in den Lageplänen durch die Achsen des Stamm- und des Zweiggleises darzustellen [1]. Der Zweiggleisbogen wird bei nicht gebogenen Weichen durch die Tangenten ersetzt (s. Abb. 5.6).

Vom Tangentenschnittpunkt bis zum Weichenende im Stammgleis und bis zum Ende der Zweiggleistangente entsteht ein Dreieck. Dieses wird bei ferngestellten Weichen ausgefüllt und bei ortsgestellten Weichen schräg schraffiert. Bei Kreuzungen mit starren doppelten Herzstücken werden diese Dreiecke senkrecht schraffiert, im Falle beweglicher Doppelherzstücke werden die Dreiecke je nach Antrieb entweder schräg schraffiert oder ausgefüllt. Ansonsten werden Kreuzungen durch die Gleisachsen und den Kreuzungsmittelpunkt dargestellt. Bei Kreuzungweichen wird ähnlich verfahren, wobei je Verbindungsgleis ein Strich dargestellt wird.

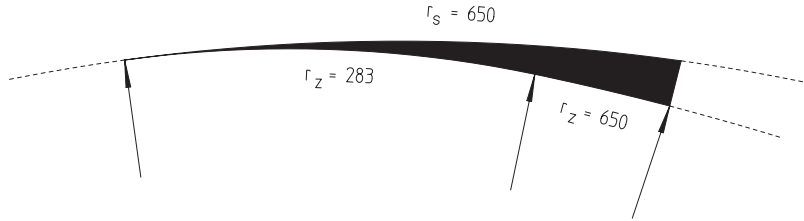
Bei Bogenweichen werden die Gleisachsen beider Gleise entsprechend ihrem Bogenverlauf

Abb. 5.15 Darstellung einer einfachen Weiche mit Bogenherzstück (Bogenende am Weichenende, ferngestellt)

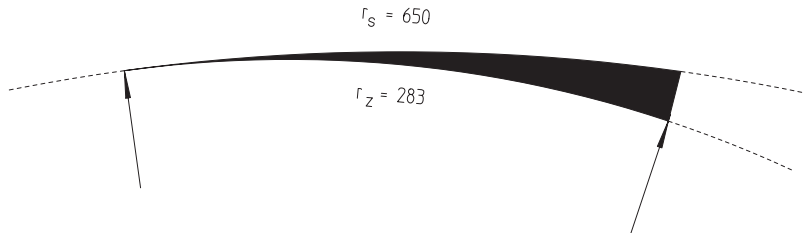


Abb. 5.16 Darstellung von Bogenweichen (ferngestellt)

IBW 54 - 500 - 1:14 Innenbogenweiche mit geradem Herzstück



IBW 54 - 500 - 1:12 Innenbogenweiche mit Bogenherzstück



ABW 54 - 500 - 1:12 Außenbogenweiche mit Bogenherzstück

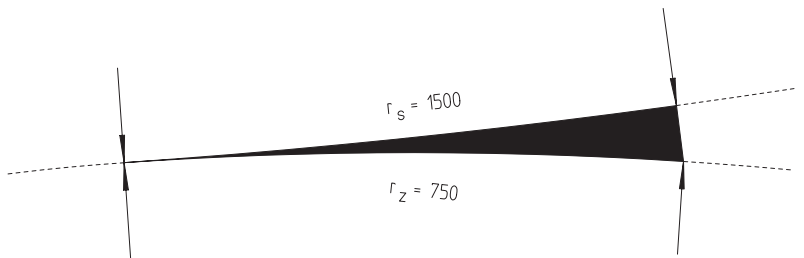


Abb. 5.17 Darstellung einer Kreuzung

Kr 54-1:9

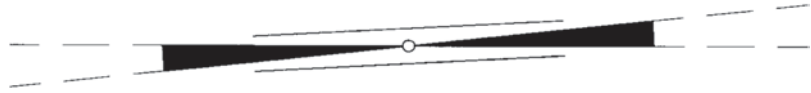


dargestellt, die Tangentenlängen der Weichen- grundform ändern sich nicht. Die gekrümmten Dreiecke der Bogenweichen werden komplett ausgefüllt. Die Radien von Stamm- und Zweig-

gleis sind im Lageplan anzugeben. Beispiele für diese Darstellungen finden sich in den Abb. 5.15, 5.16, 5.17 und 5.18, die der DB Ril 800.0120 [1] entnommen sind.

Abb. 5.18 Darstellung einer doppelten Kreuzungsweiche

DKW 54-190-1:9



5.3.4 Anordnung von Weichen

Weichen, Kreuzungen und Kreuzungsweichen sollen so angeordnet werden, dass sie sich möglichst nicht gegenseitig beeinflussen, weiterhin so, dass bei der Instandhaltung (Instandsetzung und Erneuerung) nicht in benachbarte Weichen eingegriffen werden muss und auch so, dass die fahrdynamischen sowie instandhaltungstechnischen Anforderungen eingehalten werden. Hierfür gelten die folgenden Grundsätze:

- Zu benachbarten Bögen sollen so große Abstände eingehalten werden, dass deren Instandhaltung unabhängig von der Weiche ausgeführt werden kann.
- Zwischen Weichengruppen sollen ausreichend lange Beruhigungsstrecken für die Fahrzeuge ($l \geq 0,4 \cdot v$) angeordnet werden.
- Weichen sollen so angeordnet werden, dass Fahrbahnteile nicht auf den Schwellen, die zu benachbarten Weichen gehören, zu liegen kommen und dass im Zungenbereich ungekürzte Regelschwellen verwendet werden können.
- Weichen sollen so weit entfernt voneinander eingebaut werden, dass dazwischen elektrische Trennstöße oder Achszähler angeordnet werden können; hierzu sind $l \geq 7$ m erforderlich.
- Bogenweichen sollen in Kreisbögen eingebaut werden.
- Müssen Weichen in Übergangsbögen angeordnet werden, ist darauf zu achten, dass im nach bogenaußen abzweigenden Strang Gegenbögen vermieden werden.
- Krümmungswechsel sollen nicht im Weichenbereich angeordnet werden.
- Wenn Neigungswechsel im Weichenbereich nicht vermeidbar sind, dann sollen Regelausrundungsradien, mindestens jedoch $r_a \geq 2000$ m geplant werden.

- Im Bereich von Weichen müssen seitliche Freiräume für Weichenantrieb, Prüfer und Übertragungsteile vorhanden sein. Das gilt insbesondere für Weichen in Tunneln und auf Brücken (wo Weichen grundsätzlich vermieden werden sollen).
- Bewegliche Teile von Weichen müssen ferner ausreichend weit vom beweglichen Ende von Brückenüberbauten entfernt sein, um Beeinflussungen aus den Längenänderungen der Brücke zu vermeiden.

Bei beengten Verhältnissen darf von einigen der vorgenannten Grundsätze abgewichen werden. So darf z. B. in Ausnahmefällen WA am WE der davor liegenden Weiche und damit auf den Langschwellen dieser Weiche angeordnet werden. Ebenso können bei geringem Abstand zwischen WE und WA im Zungenbereich der zweiten Weiche gekürzte Regelschwellen verwendet werden.

5.4 Bauteile von Weichen und Kreuzungen

5.4.1 Allgemein

Abbildung 5.19 zeigt die systematische horizontale Einteilung einer einfachen Weiche. Alle anderen Weichen folgen dieser Systematik.

Gemäß Abb. 5.20 setzt sich jede Weiche zusammen aus dem Zungenbereich, dem Zwischenschienenbereich und dem Herzstückbereich. Die Weichenfahrbahn wird ergänzt durch den Weichenschwellensatz und die Weichenstellvorrichtungen mit ihren Verschlüssen und Prüfkontakten. Der Langschwellenteil, in dem Regelschienen der anschließenden Gleise und Regelschienenbefestigungen verwendet werden, reicht über das Weichenende hinaus bis zur letzten durchgehenden Schwelle („ldS“), siehe Abschn. 5.4.7.

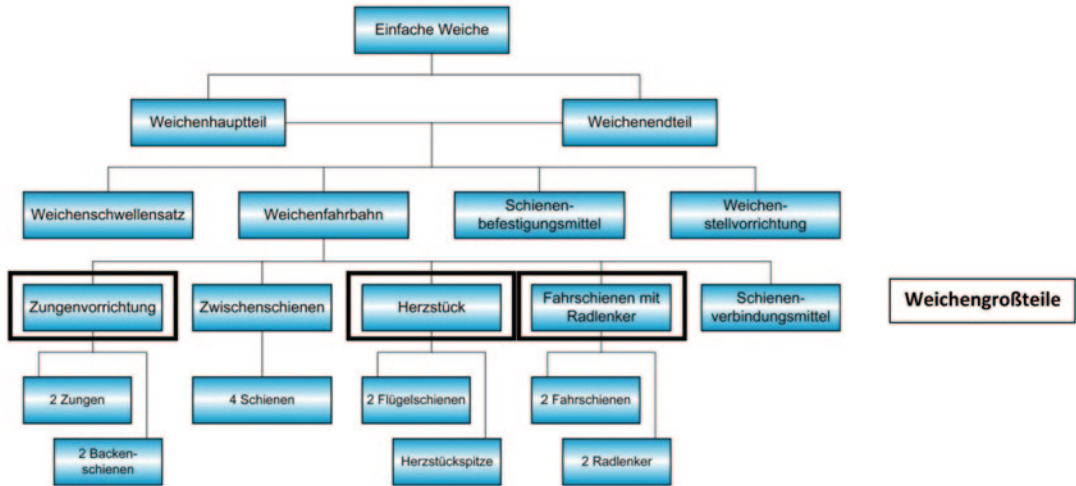


Abb. 5.19 Einteilung einer Weiche

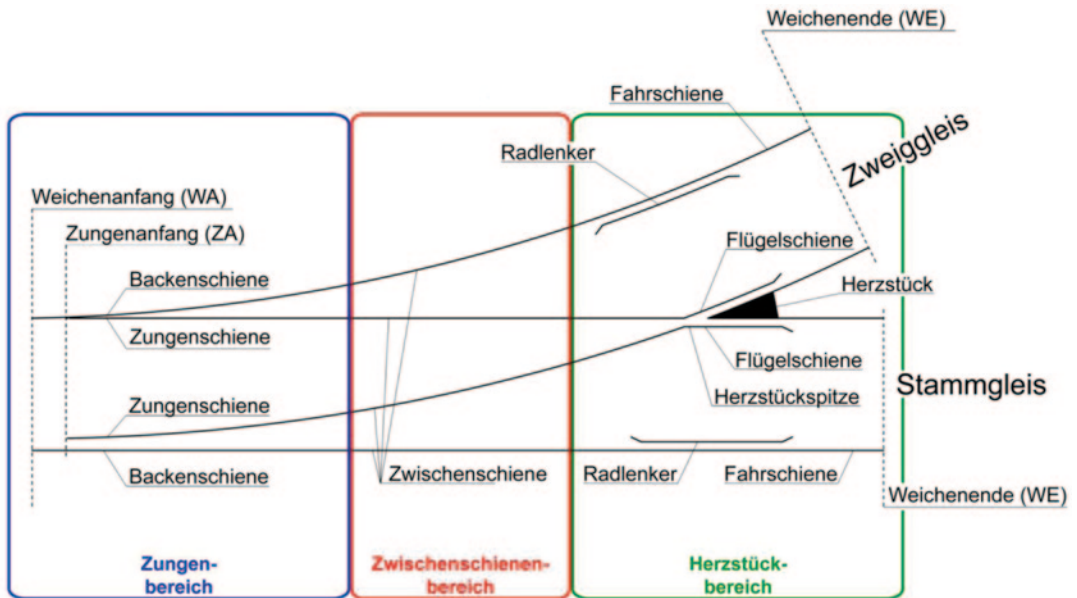


Abb. 5.20 Systemskizze der Bauteile einer Weiche

Zungenvorrichtungen, Herzstücke und Fahrschienen mit Radlenkern werden „Weichengroßteile“ genannt, siehe Abb. 5.19. Sie bestehen alle aus bearbeiteten Schienen und besitzen besondere Schienenbefestigungen. Im Zwischenschienenbereich kommen Regelschienen auf Regelschienenbefestigungen zum Einsatz.

Vertikal lässt sich die Weiche gliedern in die Weichenfahrbahn, auf der die Räder getragen

und geführt werden, die Schienenbefestigungen, die Schwellen und den Schotter beziehungsweise entsprechende Bauteile der Festen Fahrbahn.

5.4.2 Weichenfahrbahn

Bei der DB haben sich drei Schienenprofile etabliert: das S 49-Schienenprofil, das S 54-Schienenprofil und das UIC 60-Schienenprofil. Mit

Abb. 5.21 Gegenüberstellung der neuen Schienenbezeichnungen nach EN 13674 und der alten Bezeichnungen nach UIC-Merkblatt 860 V

| Zungenschienen | |
|----------------|-------------|
| EN 13674 | vormals |
| 49E1A1 | Zu 2-49 |
| 54E1A2 | Zu 1-54 |
| 54E1A1 | Zu UIC 54 B |
| 60E1A1 | Zu 1-60 |
| Zu 60 E2-40 | — |

| Vollschienen | |
|--------------|---------------|
| EN 13674 | vormals |
| 49E1F1 | Vo 1-49 |
| 54E3F1 | Vo 1-54 |
| 54E1F1 | Vo 1 - UIC 54 |
| Vo 60 E2-40 | — |
| 60E1F1 | Vo 1-60 |

| Radlenker | |
|-----------|---------|
| EN 13674 | vormals |
| 36C1 | RI 1-49 |
| 48C1 | RI 1-54 |
| 33C1 | RI 1-60 |

Einführung der Europäischen Norm EN 13 674 haben sich die Bezeichnungen der Schienenprofile geändert, dennoch sind die Weichen im Regelwerk der DB vielfach nach wie vor unter den genannten Profilbezeichnungen geführt. Die neuen Bezeichnungen der Schienen- bzw. sog. Walzprofile für die Konstruktionsschienen in Weichen sind in Abb. 5.21 gegenübergestellt. Vollschienen werden in beweglichen Herzstücken verwendet. Alle Schienen in Weichen erhalten das Schienenkopfquerprofil entsprechend 60 E2 (neue Bezeichnung).

Die Weichenfahrbahn soll den Lauf der Fahrzeuge im Vergleich zum Gleis möglichst wenig beeinflussen. Dies ist wegen der geschilderten spurführungstechnischen Besonderheiten in Weichen nur bedingt möglich.

Mit Beginn des Hochgeschwindigkeitsverkehrs fand die Einführung geneigter Schienen für die zweite Generation der HGV-Weichen statt. Dabei wurden die vorher in Weichen senkrecht stehenden Schienen (was konstruktiv weniger anspruchsvoll ist) mit der Neigung 1:40 wie im Gleis nach innen geneigt mit dem Ziel der Angleichung der berührgeometrischen Verhältnisse an die des Gleises.

Die Neigung der Schienen trägt neben den berührgeometrischen Verbesserungen auch zur Reduktion von Rollkontaktschäden im Bereich der Fahrkanten bei.

Eine Umrüstung bestehender Weichen zum Einsatz geneigter Schienen scheidet wegen der damit verbundenen hohen Kosten aus, weil die Neigung der Schienen andere Schwellenkoor-

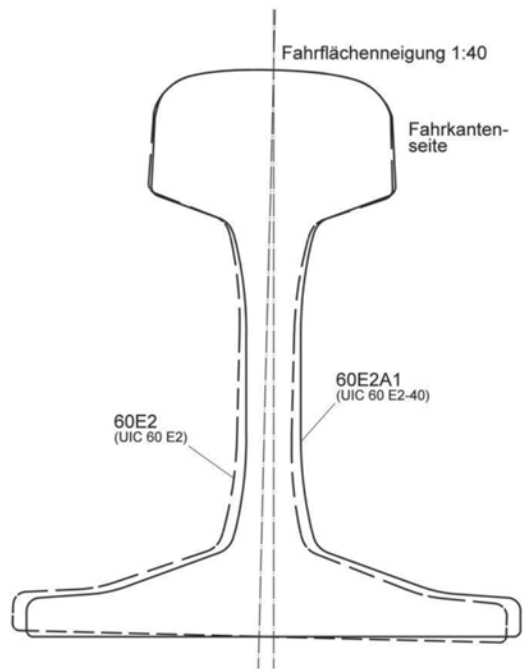


Abb. 5.22 Darstellung des Übergangs von 60 E2 1:40 geneigt auf 60 E2 senkrecht stehend

dinaten erfordert. Gelöst wurde diese Herausforderung durch Einführung von Walzprofilen mit einer Kopfneigung von 1:40 für die UIC 60-Weichen, Abb. 5.22. Damit können die Schienen weiterhin senkrecht in der Weiche unter Beibehaltung bestehender Schwellensätze eingebaut werden, und trotzdem entspricht die Berührgeometrie der Schienenneigung 1:40. Diese Umrüstung ist möglich im Zuge der Erneuerung

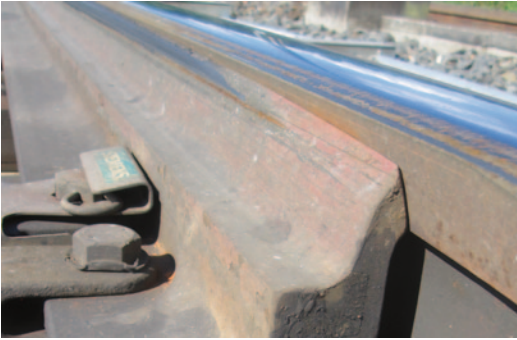


Abb. 5.23 Zungenspitze mit schräg unterhobelter Balkenschiene

von Fahrbahnteilen in bestehenden Weichen UIC 60 und bei allen Neufertigungen dieser Weichen. Um die Schienenkopffneigung in der richtigen Richtung einzubauen, ist das Walzzeichen auf der der Fahrkante gegenüber liegenden Seite aufgebracht, was beim Einbau zu beachten ist. Beim Anschluss kopfgeneigter Schienen an Schienen, die geneigt eingebaut sind, werden die Fahrkante und die Fahrfläche ausgerichtet. Hierdurch entsteht im Steg und am Fuß ein Seiten- und ein einseitiger Höhenversatz, was beim aluminothermischen Schweißen ausgeglichen wird.

Zu den jeweiligen Regelschienenprofilen gibt es die entsprechenden Walzprofile für die Weichenzungen mit dem praktisch gleichen Metergewicht.

Bei allen Zungenprofilen für die DB-Weichen handelt es sich um asymmetrische Profile, die deutlich niedriger sind als die entsprechenden Regelschienenprofile. Der Höhenunterschied zwischen Backenschiene und Zunge erlaubt die Verwendung von inneren Backenschienenverspannungen, Abb. 5.49.

Die Zungen sind immer bewegliche Bauteile, und in beweglichen Bauteilen sind grundsätzlich keine Schweißungen erlaubt. Um den Anschluss der Zunge am Zungenende mit der im Zwischenschienenbereich anschließenden Regelschiene verschweißen zu können, werden die Zungenprofile nahe dem Zungenende durch Schmieden umgeformt auf das Profil der Regelschiene.

Auch im Herzstück werden die oben aufgeführten Schienenprofile verwendet. Die Spitzen

der Herzstücke bestehen in den häufigsten Fällen aus geschmiedeten Blöcken. Es gibt aber auch Herzstücke, bei denen die Spitzen durch Zusammenschweißen von zwei frästechnisch vorbereiteten Regelschienen mit einer Längsnaht zusammenschweißt werden. Bei diesen Schweißungen kommt das Elektronenstrahlschweißverfahren zum Einsatz. Dieses Verfahren arbeitet mit einer sehr schmalen Wärmeeinflusszone, wodurch die Stahlgüte der eingesetzten Schienenprofile nahezu unbeeinflusst bleibt.

5.4.3 Zungenvorrichtungsbereich

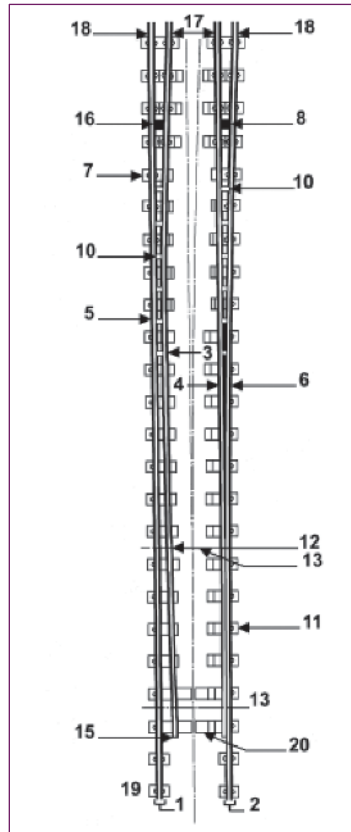
5.4.3.1 Allgemein

Der Zungenteil wird auch als Zungenvorrichtung bezeichnet. Diese setzt sich zusammen aus zwei halben Zungenvorrichtungen. Die halben Zungenvorrichtungen bestehen aus einer geraden Backenschiene für das gerade Stammgleis und einer gebogenen Zunge für das Zweiggleis bzw. aus einer gebogenen Backenschiene für das Zweiggleis und aus einer geraden Zunge für das Stammgleis. Details können Abb. 5.24 entnommen werden, die aus der EN 13232 stammt.

Alle Schienen im Zungenteil sind bei der Weichenfertigung zu bearbeiten (Hobeln, Fräsen, Schmieden und Bohren). Die Backenschienen sind feststehend, die Zungen sind beweglich, an ihren Enden jedoch eingespannt.

Der Zungenbereich muss so lang sein, dass das Zungenende (Zungenwurzel) und die Backenschienen ausreichend voneinander entfernt sind, damit eine Schweißung oder Verlaschung mit den anschließenden Zwischenschienen möglich ist und getrennte Schienenbefestigungen für Backenschiene und Zungenschiene eingebaut werden können. Ein Mindestabstand von etwa 200 bis 220 mm ist hierfür notwendig. Außerdem soll der Zungenwurzelstoß (Schweißstoß oder Laschenstoß) in einem Schwellenfach liegen. Eine weitere Forderung ist, dass die Zunge am Zungenende vor dem Schweißstoß auf mindestens drei Schwellen befestigt ist.

Abb. 5.24 Zungen-
vorrichtung mit allen
Komponenten und ihren
Bezeichnungen gemäß EN
13 232



- 1 linke halbe Zungenvorrichtung
- 2 rechte halbe Zungenvorrichtung
- 3 Linke gebogene Zunge
- 4 Rechte gerade Zunge
- 5 Linke gerade Backenschiene
- 6 Rechte gebogene Backenschiene
- 7 Unterlagsplatte der Zungenwurzel
- 8 Futterstück der Zungenwurzel
- 9 Stoßfutterstück (nicht dargestellt)
- 10 Stützkraggen
- 11 Gleitstuhlplatten
- 12 Zungenverbindungsstangenhalter
- 13 Zungenverbindungsstange
- 14 Wanderschutz (nicht dargestellt)
- 15 Zungenspitze
- 16 Zungenwurzel
- 17 Zungenstoß
- 18 Backenschiene Stoß
- 19 Backenschiene Stoß Weichenanfang
- 20 Unterlagsplatte (Verbindungsplatte)
- 21 Schwellen (nicht dargestellt)

5.4.3.2 Zungenausbildung und Wanderschutz

Die Zungen bestehen aus asymmetrischen Schienenprofilen (siehe Abb. 5.26), die niedriger sind als die Backenschieneprofile. Das Metergewicht der Zungenprofile entspricht dem der Backenschiene und Zwischenschiene. Der Höhenunterschied erlaubt die Verwendung sog. Gleitstühle, auf denen die Zunge beim Umstellvorgang quer gleiten kann. Zur Verringerung der Reibung können in die Gleitstühle sog. Zungenroller integriert oder zwischen den Schwellen separat montiert sein. Außerdem kann im Gleitstuhl die sog. innere Backenschieneverspannung, die den inneren Schienenfuß der Backenschiene kraftschlüssig niederhält, integriert werden kann (siehe Abb. 5.49).

Die Fahrkantengeometrie der Zunge soll möglichst die geometrische Gestaltung der Weiche abbilden. Würde die Zunge als Ablenkvorrichtung mit ihrer Fahrkante genau die Tangente des Zweiggleises berühren, so würde das zu extrem dünnen Bauteilen am Zungenanfang

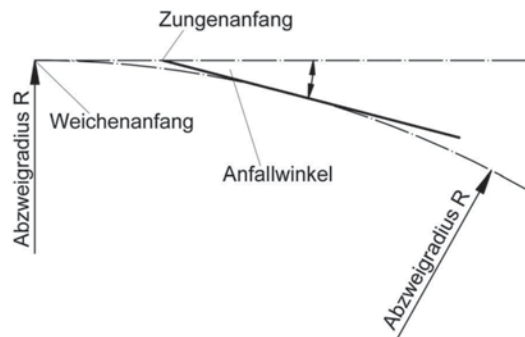


Abb. 5.25 Prinzipskizze Anfallwinkel am Zungenanfang

führen. Solch dünne Bauteile könnten den Beanspruchungen aus den Führungskräften beim Anlaufen der Spurkränze an die Fahrkanten der Zungen nicht widerstehen. Deshalb wird die Zunge gekürzt, und ihre Fahrkante bildet am Zungenanfang eine Tangente an den Zweiggleisbogen. Hierdurch entsteht ein Anfallwinkel des Spurkränzes an die Zungenfahrkante (siehe Abb. 5.25).

Abb. 5.26 Querschnitt durch Zunge und Backenschiene an verschiedenen Stellen zur Demonstration der Anpassung der Konturen beider Schienen

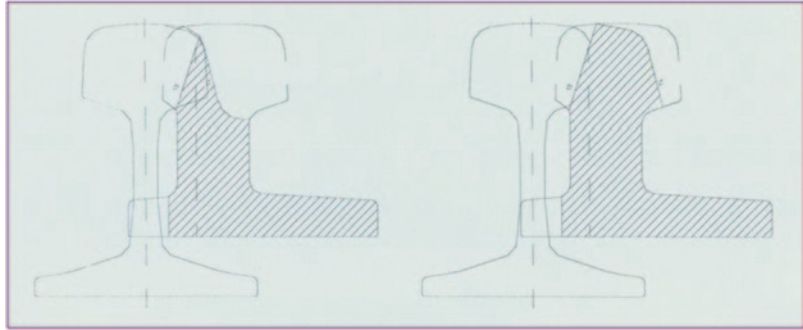


Abb. 5.27 Endbereich der Zunge (links) mit Stütznaggen und zweiteiligem Wanderschutz



Durch diese Maßnahme wird die Zunge kürzer als die zugehörige Bogenlänge des Zweiggleises, und der Zungenanfang liegt dadurch etwa zwei Schwellenfächer hinter dem Weichenanfang. An der Zungenspitze ist die Zunge dennoch sehr stark geschwächt, und sie unterschneidet die an der Schienenkopfunterseite schräg beigeohelte Backenschiene (siehe Abb. 5.23). Die Oberkante der Zunge ist so abgesenkt, dass sie die Backenschienenfahrkante um mindestens 3 mm unterschneidet. Am Zungenanfang übernimmt die Zunge nur Führungskräfte aus dem Kontakt Spurkranz-Fahrkante. Die Radaufstandskräfte werden von der Backenschiene getragen. Erst ab einer Dicke des bearbeiteten Zungenkopfes von mindestens 38 mm kann die Zunge auch Vertikalkräfte aufnehmen. Bis zu diesem Punkt ist die Oberkante der Zunge abgesenkt.

Am Zungenanfang werden die Führungskräfte von der Anschlagseite der Zunge durch Kontakt direkt in die Backenschiene eingeleitet, nach dem sog. Hauptknick der Zunge übernehmen Zungenstützen oder Stütznaggen die Seitenkräfte aus der Zunge und leiten sie in den Steg der Backenschiene ein, was aus Abb. 5.27 ersichtlich ist; die Zungenspitze liegt unten außerhalb der Abbildung.

Die Zungen sind durch die Verschweißung mit den Zwischenschienen an das lückenlose Gleis angeschlossen und bilden ein „freies Ende im lückenlosen Gleis“, das Längsbewegungen der Zunge in Abhängigkeit der Temperatur und des Durchschubwiderstandes der Schienenbefestigung zulässt. Um diese Längsbewegungen zu begrenzen und um die Längskräfte sicher in die durchgehend verschweißten Backenschie-

nen ableiten zu können, ist am am Zungenende ein Wanderschutz installiert. Stand der Technik ist der zweiteilige Wanderschutz, der aus einer Gabel an der Backenschiene und aus einem Zapfen an der Zunge besteht (siehe Abb. 5.27). Der zweiteilige Wanderschutz erlaubt Längsbewegungen („Atmen“) der Zunge im Millimeterbereich, was die aus dem lückenlosen Gleis herrührenden Spannungsspitzen abbaut. Durch diesen Spannungsabbau wird die Einleitung zu großer Kräfte in die Backenschiene vermieden, was sonst zu Richtungsfehlern führen könnte. Mit zunehmender Größe des Weichenwinkels steigt diese Gefahr von Richtungsfehlern im Stammgleis. Die Längsbewegung der Zunge muss aber im Hinblick auf die Funktionsfähigkeit der Verschlüsse begrenzt sein, was durch den Wanderschutz gewährleistet ist.

Die Zunge ist ein elastisch verformbares Bauteil. Es wird mit Hilfe von Antriebsvorrichtungen seitlich bewegt und in der jeweiligen Endlage gehalten und verschlossen bzw. verriegelt.

Im anliegenden (geschlossenen) Zustand muss die Zunge formschlüssig an der Backenschiene (im vorderen Bereich) bzw. formschlüssig an den Stützknaggen (im hinteren Bereich) anliegen. Geringe Toleranzen sind zulässig. Die Anlage wird durch entsprechend eingestellte Zungenprüfkontakte überwacht. Im Laufe der Zeit kann es zu Verbiegungen der Zunge kommen, so dass die zuvor beschriebene gute Anlage gefährdet ist. In solchen Fällen kann ein Nachbiegen der Zunge vor Ort notwendig werden.

Im abliegenden (offenen) Zustand muss die Zunge an jeder Stelle einen ausreichenden Abstand zur Backenschiene einhalten, und an der engsten Stelle zwischen abliegender Zunge und Backenschiene muss eine Durchfahrrille von mindestens 58 mm sichergestellt werden, um zu gewährleisten dass die Rückseite der offenen Zunge nicht vom Radrücken angefahren wird.

Gleichzeitig dürfen die Umstellwiderstände aus horizontaler Biegung der Zunge, Reibung zwischen Zunge und Gleitstuhlflächen sowie vertikaler Biegung der Zunge (z. B. beim Hochlaufen der Zunge auf Zungenroller) nicht so groß sein, dass die zur Verfügung stehenden Umstellkräfte des Stellsystems einschliesslich ausreichender Reserven nicht mehr genügen. Ein

ausreichender Abstand zwischen zur Verfügung stehender Umstellkraft und Umstellwiderstand ist für die Verfügbarkeit der Weichen daher unabdingbar.

Um dies zu erreichen, gibt es zwei Konstruktionsprinzipien für die Zungen, die die Biegelinien und die Biegekräfte beeinflussen: die Federzunge und die Federschienenzunge.

5.4.3.3 Zungenwurzel und Federstelle Federzunge

Bei der Federzunge befindet sich der gesamte bewegliche Abschnitt der Zunge im Bereich des Zungenprofils. Die Umschmiedung zum Regelschienenprofil ist weit hinten in der Zunge in ihrem unbeweglichen Teil angeordnet und somit komplett durch die Schienenbefestigung eingespannt. Diese Anordnung vermeidet eine Schweißung im beweglichen Zungenteil, der durch die Umstellung der Zunge dynamisch beansprucht wird. Abb. 5.28 veranschaulicht dieses Prinzip.

Um die Umstellwiderstände klein zu halten und um die Mindestdurchfahrrille über die Beeinflussung der Biegelinie sicher einhalten zu können, ist es möglich, den Zungenfuß im Bereich der Federstelle abzufräsen. Dieser Bereich ist in der Prinzipskizze gestrichelt dargestellt. Der auf der Skizze als „starr“ bezeichnete Abschnitt ist vollkommen durch die Schienenbefestigung eingespannt. Hier befindet sich auch die Ausschmiedung zum Regelschienenprofil. Die Federzunge ist an ihrem (rechten) Ende und damit im Regelschienenprofil mit der Zwischenschiene verschweißt. Die Federzunge ist Stand der Technik bei der DB.

Der in Abb. 5.29 dargestellte Bereich ist komplett eingespannt. Sichtbar ist auch der Höhenunterschied zwischen Zungen- und Regelschienenprofil und die Änderung der Stützpunkthöhe.

Federschienenzunge

Die Federschienenzunge besteht aus dem asymmetrischen Zungenprofil und wird im hinteren, aber noch beweglichen Teil der Zunge auf das Regelschienenprofil ausgeschmiedet und mit dem anschließenden Regelschienenprofil im Abbrennstumpfschweißverfahren verschweisst, Abb. 5.30. Die Schweißstelle liegt damit im fe-

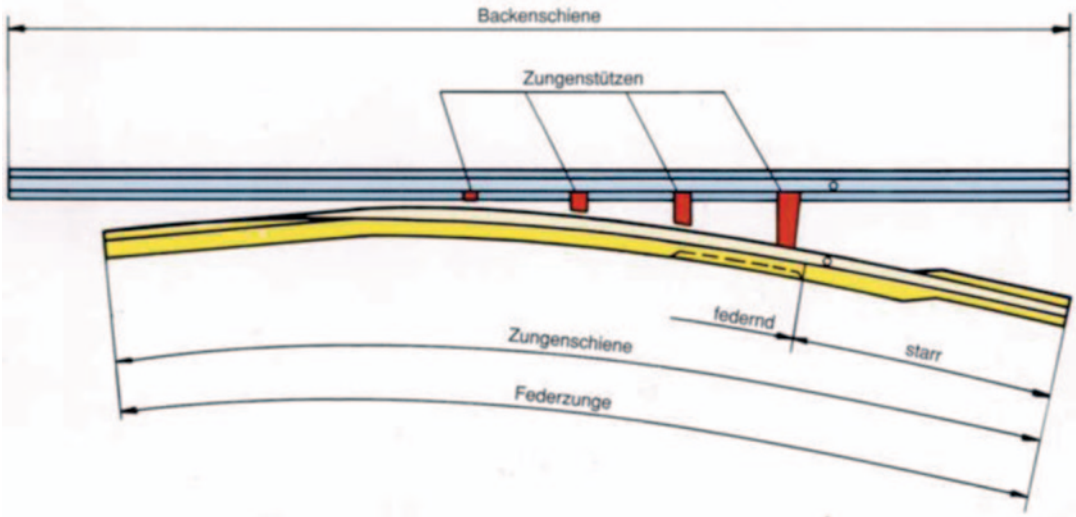


Abb. 5.28 Prinzipskizze Federzunge

Abb. 5.29 Ausschmiedung des Zungenprofils zum Regelschienenprofil

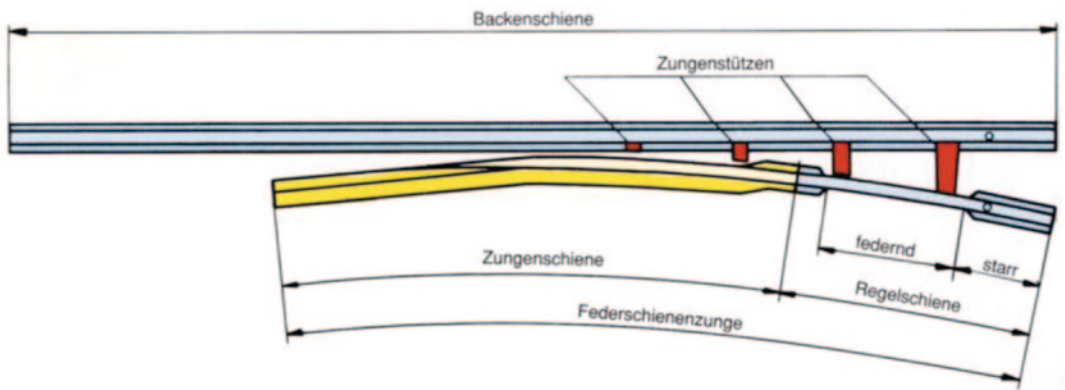


Abb. 5.30 Prinzipskizze Federschienenzunge

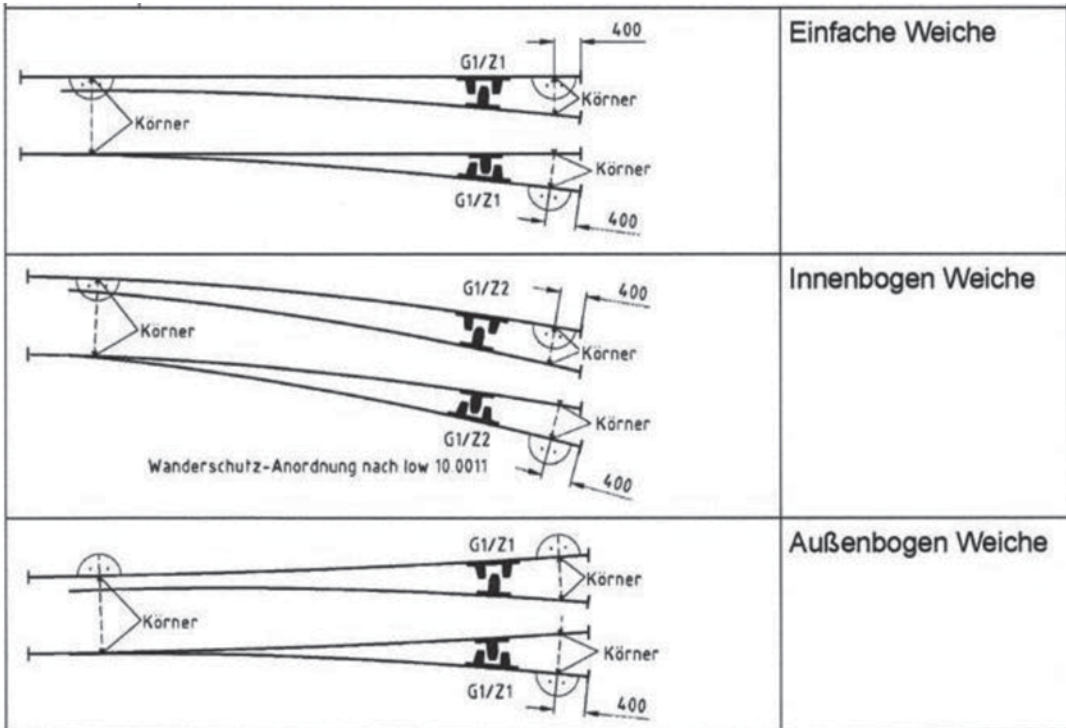


Abb. 5.31 Winkellage der Backenschiene und Lage der Zungen

dernd elastischen Teil der Zunge und muss mit einer Sicherheitslasche gesichert werden, weil Schweißungen in beweglichen Fahrbauteilen ohne Sicherung nicht erlaubt sind.

Zur Reduzierung der Umstellwiderstände und zur Beeinflussung der Biegelinie kann der Zungenfuß im Bereich der Regelschiene abgearbeitet werden. Da bei der Federschienenzunge der hintere Teil aus einem Regelschienenprofil besteht, fehlt der erforderliche Höhenunterschied für den Einbau einer inneren Backenschienenverspannung. In diesem Bereich ist also eine Regelschienenbefestigung erforderlich. Die Federschienenzunge ist heute eher die Ausnahme.

Im hinteren Bereich macht die Zunge nur noch relativ kleine seitliche Bewegungen beim Umstellen. Um die Reibkräfte beim Umstellen zu begrenzen, sind die Gleitstuhloberflächen dort mit Aluminium-Silizium oder Molybdän beschichtet.

5.4.3.4 Länge der Zungenvorrichtung

Die Zweiggleisgeometrie (im Wesentlichen der Radius des Zweiggleises und die folgenden kons-

truktiven Grundsätze) beeinflussen die Länge der Zungenvorrichtung.

Die Länge der Zunge muss so gestaltet sein, dass sie an ihrem Ende durch mindestens drei Stützpunkte voll verspannt sein kann. Hierzu braucht sie einen ausreichenden Abstand von der Backenschiene. Dieser Mindestabstand beträgt etwa 220 bis 250 mm. Der Schweißstoß zwischen der Zunge und der anschließenden Zwischenschiene muss zwischen zwei Schwellen, möglichst in Schwellenfachmitte, angeordnet sein, Abb. 5.31.

Des Weiteren muss im eingespannten Teil der Zunge hinreichend Platz für die Anordnung des Wanderschutzes verfügbar sein.

Die Backenschiene ist genau so lang, dass die senkrechte Projektion des Zungenendes auf die Backenschiene deren Ende darstellt. Die Enden von Zunge und Backenschiene sind durch jeweils einen Körnerschlag am Schienenkopf gekennzeichnet. Diese Körner dienen bei der Montage der genauen Ausrichtung der halben Zungenvorrichtung.

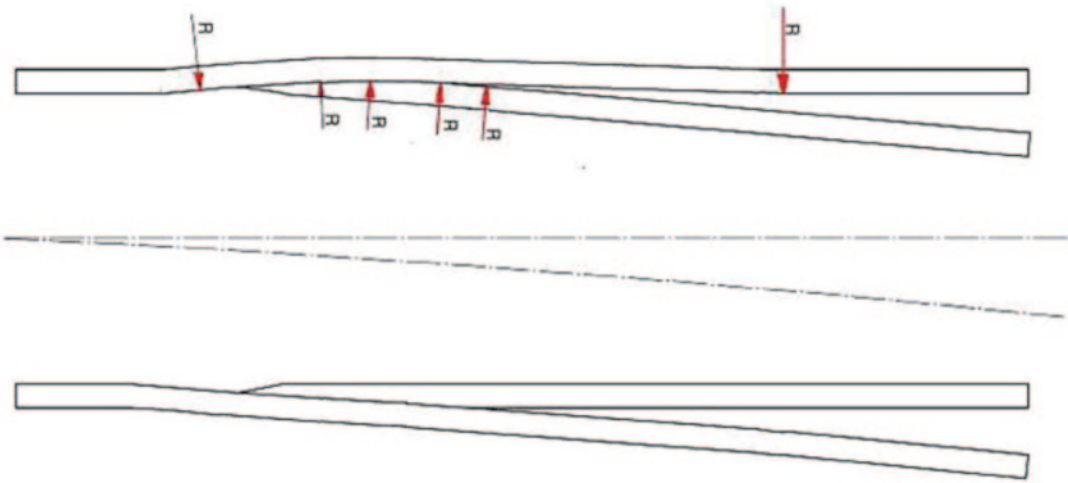


Abb. 5.32 Prinzipskizze der Spurerweiterung am Zungenanfang zur Vergrößerung des Dickenzuwachses der Zunge

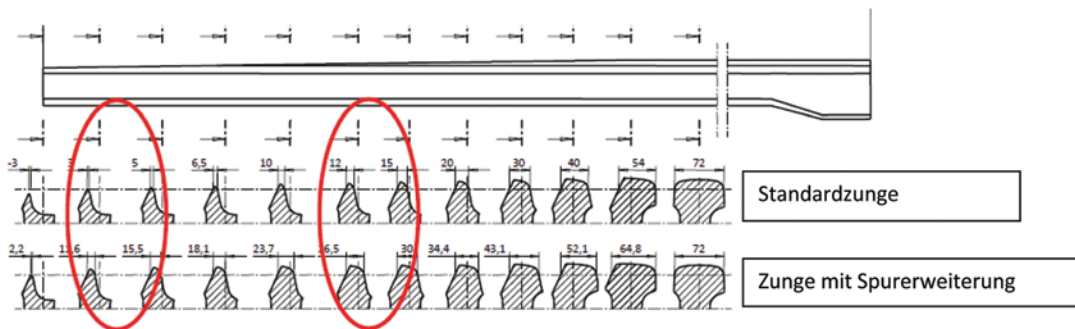


Abb. 5.33 Prinzipskizze zur Darstellung der größeren Zungendicke bei Spurerweiterung im Vergleich zur Standardzunge

Die Länge des beweglichen Teils der Zunge sowie die Länge und Stärke der oben erwähnten Ausfräsung am Zungenfuß beeinflussen den Umstellwiderstand maßgeblich.

5.4.3.5 Ausbildung der Zungenspitze/ Verschleißvorrat

Je grösser der Zweiggleisradius wird, umso länger und schlanker werden die Weichen und damit auch die Zungen. Um für solch schlanke Zungen ausreichend Verschleißvorrat zu schaffen, hat die DB bei der Weiche 60-7000/6000 von Anfang an eine Vergrößerung der Spurweite in der Zungen- vorrichtung eingeführt. Diese Spurerweiterung um 15 mm wurde realisiert durch ein „Öffnen“ der Backenschiene zur Feldseite hin. Im gleichen

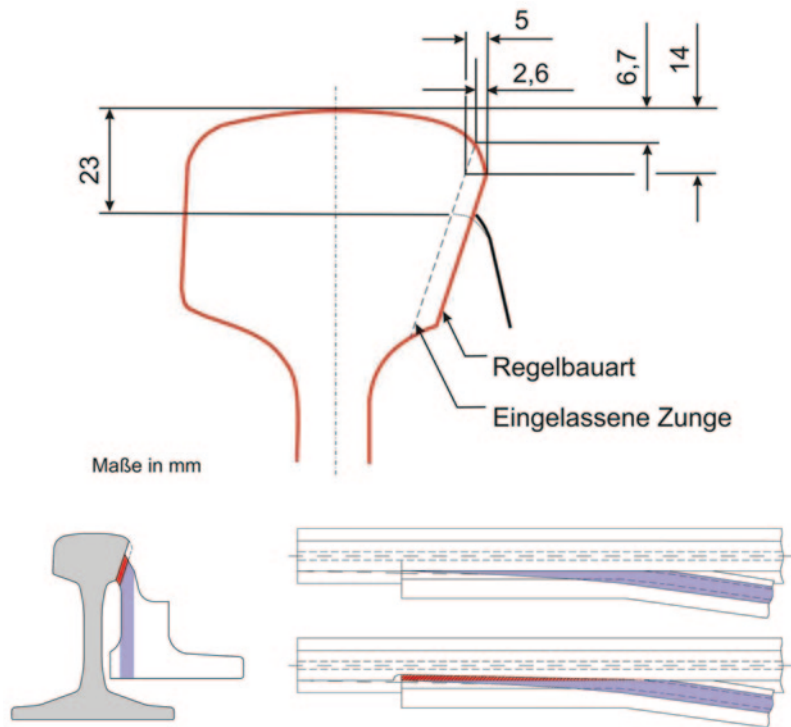
Maß wie die Spurweite durch diese Maßnahme zunimmt, vergrößert sich die Zungendicke.

Das Prinzip ist in Abb. 5.32 und 5.33 veranschaulicht.

Der Dickenunterschied der Zunge, der als zusätzlicher Verschleißvorrat dient, ist deutlich sichtbar. Durch diese Spurerweiterung geht die Geradheit der geraden Backenschiene verloren und die für die Richtungskorrektur durch Stopfmaschinen erforderlichen Korrekturdaten müssen entsprechend zur Verfügung gestellt werden. Im europäischen Projekt „Innotrack“, dessen Ziel es war, die Life Cycle Costs (LCC) für die Fahrbahn deutlich zu senken, wurde auch diese Lösung theoretisch untersucht und als wirksame Maßnahme zur Verbesserung des Verschleißvor-

Abb. 5.34 Eingelassene Zunge der Bauart WITEC

Zungenvorrichtung Bauart Witec - Eingelassene Zunge



rates und damit zur Verlängerung der Standzeit der Zungen eingestuft.

Neben dem Dickenzuwachs der Zungenquerschnitte beeinflusst die Spurerweiterung die Radsatzführung im Überlaufbereich Zunge/Backenschiene. Das System wird deshalb unter dem Namen „Fahrkinematische Optimierung“ oder abgekürzt „Fakop“ vertrieben. Die fahrdynamische Wirksamkeit wird ermöglicht durch die Konizität der Eisenbahnräder. Beim Überlauf von der Backenschiene zur Zunge ändern sich der wirksame Radumfang innerhalb kürzester Wege und dadurch die Überrollzeiten, was dem überrollenden Radsatz wegen der damit vergrößerten Rollradiendifferenz zwischen dem linken und rechten Rad eine seitliche Komponente verleiht. Diese Rollradiendifferenz lässt sich mit der dargestellten Spurerweiterung im Bereich der Backenschiene günstig beeinflussen. Für Weichen, die mit Fakop ausgestattet sind, sind die Schwellen mit besonderen Stützpunktkoordinaten herzustellen.

Auf den spanischen Hochgeschwindigkeitsstrecken sowie in Taiwan und China ist dieses

System Stand der Technik. Auch im Netz der DB haben die Weichen 7000/6000 und 6000/3700 dieses System der Zungenverdickung über Spurerweiterung eingebaut.

Eine Alternative zu dieser Art der Vergrößerung des Verschleißvorrates der Zungen stellt die sog. WITEC-Lösung dar. Hier wird die Verdickung der Zungenspitze durch stärkeren Materialabtrag an der Backenschiene geschaffen. Das System wird deshalb auch als „eingelassene Zunge“ bezeichnet.

Wie dieser Materialzuwachs bei der Zunge mit dem zusätzlichen Materialabtrag bei der Backenschiene im Einklang steht, zeigen Abb. 5.34 und 5.35.

Abbildung 5.34 zeigt oben links den Dickenzuwachs der WITEC-Zunge im Querschnitt. Die rechten Bilder zeigen die Draufsichten auf die Zunge, das obere Bild die Draufsicht ohne Dickenzuwachs und das untere Bild die Draufsicht mit Dickenzuwachs. Durch diese Gestaltung der Zunge verlängert sich die Standzeit der gebogenen Zunge deutlich.



Abb. 5.35 Unterschnidung der Backenschiene für WITEC. *Links* starke Unterschnidung, *rechts* „normale“ Unterschnidung

5.4.4 Zwischenschienenteil

Der Zwischenschienenteil befindet sich zwischen Zungenvorrichtung und Herzstückteil. Im Zwischenschienenteil werden unbearbeitete Schienen verwendet. Falls Isolierstöße angeordnet werden müssen, so befinden sie sich im Zwischenschienenteil. Zwei Zwischenschienen sind dem Zweiggleisradius entsprechend gebogen und zwei Zwischenschienen dem Stammgleis entsprechend gerade oder gebogen.

Die Zwischenschienen des Stammgleises und die des Zweiggleises liegen auf denselben langen Schwellen. In der Nähe der Zungenvorrichtung und kurz vor dem Herzstück liegen die Zwischenschienen sehr nahe aneinander. Die lässt den Einsatz separater Schienenstützpunkte nicht zu. Folglich sind in diesen Bereichen Stützpunkte zu verwenden, die jeweils zwei Schienen auf den Schwellen oder der Festen Fahrbahn befestigen, Abb. 5.36.



Abb. 5.36 Starrs gerades Herzstück

Bogenherzstücke werden wegen der Führungskräfte im Bogen i. d. R. stärker beansprucht als gerade Herzstücke. Insbesondere bei kleinen Zweiggleisradien kann ein sehr starker Seitenschleiß der Herzstückspitze auftreten.

5.4.5 Herzstückbereich

Endet der Zweiggleisbogen vor dem Herzstück, so entsteht ein „Gerades Herzstück“, Abb. 5.36. Der Winkel des Herzstückes entspricht dann der Endneigung der Weiche.

Wenn der Zweiggleisbogen bis zum Herzstückende oder darüber hinaus geführt wird, entsteht ein Bogenherzstück. Dieses ist im Stammgleis gerade und im Zweiggleis gebogen.

5.4.5.1 Starrs Herzstück

Bei der althergebrachten Form der Weiche, die aber nach wie vor die Standardbauform bei allen Eisenbahnen ist, kommt das Herzstück ohne bewegliche Teile aus, Abb. 5.37 und 5.38. Die Einsatzgrenze von starren Herzstücken liegt bei sehr flachen Weichenneigungen, bei denen die sog. Fahrkantenunterbrechung zwischen Flügelschiene und Herzstückspitze zu lang wird. Außerdem sind die Geräuschemissionen größer als beim



Abb. 5.37 Starres einfaches Herzstück mit Flügel­schienen (mit Noteinlauf) und Futter­stücken

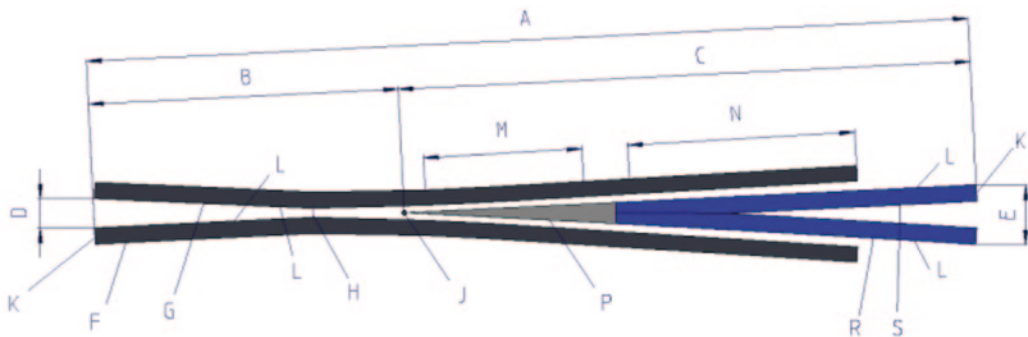
beweglichen Herzstück. Es sei an dieser Stelle erwähnt, dass die Unstetigkeiten beim Radüberlauf im Herzstück (s. Abschn. 5.4.8) zu deutlichen Erhöhungen der Kontaktkräfte führen, die allerdings durch abgestufte Elastizitäten und dadurch verbesserten Lastverteilungen deutlich abgeschwächt werden können (s. Abschn. 5.5).

In Kreuzungsweichen entstehen mehrfache Herzstücke, die in Abb. 5.39 dargestellt sind.

5.4.5.2 Bewegliches Herzstück

Die bereits dargestellten starren Herzstücke sind durch eine Unterbrechung der Fahrkante gekennzeichnet. Zur Aufrechterhaltung der Trag- und Führungsfunktionen auch im Bereich der Unterbrechung sind zusätzliche Aufwendungen, wie eine Radlenkeranordnung und eine definierte Herzstückquergeometrie, notwendig.

Um diese Nachteile zu vermeiden, die darüber hinaus einen unruhigen, querbeschleunigten Radsatz und eine hohe Werkstoffbelastung mit hohem Verschleiß zur Folge haben, wurden verschiedene konstruktive Lösungen entwickelt, um die durch die Spurführung bedingte Gleislücke



Legende

| | | | |
|----------|--|----------|------------------------------|
| A | Herzstücklänge | J | theoretische Herzstückspitze |
| B | Herzstückanfang - theoretische Herzstückspitze | K | Schienenstöße |
| C | theoretische Herzstückspitze - Herzstückende | L | Fahrkanten |
| D | Spreizmaß Anfang | M | parallele Rille |
| E | Spreizmaß Ende | N | Flügel­schieneneinlauf |
| F | rechte Flügel­schiene | P | Herzstückspitze |
| G | linke Flügel­schiene | R | rechte Anschluss­schiene |
| H | Flügel­schienenhauptknick | S | linke Anschluss­schiene |

Abb. 5.38 Einfaches Herzstück nach DIN EN 13232-6



Abb. 5.39 Mehrfache Herzstücke in Kreuzungen. *Links:* Doppeltes Herzstück in einer Kreuzung oder einer Kreuzungsweiche mit innen liegenden Zungenvorrichtungen;

Mitte: Zweifaches Herzstück einer EKW mit außen liegenden Zungenvorrichtungen; *rechts:* Dreifaches Herzstück einer DKW mit außen liegenden Zungenvorrichtungen

zu schließen. Diese Konstruktionen basieren darauf, dass durch einen Stellvorgang und damit einer Querbewegung von Herzstückschienen, ähnlich wie in der Zungenvorrichtung, eine kontinuierliche Fahrkante in der jeweiligen Fahrtrichtung hergestellt wird. Als Folge davon ist eine Umstellvorrichtung mit einem oder mehreren Weichenverschlüssen und Stellmotoren und notwendig.

Bauformen sind u. a. Herzstücke mit beweglichen Flügelschienen, Herzstücke mit einer gelenkig gelagerten Spitze oder mit einer federnd beweglichen Spitze. Der Herzstücktyp mit einer federnd beweglichen Spitze hat sich bei verschiedenen Bahnbetreibern in unterschiedlichen Bauformen als am vorteilhaftesten erwiesen.

Ein wesentliches Charakteristikum dieser Herzstückbauform ist es, dass die bewegliche Herzstückspitze in einem spitzen Winkel über eine verhältnismäßig große Länge in ihrer Endlage an der Flügelschiene anliegt. Dadurch kann ein homogener und verschleißarmer Radüberlauf von der Flügelschiene auf die Herzstückspitze oder umgekehrt erzeugt werden; es können damit gleisähnliche Spurführungsbedingungen geschaffen werden.

Gründe, die für die Wahl eines federnd beweglichen Herzstücks sprechen, sind ein höherer Fahrkomfort, geringere Schallemissionen, eine Verringerung der Kräfte durch Unstetigkeiten beim Übergang von der Spurkranzführung zur Radrückenführung, eine Verringerung des Instandhaltungsaufwandes und, bei sehr großen Zweiggleisradien, die schlichte Notwendigkeit, eine zu lange Fahrkantenunterbrechung zu vermeiden.

Dem gegenüber steht eine kostenintensivere Herzstückkonstruktion, die zudem eine Umstell-einrichtung benötigt und die deshalb sicherungstechnisch angeschlossen und überwacht werden muss.

Die federnd beweglichen Herzstücke sind in EN 13232 „Bahnanwendungen – Oberbau – Weichen und Kreuzungen“ berücksichtigt. Dort sind Gestaltungsgrundsätze und Toleranzen festgelegt. Die Norm schließt nicht aus, dass weiterführende Abstimmungen zwischen Lieferant und Verbraucher notwendig sind, um die besonderen Anforderungen des Bahnbetreibers zu berücksichtigen.

Konstruktionsprinzip

Der bewegliche Teil des federnd beweglichen Herzstückes wird von dem Mittelblock gebildet. Dieser besteht aus einer massiven aus einem

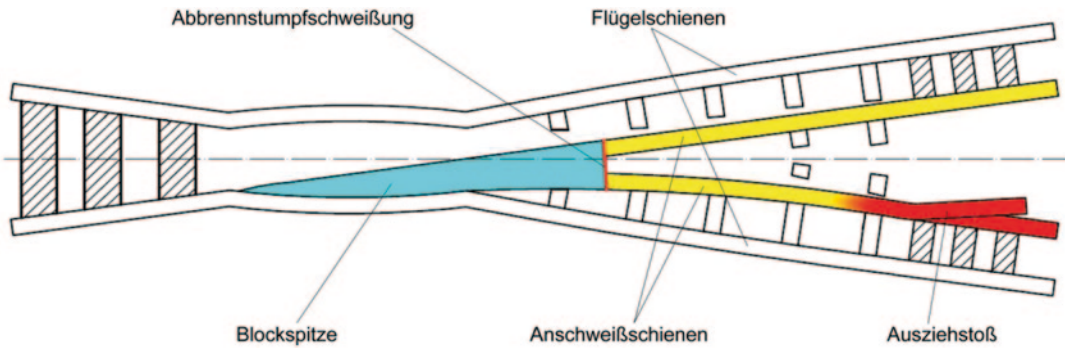


Abb. 5.40 Schematische Darstellung eines federnd beweglichen Herzstückes in der Bauart der DBAG zur Veranschaulichung der Funktionsweise

Schmiederohling gefertigten Spitze und den beiden im hinteren Bereich des Herzstückes eingespannten Anschweiß- oder Anschlusschienen. Dieser sehr biegesteife Dreiecksverbund wird in dem in Abb. 5.40 dargestellten Fall durch einen Schienenauszug in einer der beiden Anschlusschienen aufgelöst. Die Anschlusschiene hat dort die Möglichkeit einer Längsbewegung.

Beim Stellvorgang des Herzstückes wird i. d. R. nicht der Dreiecksverbund gebogen, sondern der Schienenauszug ermöglicht es, dass die beiden Anschlusschienen einzeln elastisch gebogen werden. Durch dieses Konstruktionsprinzip mit einer möglichen Längenänderung durch den Schienenauszug können die Umstellkräfte insbesondere bei kleineren, steilen Herzstücken auf ein deutlich niedrigeres Niveau herabgesetzt werden. Das Prinzip ist aber für alle Weichenneigungen anwendbar.

Nur bei sehr schlanken Herzstücken für schlanke Weichen mit einer sehr kleinen Endneigung, wie sie im Hochgeschwindigkeitsverkehr verwendet werden (z. B. EW 60-10000/4000-1:32), kann auf den Schienenauszug verzichtet werden. Bei der hier vorliegenden großen Distanz zwischen der Einspannstelle und den Verschlüssen lässt sich der Herzstückblock auch über den Dreiecksverbund der Anschlusschienen biegen. Durch den Verzicht auf den Schienenauszug entfallen entsprechende Instandhaltungsaufwendungen und Unstetigkeiten im Radüberlauf.

Biegeverhalten

Man kann sich den Herzstückblock als einen einseitig eingespannten Biegeträger vorstellen, der

über die Länge durch die sich ändernde Geometrie ein veränderliches Flächenträgheitsmoment aufweist.

Die Blockspitze muss dabei so gestaltet sein, dass sich beim Biegen der Spitze in eine Endlage die natürliche Biegelinie in Abhängigkeit des Werkstoffes und der Querschnittsgestaltung so mit der Blockgeometrie überlagert, dass sich die dort geforderte exakte Fahrkantengeometrie der Weiche einstellt. Dabei gelten die gleichen Abnahme- oder Inspektionstoleranzen wie auch in anderen Bereichen der Weiche. So muss sich in der Endstellung der geraden Abzweigrichtung eine gerade Fahrkante ausbilden, während sich bei der Umstellung in die gebogene Endstellung bzw. Abzweigrichtung die berechnete Bogengeometrie einstellen muss.

Die tatsächlichen Blockabmessungen ergeben also aus einer Überlagerung der theoretisch zu erreichenden Fahrkantengeometrie mit dem Biegeverhalten des Herzstückblocks. Daraus entsteht ein deutlich höherer Berechnungs- und Konstruktionsaufwand als z. B. bei der rein geometrisch bestimmten Konstruktion von starren Herzstücken.

Umstellkräfte

Der Herzstückblock liegt idealerweise in der Mittelstellung spannungsfrei. Dadurch sind die Umstellkräfte für beide Stellrichtungen etwa gleich. Außerdem werden die maximal auftretenden Umstellkräfte im Gegensatz zu einer spannungsfreien Lage in einer Endstellung halbiert. Aufgrund der spannungsfreien Mittellage drückt

die Verschlussvorrichtung die Spitze in der Endlage permanent an die Flügelschiene an.

Weitere konstruktionsbedingte Einflussgrößen auf die Umstellkraft sind der Abstand zwischen der Einspannstelle und den Stellvorrichtungen und das Flächenträgheitsmoment der Anschlussschiene bzw. der Blockspitze, das durch die verwendeten Schienenprofile bestimmt wird.

Die Biegelänge der Schienen hat einen maßgeblichen Einfluss auf das Niveau der Umstellkräfte. Um die Umstellkräfte nicht über ein Maß von etwa 2000 bis 3000 N hinaus ansteigen zu lassen, werden die federnd beweglichen Herzstücke einiger Weichentypen deshalb um 2 bis 3 Schwellenfächer gegenüber der Ausführung mit starren Herzstücken verlängert.

Weiter müssen bei der Bestimmung der Umstellkräfte auch die Reibkräfte berücksichtigt werden, die zwischen der beweglichen Blockspitze und den Gleitplatten, auf denen die Spitze aufliegt, entstehen. Maßnahmen zur Reduzierung dieser Reibung sind das regelmäßige Schmieren oder die Verwendung einer permanenten nicht rostenden Beschichtung der Gleitflächen. Vereinzelt werden auch Herzstückrollvorrichtungen verwendet, so wie mit ähnlichem Funktionsprinzip auch in der Zungenvorrichtung.

Thermische Längenänderung

Im hinteren Bereich des Herzstückes sind die Flügelschienen über Futterstücke hochfest mit der Anschlussschiene bzw. der Spitze des Ausziehstoßes verschraubt; diese sind wiederum mit dem anschließenden Gleis verschweißt.

Durch Temperaturänderungen hervorgerufene Längskräfte aus dem Gleis hinter dem Herzstück können durch diese Verbindung auf die Flügelschienen übertragen und nach vorn in den Zwischenschienenbereich eingeleitet werden bzw. in umgekehrter Richtung aus der Weiche in das anschließende hintere Gleis. Durch dieses Konstruktionsprinzip wird auch im Herzstückbereich die Funktion des kontinuierlich verschweißten Gleises aufrechterhalten.

Durch die hochfeste Verschraubung der Flügelschiene mit den Anschlussschienen werden auch die Längskräfte von der freiliegenden, beweglichen Herzstückspitze weggeleitet,



Abb. 5.41 Federnd bewegliche Herzstückspitze (rechts) mit Schrägstoß (Ausziehstoß) im Zweigggleis

Abb. 5.41. Die thermischen Längenänderungen der Spitze werden minimiert. Es werden konstruktiv nur noch die Längenänderungen berücksichtigt, die sich aus der Länge der Spitze selbst ergeben.

5.4.6 Radlenker

Radlenker sind erforderlich bei starren Herzstücken, um eine Einlaufen des Spurkranzes in die falsche Rille oder ein Anfahren der Herzstückspitze zu vermeiden.

Um diese Aufgabe zu erfüllen, müssen die in Abschn. 5.4.8.3 beschriebenen Verhältnisse der Quermaßgeometrie berücksichtigt werden.

Radlenker haben ausschließlich Führungsaufgaben, sie übernehmen keine vertikalen Lasten, Abb. 5.42 und 5.43. Insbesondere bei Radlenkern, die an der bogeninneren Schiene angeordnet sind (im Zweigggleis einfacher Weichen, im inneren Strang von Innenbogenweichen, an beiden Radlenker von Außenbogenweichen), können



Abb. 5.42 Radlenker

die Führungskräfte beachtliche Größen annehmen. Die Kräfte sind dabei abhängig vom Überhöhungsfehlbetrag, aber auch von dem Maß, um das die Radsätze quer und von der Herzstückspitze weggezogen werden müssen. Auch die Zeit, in der dies stattfindet, beeinflusst das Kraftniveau.

Deshalb muss die Einlaufneigung des Radlenkers ausreichend flach sein (der Einlaufwinkel bestimmt neben der Fahrgeschwindigkeit die Zeit für die Querbewegung und damit die Beschleunigung und die Kraft), was wiederum eine ausreichende Länge des Radlenkereinlaufes erfordert. Die Einlaufrille muss dabei so weit sein, dass auch bei größter zulässiger Spurweite des Gleises und kleinstem zulässigem Spurmaß der Radsätze der Spurkranz sicher in die Radlaufrille gelenkt wird.

Um die möglichen Führungskräfte sicher aufnehmen und in die Schwellen einleiten zu können, muss die Radlenkerbefestigung ausreichend dimensioniert sein. Die Befestigung des Radlenkers kann mit der Fahrschiene zusammen auf einer gemeinsamen Rippenplatte erfolgen oder der Radlenker wird separat auf der Schwelle befestigt.

5.4.7 Endteil

Wie schon im Abschnitt 5.3.1 erläutert, liegen nach dem Weichenende Stammgleis und Zweiggleis noch so nahe zusammen, dass keine einzelnen Schwellen für beide Gleise eingesetzt werden können. Hier müssen lange Schwellen verwendet werden, die unter beiden Gleisen durchgehen. Der Langschwelleteil gehört zur Weiche, obwohl die Schienen darauf i. d. R. keinen Bestandteil der Weiche und der Weichenlieferung darstellen.

Erst wenn Stammgleis und Zweiggleis einen Abstand voneinander erreicht haben, der mindestens 2,20 m lange Schwellen zulässt, sind beide Gleise voneinander getrennt.

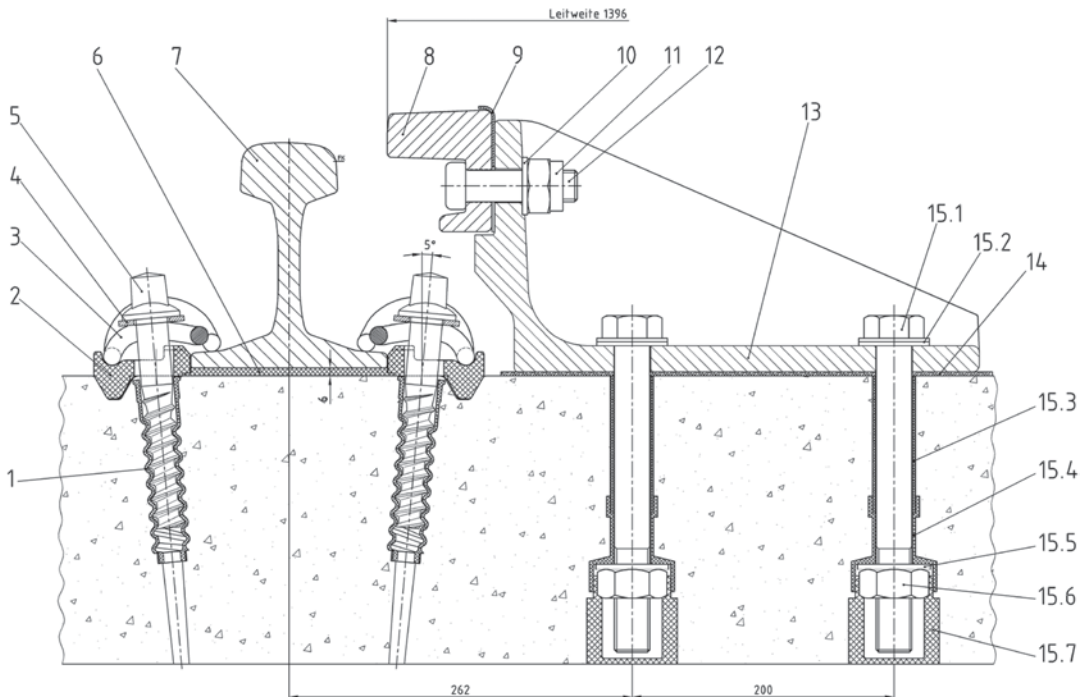
Bei der Planung von Spurplänen ist zu beachten, dass Stamm- und Zweiggleis auf den Langschwellen höhenmäßig (auch bezüglich einer eventuellen Überhöhung) fest miteinander verbunden sind. Somit kann innerhalb der Langschwellen kein Neigungswechsel oder Überhöhungswechsel in nur einem Gleis angeordnet werden.

Die letzte durchgehende Schwelle wird als „ldS“ bezeichnet. Der Abstand vom WE bis zur ldS ist ein wichtiger Planungsparameter. Der Spurplan soll so gestaltet werden, dass anschließende Weichen nicht auf dem Langschwelleteil zu liegen kommen. Allerdings ist als Ausnahmefall bei durchlaufendem Zweiggleisbogen über mehrere hintereinander liegende Weichen hinweg die Anordnung der folgenden Weichen auf den Langschwellen der davor liegenden Weichen unumgänglich.

5.4.8 Spurführungstechnische Besonderheiten bei starren Herzstücken

5.4.8.1 Allgemein

Die Weiche als Gleisabschnitt ist dadurch gekennzeichnet, dass der Fahrweg verzweigt wird und somit ein Fahrzeug in verschiedene Richtungen geführt werden kann. Im Verlauf der Weiche löst sich das als Bogen geführte Zweiggleis vom Stammgleis. Das Trennen der Gleise bedeutet, dass sich die beiden inneren Schienen der Weiche (je eine von Stamm- und Zweiggleis) kreuzen



Legende

- | | |
|----------------------------------|-----------------------------|
| 1 Kunststoffdübel | 9 Korrekturblättchen |
| 2 Kunststoffwinkelführungsplatte | 10 Unterlegscheibe |
| 3 Spannklemme | 11 Mutter |
| 4 Unterlegscheibe | 12 Schraube |
| 5 Schwellenschraube | 13 Radlenkerstützbock |
| 6 Zwischenlage aus Kunststoff | 14 Kunststoffzwischenplatte |
| 7 Fahrschiene | 15 Durchsteckverschraubung |
| 8 Radlenkerprofil | |

Abb. 5.43 Querschnitt durch einen Radlenker.

müssen. Dies geschieht, wenn die bogenäußere Schiene des Zweiggleises auf die bogeninnere Schiene des Stammgleises trifft. Bis zu diesem Punkt, dem theoretischen Herzstücksschnittpunkt, verläuft die bogenäußere Schiene des Zweiggleises zwischen den Schienen des Stammgleises. Ab diesem Punkt verlaufen Stamm- und Zweiggleis getrennt voneinander.

Die konstruktive Lösung, die dieses Durchdringen der Schienen auflöst und die tragende und führende Funktion des Gleises für beide Fahrtrichtungen wieder herstellt, wird als Herzstück bezeichnet.

Im Folgenden werden die Besonderheiten zur Spurführung des „Starren Herzstücks“ betrach-

tet. Der größte Vorteil des „Starren Herzstücks“ ist seine passive Funktionsweise. Es werden im Gegensatz zu beweglichen Herzstücken keine Antriebsmotoren oder Umstell- bzw. Verriegelungsvorrichtungen benötigt. Die konstruktive Gestaltung ist so ausgerichtet, dass ein Fahrzeug in seiner eingenommenen Fahrtrichtung durch den Herzstückbereich geführt wird, ohne dass eine mechanische Veränderung (Stellungsänderung) am Herzstück vorgenommen werden muss. Dieses Funktionsprinzip, das auch als vergleichsweise kostengünstig betrachtet werden kann, ist die Basis dafür, dass dieser Herzstücktyp am weitesten verbreitet ist.

Ermöglicht wird die freie Durchfahrt in beide Abzweigungen durch eine Schienenlücke im

Bereich des theoretischen Herzstücksschnittpunktes, die sog. Fahrkantenunterbrechung. Diese Lücke ist erforderlich, damit der Spurkranz des Eisenbahnrades einen freien „Spurkanal“ hat, der nicht durch die kreuzende Schiene des anderen Weichenstrangs versperrt wird. Das Rad mit seinem Spurkranz, das im Zweiggleis fährt, durchkreuzt somit eine Schiene des Stammgleises und umgekehrt. Um diesen Nachteil der Schienenlücke zu kompensieren sind besondere Anforderungen an die Gestaltung der Radführungselemente und der Schienenführung im Herzstückbereich erforderlich.

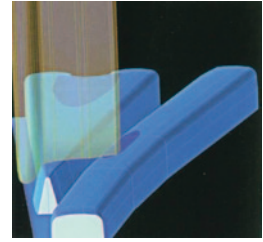
5.4.8.2 Funktionsweise

Zum Verständnis der Funktionsweise des „Starren Herzstück“ ist die Kenntnis von der Gestaltung der Radachse eines Eisenbahnfahrzeuges von großer Bedeutung. Entscheidend für die Führung der Radachsen durch den Herzstückbereich ist, dass beide Räder einer Achse starr miteinander verbunden sind. Eine seitliche Führung des einen Rades wirkt sich so direkt auch auf die Lateralbewegung des anderen Rades einer Achse aus.

Damit das Rad im Bereich der Herzstücklücke, wo sein Spurkranz durch die Schiene (da unterbrochen) nicht geführt wird, nicht im Extremfall in die falsche Abzweigungsrichtung gelangt, ist an der dem Herzstück gegenüber liegenden Seite des Gleises eine Radlenkerschiene angeordnet, welche das andere Rad des Radsatzes zusätzlich am Radrücken führt, wodurch seine Querbewegung *in beiden Richtungen* (durch die Backenschiene und den Radlenker) behindert ist. Das über die Achse verbundene Rad, das sich im Bereich der Herzstücklücke befindet, wird dadurch zwangsläufig in die richtige Herzstückrille geführt. Der Spurkranz des Rades auf dem Herzstück kann sich daher weder in die falsche Lücke bewegen noch die Herzstückspitze anfahren.

Von besonderer Bedeutung ist hier also die Wahl des Abstandes zwischen der Leitfläche der Radlenkerschiene und der Herzstückfahrkante. Dieses Maß wird als Leitweite bezeichnet und ist abhängig von der Quergeometrie des Radsatzes. Die Leitweite ist eine maßgebende Größe bei der Konstruktion und Instandhaltung von Weichen mit „starrten Herzstücken“ und besitzt eine wesentlich engere Toleranz als die Spurweite.

Abb. 5.44 Übersetzen des Rades von der Flügelschiene auf die Herzstückspitze



Die tragende Funktion im Bereich der Herzstücklücke übernimmt die Flügelschiene. Diese läuft ab dem Flügelschienenknickpunkt, vom Weichenanfang aus betrachtet, nicht mehr entlang der theoretischen Fahrkante, sondern wird nach außen geführt, um die Herzstücklücke frei zu machen. Im weiteren Verlauf wird die Flügelschiene parallel zur Herzstückfahrkante geführt und bildet mit dieser die Herzstückrille, auf Abstand gehalten durch entsprechende Futterstücke.

Obwohl die Flügelschiene in diesem Bereich von der Fahrkante nach außen weggeführt wird, kann sie das Rad noch weiter tragen, weil das Eisenbahnrad so breit ist, dass der äußere Bereich seiner Lauffläche noch sicher auf der Flügelschiene aufliegt. Nach dem Überqueren der Herzstücklücke schiebt sich die Herzstückspitze unter das Rad zwischen Flügelschiene und Spurkranz und übernimmt allmählich immer mehr Radlast, Abb. 5.44. Später läuft das Rad von der Flügelschiene vollständig auf die Herzstückspitze über, die dann auch wieder der theoretischen Fahrkante folgt.

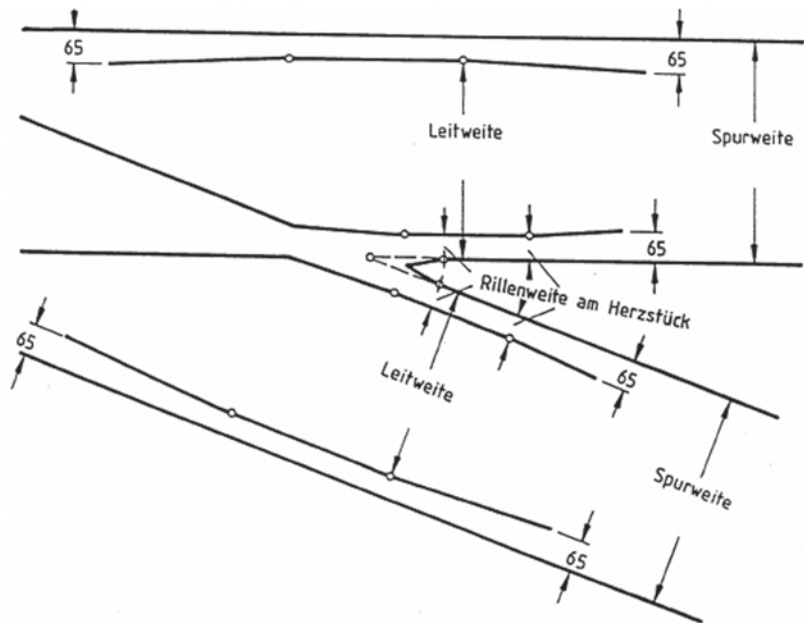
5.4.8.3 Raddurchlauf

Die Radführungsgeometrie der starren Herzstücke ist von der Quergeometrie der verwendeten Radsätze abhängig. Besonders der Radrückenabstand und die Spurkranzdicke haben Einfluss auf die Herzstückquergeometrie. Dabei müssen Verschleiß und zulässige Toleranzen berücksichtigt werden.

Damit die Herzstückquergeometrie in geeigneter Weise auf die Verwendung einer bestimmten Achsquergeometrie geometrisch abgestimmt ist, müssen nach DIN EN 13232-9 folgende Raddurchlaufbedingungen eingehalten werden:

- freier Raddurchlauf im Radlenker-Einlauf,
- Schutz der starren Herzstückspitze,
- freier Raddurchlauf durch den Herzstückbereich,
- freier Raddurchlauf im Flügelschienenlauf.

Abb. 5.45 Spurführungsmaße im Herzstückbereich



Freier Durchlauf im Radlenkereinlauf

Bei Erreichen des Radlenkers muss gewährleistet sein, dass der Spurkranz in die Radlenkerille einläuft, ohne dass es zu einer Berührung kommt. Die Summe aus Radrückenabstand und Spurkranzdicke muss deshalb unter Berücksichtigung der maximalen Minus-Toleranzen größer sein als der Abstand zwischen der Fahrkante und der Radlenkerleitfläche am Beginn des Radlenkereinflaues. Im weiteren Verlauf kann dann ein Kontakt zwischen Radrücken und Radlenkerleitfläche entstehen, die Achse wird von der Herzstückspitze weggedrückt.

Schutz der starren Herzstückspitze

Hier gilt die Bedingung, dass die Summe aus Radrückenabstand und Spurkranzdicke unter Berücksichtigung der maximalen Plus-Toleranzen kleiner sein muss als der Abstand zwischen der Leitfläche der Radlenkerschiene und der starren Herzstückspitze, also der sog. Leitweite. Da mit einem gewissen Verschleiß der Radlenkerschiene zu rechnen ist, muss auch die Leitweite mit einem Toleranzbereich versehen werden. Bei Einhaltung dieser Bedingung kann der Spurkranz nicht an die starre Herzstückspitze anlaufen.

Freier Durchlauf durch den Herzstückbereich

Hier muss gegeben sein, dass der kleinste Radrückenabstand unter Berücksichtigung der maxi-

malen Minus-Toleranz größer sein muss als der Abstand zwischen der Radlenker- und Flügelschienenleitfläche. Die Radachse kann dann das Herzstück passieren, ohne dass es gleichzeitig zu einem Kontakt beider Leitflächen zu den Radrücken kommt.

Freier Raddurchlauf im Flügelschieneneinlauf

Ähnlich wie beim Radlenkereinlauf muss gewährleistet sein, dass der Spurkranz in die Flügelschienenrille einläuft. Dies betrifft den Fall einer Stumpf-Befahrung der Weiche.

Die Summe aus Radrückenabstand und Spurkranzdicke, unter Berücksichtigung der maximalen Minus-Toleranz, muss größer sein als der Abstand zwischen der Fahrkante und der Radlenkerleitfläche am Beginn des Flügelschieneneinflaues. Die Abb. 5.45, 5.46 und 5.47 zeigen die maßgeblichen Spurführungsmaße im Herzstückbereich.

5.5 Schienenbefestigungssysteme in Weichen

Die Schienenbefestigung in der Weiche hat zunächst die gleiche Aufgabenstellung wie im Gleis. Sie muss die Schiene elastisch, kipp- und durchschubsicher halten, damit alle Kräfte sicher und dauerhaft in die Schwellen übertragen werden können. Die beanspruchenden Kräfte sind

Abb. 5.46 Rillenweiten im Herzstückbereich (Sollmaße)

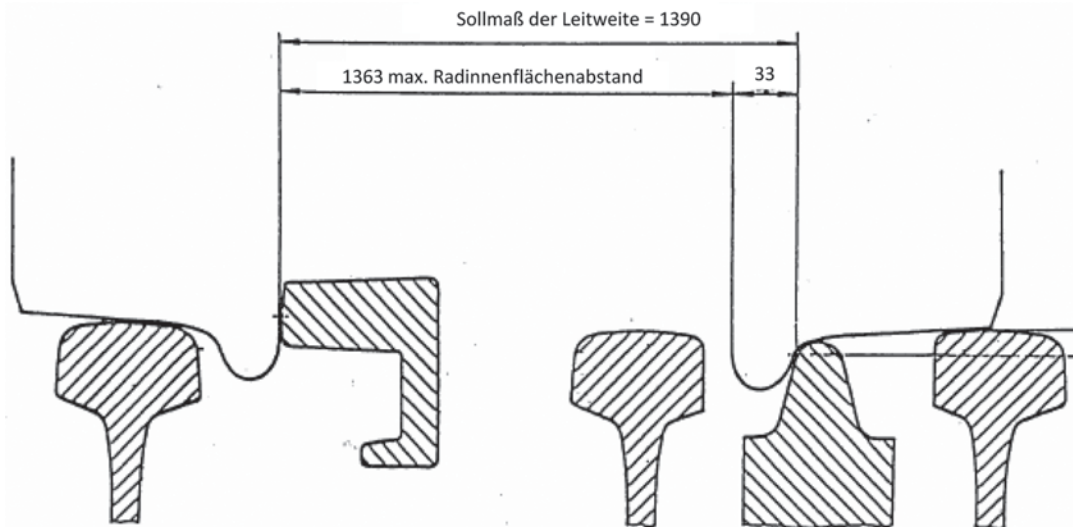
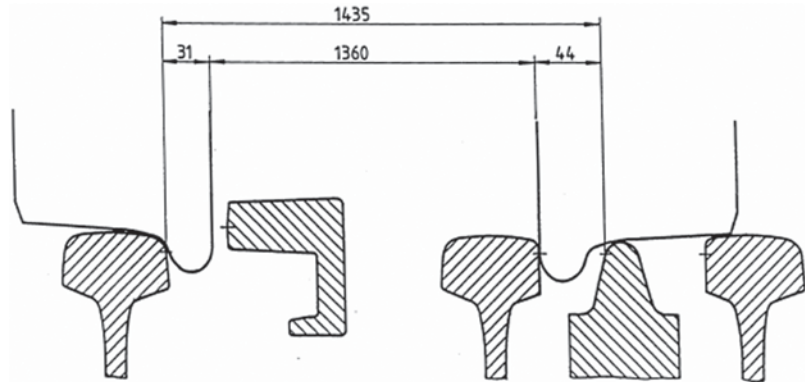


Abb. 5.47 Leitweite

Führungskräfte (quer zum Gleis), Radaufstandskräfte (vertikal) und Längskräfte aus Bremsen, Anfahren und aus Temperatur.

Die Schienenbefestigung muss die Schiene in ihrer vorbestimmten Lage (z. B. Spurweite, Richtung) und Neigung halten. Bezogen auf die Schienenneigung ist zu beachten, dass die Oberflächen der Weichenschwellen, also die Schienenaufleger, keine Neigung besitzen. Die gewünschte Schienenneigung muss deshalb entweder im Befestigungspunkt durch Rippenplatten mit geneigtem Schienenaufleger, durch Einbau keilförmiger Zwischenlagen unter dem Schienenfuß oder durch Schienen mit geneigtem Kopf hergestellt werden.

Aufgrund der konstruktiven Besonderheiten der Weichen müssen die Schienenbefestigungen

die im Folgenden behandelten grundsätzlichen Anforderungen erfüllen.

5.5.1 Zungenbereich

Die Besonderheiten des Zungenbereiches erfordern eine indirekte Schienenbefestigung, die jedoch die gleichen Eigenschaften bezüglich Elastizität und Durchschubwiderstand bietet wie die Schienenbefestigung im anschließenden Gleis.

Die sog. innere Backenschienenverspannung erfüllt diese Anforderungen. Sie ist einsetzbar bei asymmetrischen Zungenprofilen, die niedriger sind als die Backenschiene. Dabei ruht und gleitet der Zungenfuß auf einem erhöhten Gleitstuhl;

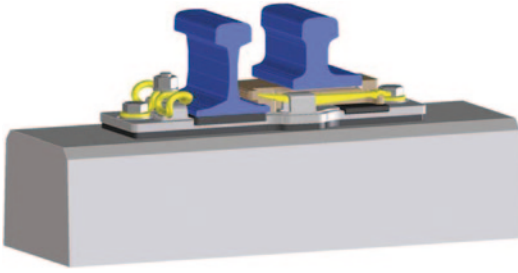


Abb. 5.48 Gleitstuhl-Plattenbefestigung mit Durchsteckverschraubung und elastischer Lagerung auf Betonschwelle

der innere Fuß der Backenschiene wird durch eine oder zwei durch den Gleitstuhl geführte Federn verspannt und gehalten. Der Gleitstuhl bildet mit der Rippenplatte für die Backenschiene eine Einheit, Abb. 5.48. Der beschriebene Höhenunterschied verursacht insbesondere bei elastischer Lagerung große Querschnittsänderungen des tragenden Bauteils Gleitstuhlplatte mit entsprechenden mechanischen Beanspruchungen. Diese sind, um Überbeanspruchungen und Brüche der Platten zu vermeiden, nur mit sorgfältiger Gestaltung und geeigneten Materialien beherrschbar.

Sogenannte zweiteilige Gleitstühle, bei denen der Gleitstuhldeckel mit der Gleitfläche für die Zunge von der Grundplatte getrennt ist, können das Problem mit den mechanisch ungünstigen Querschnittssprüngen deutlich reduzieren. Bei der zweiteiligen Lösung wird der Gleitstuhldeckel mit Hilfe von Federn mit der Grundplatte verspannt, wodurch gleichzeitig die Backenschiene elastisch verspannt wird, Abb. 5.49.

Im hinteren Bereich der Zunge befindet sich die Umschmiedung vom Zungenprofil zum Regelschienenprofil (s. Abb. 5.29), am Zungenende wird die Zunge an die anschließende Zwischenschiene angeschweißt. Zwischen dem Schweißstoß am Zungenende und dem beweglichen Teil der Zunge sind mindestens drei Schienenbefestigungen erforderlich, so dass sowohl der hintere Teil des asymmetrischen Zungenprofils als auch das ausgeschmiedete Regelschienenprofil verspannt sind. Der Abstand zwischen Zungenschiene und Backenschiene ist hier zu gering,

um getrennte Schienenbefestigungen für beide Schienen unterzubringen. Hinzu kommt der Höhenunterschied zwischen dem Zungenprofil und der Backenschiene. Deshalb sind an dieser Stelle Sonderkonstruktionen der Schienenbefestigung erforderlich (sog. Zungenwurzel-Einspannplatten).

5.5.2 Zwischenschienenbereich

Im Zwischenschienenbereich sind die einzelnen Schienen jeweils so weit voneinander entfernt, dass je Schiene separate Schienenbefestigungen eingesetzt werden können. Es können direkte oder indirekte Schienenbefestigungen verwendet werden⁶. Hier ist es auch relativ unkompliziert, Schienen in der gewünschten Schienenneigung einzusetzen. Jedoch gilt auch hier, dass die Schwellen keine Neigung im Schienenaufleger besitzen.

5.5.3 Herzstückbereich und Radlenker

Die Herzstücke erfordern wegen ihrer über die Längenentwicklung stetig wechselnden Breite entsprechende Sonderlösungen der Befestigung. Es können indirekte oder direkte Schienenbefestigungen zum Einsatz kommen. Bei elastisch gelagerten Weichen⁷ ist zudem zu beachten, dass die Herzstücke aufgrund ihrer Konstruktion unterschiedliche vertikale Steifigkeiten haben. Zur Erreichung einer homogenen Einfederung im gesamten Weichenbereich ist eine quasi Stützpunkt-individuelle Steifigkeit in den Schienenauflegern zu realisieren. Dies lässt sich praktisch nur realisieren, wenn benachbarte Bereiche in „Steifigkeitsklassen“ zusammengefasst werden. Es sei an dieser Stelle noch einmal erwähnt, dass

⁶ Bei einer indirekten Schienenbefestigung werden die Schienen auf einer Zwischenplatte (z. B. mittels Haken-schrauben auf einer Rippenplatte) und die Zwischenplatte mittels Schwellenschrauben auf der Schwelle befestigt. Bei einer direkten Befestigung werden die Schienen von den Schwellenschrauben gehalten.

⁷ Die elastische Lagerung dient der Reduktion der Vertikalkräfte bei höheren Geschwindigkeiten.

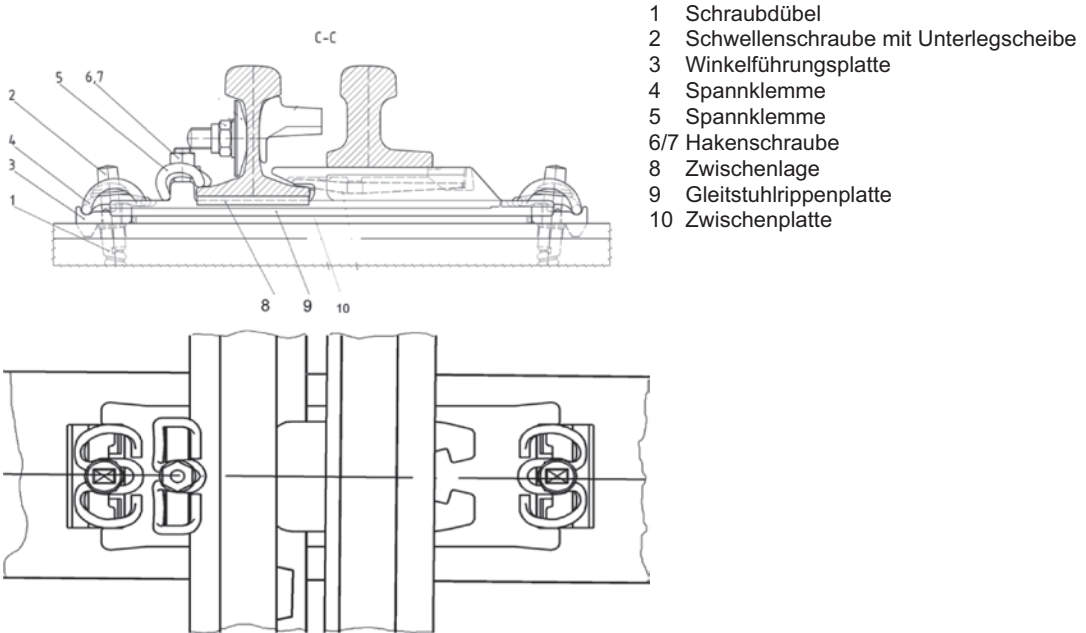


Abb. 5.49 Indirekte Befestigung einer Gleitstuhlplatte auf Betonschwelle (W-Befestigung) mit innerer Backenschienenverspannung

die Unstetigkeiten beim Radüberlauf im Herzstück zu deutlich erhöhten Kontaktkräften führen können oder führen, die durch abgestufte Elastizitäten und dadurch verbesserte Lastverteilungen deutlich abgeschwächt werden.

Der Radlenker übernimmt nur horizontale Kräfte, die über den Radrücken eingeleitet werden. Die Befestigung ist dafür entsprechend auszulegen (s. Abb. 5.43). Die heute übliche Lösung ist, den Radlenker an sog. Radlenkerstützböcken zu befestigen. Durch Unterlage von Blechen kann der Radlenker seitlich ein- oder nachgestellt werden, um so Verschleiß am Radlenkerprofil auszugleichen und die geforderten Quermaße (s. Abb. 5.45 ff) ohne Wechsel des Radlenkers instandzuhalten. Die Befestigung des Radlenkers kann getrennt von der Befestigung der Fahrachse oder auf einer gemeinsamen Rippenplatte gestaltet werden.

5.5.4 Befestigung auf den Schwellen

Die dargestellten Grundsätze für die Schienenbefestigung gelten unabhängig von der Art der

Schwellen, also für Beton-, Holz- oder Stahlschwellen.

Auf Holzschwellen sind nur indirekte Schienenbefestigungen mit Rippenplatten bekannt. Diese werden zur Abtragung der Querkräfte immer mit Hilfe von vier Schwellenschrauben je Stützpunkt auf der Schwelle befestigt.

Auch auf Betonschwellen können die Rippenplatten mit Hilfe von jeweils vier Schwellenschrauben und Dübeln befestigt werden. Die Bewehrungsführung der Schwellen ist entsprechend anzuordnen. Mit zunehmendem Neigungswinkel zwischen den Schienen und den Schwellen ergeben sich jedoch geometrische Schwierigkeiten, die Rippenplatten auf den Schwellen zu befestigen. Vereinfachungen bietet hier die Durchsteckverschraubung, bei der nur zwei Schrauben je Rippenplatte in der Achse der Rippenplatte erforderlich sind. Die Bewehrungsführung der Schwellen ist deshalb so anzuordnen, dass in der Schwellenachse der Raum zum Einbau der Durchsteckverschraubung frei bleibt. Eine deutliche Verbesserung zum Abtrag der horizontalen Querkräfte stellt in diesem Punkt die direkte Schienenbefestigung mit Winkelführungsplatten

dar. Dann genügen zur Befestigung der Schiene zwei Schwellenschrauben mit Dübeln, die ihre Niederhaltekräfte über die Spannklemmen auf den Schienenfuß aufbringen.

Stahlschwellen stellen inzwischen selten gewordene Anwendungsfälle für Weichen dar und werden hier nicht weiter behandelt.

5.6 Schwellen und Lagerungssysteme

Weichen im Schotterbett liegen auf Schwellen. Diese können aus Beton, Holz, Stahl oder auch Kunststoff sein.

Im Interesse geringstmöglicher Instandhaltungsaufwendungen und um den Fahrzeuglauf bei der Überfahrt der Weichen so wenig wie möglich zu beeinträchtigen, sollen auch die Stützpunktverhältnisse innerhalb der Weiche der Konstruktion im Gleis möglichst nahe kommen.

Der Schwellenabstand in den Weichen entspricht deshalb dem im Gleis und beträgt i. d. R. 60 cm. Auf jeder Weichenschwelle liegen vier Schienen mit unterschiedlichen Abständen. Deshalb haben die Weichenschwellen unterschiedliche Längen, die am Weichenende und besonders im Langschwellenteil bis zu 4 m betragen kann.

Die Lage der Weichenschwellen orientiert sich am Schienenstoß am Weichenanfang, der in der Mitte zwischen den benachbarten Schwellen liegt. Von diesem Schienenstoß aus wird die Lage der einzelnen Schwellen mit Hilfe des sog. Schwellensummenmaßes bemaßt. Danach ist jede Schwelle in ihrer Lage auf den Abstand zum Weichenanfang bezogen. Die Abstände der Schwellen zueinander ergeben sich so von selbst. Die Konstruktion der Weichenfahrbahn ist so ausgelegt, dass alle Schienenstöße mittig in den Schwellenfächern angeordnet sind.

Bei der Gestaltung des sog. Schwellenfächers gibt es zwei extreme Möglichkeiten: Danach sind die Schwellen entweder senkrecht zur Achse des Hauptfahrweges oder jeweils senkrecht zur Tangente an den gebogenen abzweigenden Strang anzuordnen. Bei beiden dieser Lösungen entstehen jedoch große Abweichungen zum rechten Winkel im jeweils anderen Strang der Weiche, d. h. zwischen den Achsen der Schienenstützpunkte und den Schwellenachsen. Um die daraus

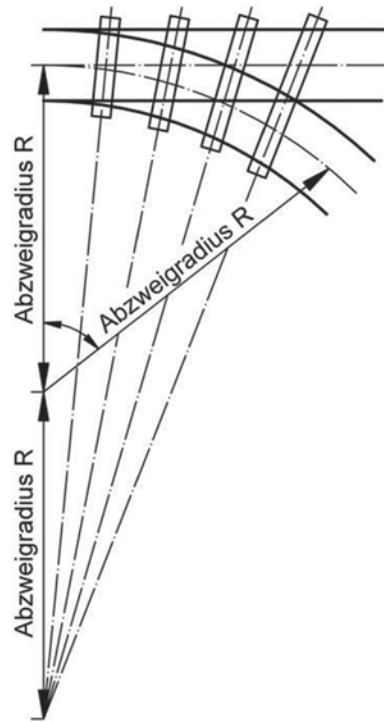


Abb. 5.50 Halbradiale Schwellenanordnung („Schwellenfächer“)

resultierenden Nachteile zu minimieren, wählte man die sog. halbradiale Anordnung, was bedeutet, dass die Weichenschwellen in der Winkelhalbierenden des für den jeweiligen Schwellenort erreichten Zentriwinkels fächerförmig angeordnet werden, Abb. 5.50.

Bei Weichen auf Fester Fahrbahn mit Schwellen gilt das Vorgenannte genauso. Bei Weichen auf Fertigteilplatten erfolgt die Anordnung der Stützpunkte sinngemäß, um die vorhandenen Konstruktionen der Weichen unverändert verwenden zu können.

Die Verschlüsse und Stellgestänge sowie Gestänge der Prüfeinrichtungen (s. Abschn. 5.7) sind zwischen den Schwellen im sog. Schwellenfach angeordnet. Um für diese Einrichtungen genügen Platz zu schaffen, sind die Schwellenabstände häufig gegenüber dem Regelschwellenabstand vergrößert, während gleichzeitig die benachbarten Schwellenabstände entsprechend verkleinert sind, um so das Grundraster des Schwellenabstandes möglichst beizubehalten. Die Schwellenfächer im Bereich dieser Einrichtungen können nicht mit Schotter verfüllt werden, und bei der

Festen Fahrbahn sind entsprechende Freihaltungen zu planen und einzuhalten. Die Schwellen, die diese Freiräume bilden, werden im Schotterbett mit sog. Schwellenverbindungsplatten miteinander verbunden. Die Schwellenverbindungsplatten müssen beim Einbau und bei der Instandhaltung mit Handstopfgeräten unterstopft werden. Als Folge davon stellen diese Bereiche zwangsläufig Störstellen bezüglich Lagestabilität und Instandhaltung dar.

Mit Hohlschwellen, in die die Gestänge integriert werden können, lassen sich diese Nachteile vermeiden. Zu beachten ist, dass bei bestehenden Weichen Hohlschwellen (auch Verschlusschwellen genannt), nicht einfach nachgerüstet werden können, weil die Verschlüsse, Antriebe und Prüfgestänge sowie die Weichenfahrbahn für eine Anordnung im Schwellenfach ausgelegt sind, Abb. 5.51. Bei der DB gibt es eine Regellösung für Verschlusschwellen.

Die Weichenantriebe und auch die Prüfeinrichtungen werden auf den Schwellen mit sog. Lagereisen montiert. Die Schwellen haben dafür entsprechende Bohrungen bzw. bei Betonschwellen entsprechend angeordnete Dübel. Bei Betonschwellen (es kommen immer Spannbetonschwellen zum Einsatz), muss beachtet werden, dass die Befestigungspunkte sehr nahe am Schwellenkopf liegen können. Um Längsrisse im Schwellenkörper zu vermeiden sind dann entsprechende Zusatzbewehrungen vorzusehen.

5.7 Stell- und Verschlussysteme

„Weichen, die gegen die Spitze befahren werden, müssen von den für die Zugfahrt gültigen Signalen derart abhängig sein, dass die Signale nur dann in Fahrtstellung gebracht werden können, wenn die Weichen für den Fahrweg richtig liegen und verschlossen sind. Hierbei sind Weichen, die von Reisezügen gegen die Spitze befahren werden, gegen Umstellen unter dem Zug zu sichern.“ So lauten die Bestimmungen im § 14 der Eisenbahn- Bau- und Betriebsordnung [2]. Somit sind Verschlusseinrichtungen in den Weichen unumgängliche Ausrüstungsmerkmale.

Die grundsätzliche Behandlung von Weichen in der Leit- und Sicherungstechnik wird in



Abb. 5.51 Hohlschwelle mit Verschluss

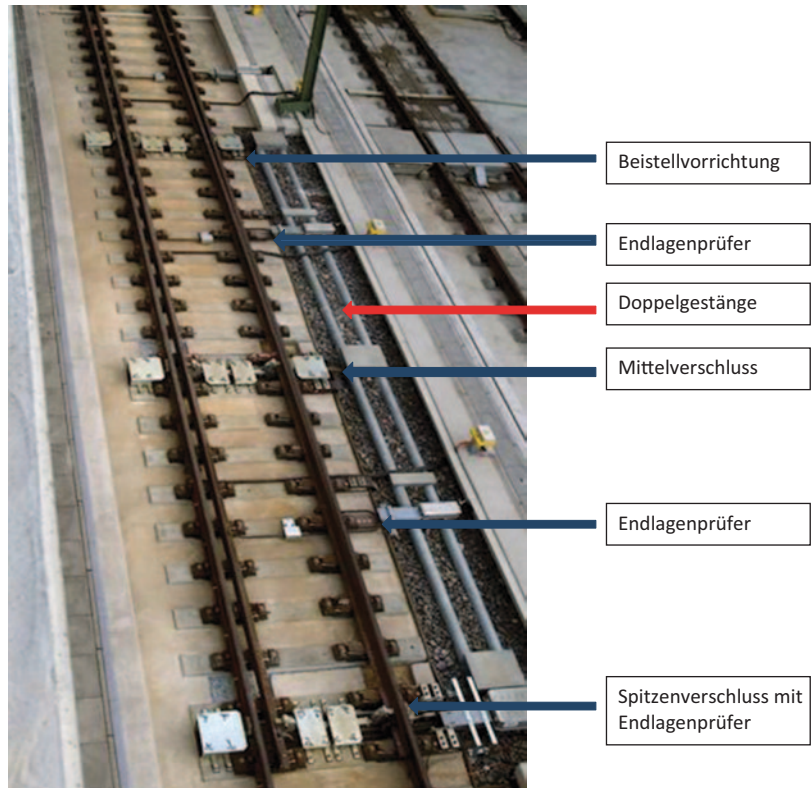
Abschn. 10.3.2. beschrieben. Im Folgenden wird deshalb nur auf spezielle, vor allem oberbautechnische Aspekte der Stell- und Verschlussysteme eingegangen.

Verschlüsse werden an der Spitze als Spitzenverschluss oder in der Mitte als Mittelverschluss eingesetzt, bei beweglichen Herzstückspitzen entsprechend. Nahe dem Zungenende gibt es bei längeren Zungen außerdem sog. Beistelleinrichtungen zur Sicherstellung der geometrisch korrekten Zungenlage. Bis zu einer zulässigen Geschwindigkeit von 160 km/h müssen bei der DB die Verschlüsse auffahrbar sein.

Es gibt sog. Innen- oder Außenverschlüsse, siehe Abschn. 10.3.2.2.2. Bei der DB sind die Außenverschlüsse die Regellösung. Die Position der Zunge oder der beweglichen Herzstückspitze wird über entsprechende Stellgestänge zwischen Zunge bzw. Herzstückspitze und Verschlussmodul sichergestellt. Wesentliche Bauteile dieser Kette des Verschlussystems sind das Verschlussmodul, das Gestänge und die Backenschiene mit Zunge. Alle diese Bauteile sind formschlüssig verbunden. Statt der Stellgestänge können auch hydraulische Systeme eingesetzt werden. Ein Beispiel dafür ist der HYDROSTAR [3].

Das Erreichen der Endlage und damit die kraftschlüssige Verbindung zwischen Backenschiene und Zunge bzw. zwischen Flügelschiene und beweglicher Herzstückspitze wird durch sog. Endlagenprüfer überwacht, siehe Abschn. 10.3.2.2.3. Beim Spitzenverschluss sind die Endlagenprüfer i. d. R. im Antrieb integriert. Zwischen dem Prüfmodul und den Zungen sind Prüferstangen erforderlich. Zum Anschluss der Prüferstangen

Abb. 5.52 Anordnung und Benennung von Verschlüssen und Endlagenprüfern in den Weichen der DB



an die Zungen sind entsprechende Bohrungen im Zungenfuß vorhanden. Bei den Mittelverschlüssen gibt es verschiedene Lösungsmöglichkeiten bezüglich des Abstandes zwischen Verschlussposition und Position der Endlagenprüfer.

Längere Zungenvorrichtungen erfordern Mittelverschlüsse um sicherzustellen, dass die notwendige Anlage der Zunge an die Backenschiene auf ganzer Länge eintritt, dass die Zunge auch bei Zugüberfahrt sicher in der Endlage gehalten wird und auch um sicherzustellen, dass die Durchfahrrille zwischen offener Zunge und Backenschiene ausreichend groß gewährleistet wird. Jeder Mittelverschluss wird durch je einen Endlagenprüfer überwacht, siehe Abschn. 10.3.2.4. Die Abstände der Verschlüsse zueinander sollen so gewählt werden, dass die Biegelinie der Zunge berücksichtigt wird und dass im Falle von Fremdkörpern zwischen Zunge und Backenschiene die Endlage nicht erreicht wird, falls unzulässige Spurverengungen eintreten würden, Abb. 5.52.

5.7.1 Stellsysteme

Grundsätzliche Fragen des Antriebs von Weichen werden in Abschn. 10.3.2.6 bis 10.3.2.8 behandelt.

Verschlüsse, die an den Antrieben liegen, sind direkt mit Schieberstangen an den Antrieb angeschlossen. Mittelverschlüsse, die nicht mit Einzelantrieben betrieben werden, sind mit einem Stellgestänge mit dem Antrieb, der am Spitzenverschluss angeordnet ist, verbunden (s. Abb. 5.53 und 5.75).

Weichen mit längeren Zungenvorrichtungen erfordern bei diesem System zwei Antriebe und damit auch zwei unabhängige Stellgestänge. Alternativ hierzu gibt es die Möglichkeit der Einzelantriebe, die jeden Verschluss direkt antreiben. Dieses System kommt häufig bei den großen Weichen des Hochgeschwindigkeitsverkehrs zur Anwendung.

Die Antriebe müssen bezüglich der Umstellkräfte so bemessen sein, dass sie die umzustellenden Zungen oder beweglichen Herzstücke si-



Abb. 5.53 Weiche mit Antrieb, Doppelstellgestänge und Verschlusschwellen

cher von einer Endlage zu der anderen bewegen können, das heißt die Umstellkräfte müssen größer sein als die Umstellwiderstände. Diese Widerstände setzen sich zusammen aus Biegekräften für die Zungenprofile oder Herzstückprofile, Reibungskräften der Zunge oder Herzstückspitze auf den Gleitstühlen oder Gleitflächen und Kräften für das Heben der Zungen auf die Zungenroller. Um die Biegekräfte zu begrenzen gibt es mechanische Möglichkeiten wie z. B. das Abarbeiten des Schienenfußes bei Federschienenzungen (s. Abb. 5.28) oder Abarbeiten des Zungenfußes bei Federzungen (s. Abb. 5.30) zur Verringerung des Widerstandsmomentes. Die Reibungswiderstände können durch Schmieren der Gleitstühle oder Gleitflächen mit geeigneten und umweltverträglichen Ölen oder durch Beschichten mit Molybdän oder andere Materialien reduziert werden oder aber wesentlich effizienter durch den Einsatz von Zungen- und Herzstückrollern.

Auf der anderen Seite sollen die von den Antrieben abgegebenen Umstellkräfte nicht so groß sein, dass im Falle von Fremdkörpern zwischen Zunge und Backenschiene die Zunge trotz eintretender Spurverengung gewaltsam in die Endlage gebogen wird. Das gilt analog für bewegliche Herzstücke.

Während elektromechanische Antriebs- und mechanische Stellsysteme nach wie vor die Regel sind, befinden sich auch alternative Konstruktionen mit beispielsweise hydraulischen Stellsystemen in der Anwendung. Als Beispiel sei auch hier



Abb. 5.54 Klinkenverschluss mit Schieberstange (rechts), Prüferstange mit Anschluss an die Zunge (Mitte), Zungenroller (links)

der HYDROSTAR [3] genannt. Vorteile solcher Systeme sind z. B. die sehr gute Diagnostizierbarkeit im Vergleich zu mechanischen Systemen, was zu einer Verbesserung der Fernüberwachung der Weichen und damit zur Verbesserung der Zuverlässigkeit beiträgt.

5.7.2 Arten der Verschlüsse

Zu Aufgaben und Funktion der Verschlüsse siehe Abschn. 10.3.2.2

5.7.2.1 Klammerverschluss

Der bekannteste und sicher noch immer am weitesten verbreitete Verschluss bei der DB ist der Klammerverschluss, der früher DB-Standard war. Die wesentlichen Bauteile sind die Schieberstangen mit den Verschlussklammern und die an der Backenschiene befestigten Verschlussstücke. Vor allem zur Erhöhung der Verfügbarkeit wurden die Klammerverschlüsse mit gleitenden Verschlussstücken geliefert, bestehende Weichen wurden zum Teil nachgerüstet.

5.7.2.2 Klinkenverschluss

Der Klinkenverschluss hat für neue Weichen die Nachfolge des Klammerverschlusses angetreten, er ist heute der Standardverschluss bei der DB, Abb. 5.54.

Die besonderen Eigenschaften des Klinkenverschlusses sind

- wartungsarm, schmierungsfrei, einfach montierbar und einstellbar,
- Verdrehenschutz zur Verhinderung des Klaffens zwischen Zunge und Backenschiene,
- mechanischer Kraftschluss zwischen Zunge und Backenschiene,
- Auffahrbarkeit,
- Kompensation der Längenänderung der Zungen bis zu ± 25 mm.

5.8 Einbau von Weichen

5.8.1 Allgemein

Der Weicheneinbau kann einerseits im Zuge eines Neu- oder Ausbauprojektes als neue Fahrwegkomponente erfolgen oder aber im Zuge einer Instandsetzungsmaßnahme Teil eines Umbaus sein.

Die zu wählende Einbautechnologie hängt wie nachfolgend noch näher erläutert von vielen Faktoren ab, welche letztendlich zur Sicherstellung einer wirtschaftlichen Lösung in der Summe betrachtet werden müssen.

Grundlagen für die Weichenbeschaffung und den Weicheneinbau sind bei der DB Netz AG folgende Planungsunterlagen:

- Weichenskizze
Mit der Weichenskizze als Bestellgrundlage werden alle Parameter der Weiche definiert hinsichtlich ihrer
 - Trassierung (Ril 800.0110 [4]),
 - Grundform und ggf. Ableitung (Ril 800.0120 [1]),
 - oberbautechnischen Ausrüstung (Ril 820.2010 [5]),
 - sicherungstechnischen Ausrüstung (Ril 819 [6]).
- Lageplan
Der Lageplan ist die technisch-konstruktive Darstellung der Weiche in ihrer Grundform. Er ist im Regelwerk der Iow aufgenommen und trägt immer eine Iow-Nummer. Für jede Grundform der unterschiedlichen Weichentypen gibt es Lagepläne. Aus der Weichenskizze und dem Lageplan wird die angeforderte Weiche entwickelt und in einem Verlegeplan dokumentiert.

- Verlegeplan

Der Verlegeplan ist die vertragliche Grundlage zur Lieferung von Weichen einschließlich der Materialien im angrenzenden Bereich und

- enthält alle Informationen, die zusammen mit dem Regellageplan und den Großteil-lageplänen eine korrekte Montage und Verlegung der Weiche ermöglicht

Verlegepläne

- werden für alle einzubauenden Weichen im Netz der DB erstellt
- sind Bestandsunterlagen in den Niederlassungen,
- setzen die Vorgaben der Regellagepläne unter Berücksichtigung der örtlichen Bedingungen (Vorgaben der Weichenskizzen) konstruktiv um.

- Absteckplan

Der Absteckplan beinhaltet die maßgebliche Lagebestimmung (Richtung und Höhe) der Weiche im Gleis. Bei Neubauten sind Absteckplan und Vermarktungsplan identisch.

Auf Basis dieses Plans werden die notwendigen Absteckungen durchgeführt. Dabei erfolgt die Sicherung der Soll-lage bei Weichenumbau i. d. R. durch Holzpfähle. Es ist darauf zu achten, die Pfähle so weit abzusetzen, dass sie bei den Arbeiten nicht beschädigt oder verschüttet werden.

5.8.2 Weicheneinbau und -umbau unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten

Die Wahl der Technologie zum Weicheneinbau oder -umbau wird durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst.

Bei Weichenneubauten hängt die Wahl der Technologie entscheidend vom Oberbau – Feste Fahrbahn oder Schotter –, von der gewählten Konstruktion, der Geometrie, den örtlichen Gegebenheiten (Brücke, Dammlage, Einschnitt), der Zuwegung sowie vom gewählten Bauablauf ab. Der Eisenbahnbetrieb selbst findet häufig nur in Form des Baustellenverkehrs statt.

Ganz andere Einflussfaktoren sind bei den klassischen Weichenumbauten zu berücksichtigen, welche sich (bis heute) fast ausschließlich

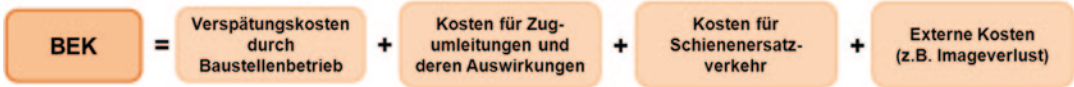


Abb. 5.55 Zusammensetzung von Betriebserscherniskosten (BEK) [7]

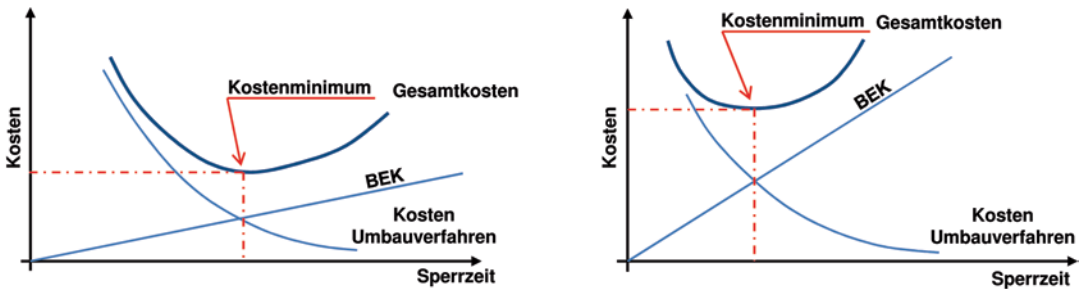


Abb. 5.56 Prinzip der Gesamtkosten einer Baumaßnahme mit unterschiedlichen BEK [7]

auf Schotterweichen beziehen. Diese Umbauten erfolgen i. d. R. unter dem rollenden Rad innerhalb einer definierten Sperrpause bei häufig noch in Betrieb befindlichen Nachbargleisen. Die betrieblichen Einflüsse, die Möglichkeiten der Vormontage, das Vorhandensein einer Oberleitung, aber auch die durch die Baustelle bedingten Betriebserscherniskosten (BEK) sind beim Weichenumbau entscheidende Faktoren zur Wahl eines bedarfsgerechten Einbauverfahrens.

Insbesondere die BEK werden bei der Beurteilung des Einbauverfahrens heute immer noch vielfach – teilweise sogar bewusst – vernachlässigt oder nicht ausreichend berücksichtigt. So hat bei hochbelasteten Hauptgleisen die Dauer der zum Einbau benötigten Sperrpause hinsichtlich der daraus resultierenden BEK eine hohe Relevanz, auf Nebenstrecken ist der Einfluss dagegen nahezu unbedeutend, Abb. 5.55.

Zwei Kostenarten – die BEK und die durch das Umbauverfahren maßgeblich beeinflussten Projektkosten – müssten deshalb im Rahmen einer Wirtschaftlichkeitsberechnung analysiert und gegenübergestellt werden. Umbauverfahren, die nur eine kurze Sperrpause benötigen, sind i. d. R. kostenintensiver als solche, die nur in einer längeren Sperrpause eingesetzt werden können. Gleichzeitig steigen aber die BEK mit zunehmender Sperrpausenlänge – bei Hauptgleisen sicherlich wesentlich stärker als in den schwach frequentierten Nebengleisen.

Projektbezogen gilt es, eben diese beiden Kostenarten zu betrachten und das sich ergebende Kostenminimum möglichst exakt zu bestimmen, Abb. 5.56. In Abhängigkeit der anderen Einflussfaktoren sollte dann die Wahl des wirtschaftlichsten Einbauverfahrens möglich sein.

5.8.3 Weicheneinbau- und -umbauverfahren

In den folgenden Abschnitten soll nicht der Montageprozess im Detail dargestellt werden, sondern eine Übersicht über die gängigen Einbaumethoden differenziert nach Schotteroberbau und Fester Fahrbahn gegeben werden. Insbesondere der klassische Weichenumbau ist detailliert in der einschlägigen Fachliteratur beschrieben, vgl. [8].

Wie bereits unter 5.8.2 dargestellt, hängt die Wahl des Einbauverfahrens von einer Vielzahl von Einflussfaktoren ab. Dabei ist das Einbauverfahren mit der Materiallogistik, d. h. der Anlieferung der Weiche vom Weichenwerk zur Baustelle bzw. dem Weg innerhalb der Baustelle zum Einbauort, abzustimmen, Abb. 5.57. Auch hier gibt es unterschiedliche Möglichkeiten, wie die Anlieferung in Einzelteilen oder auch die teilweise bzw. die komplette Vormontage im Weichenwerk.

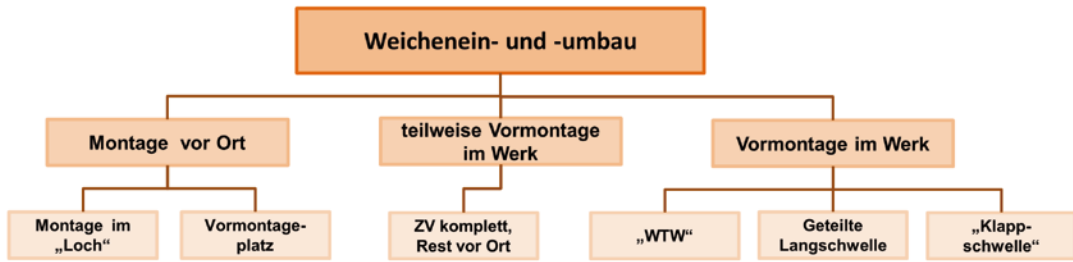


Abb. 5.57 Weichenein- und -umbau in Abhängigkeit der Vorsegmentierung im Werk

Da in Abhängigkeit der Oberbauart durchaus unterschiedliche Logistikkonzepte und Einbau- bzw. Umbauverfahren gewählt werden, erfolgt in der weiteren Betrachtung eine Differenzierung nach Schotteroberbau und Fester Fahrbahn. Ferner werden die Möglichkeiten der Vorsegmentierung sowie der sich daraus ergebenden Logistik erläutert.

5.8.3.1 Vorsegmentierung von Weichen im Werk

Weichen für das Oberbauprogramm der DB Netz AG

Das vertraglich zwischen den Weichenwerken und der DB Netz AG vereinbarte Lieferprogramm – beispielhaft für einfache Weichen – sieht folgende Möglichkeiten der Vormontage im Werk vor:

- Weichenfahrbahn bestehend aus Herzstück, Zungenvorrichtung, Zwischenschienen und Radlenker – Schwellen werden bauseitig beigelegt,
- Weiche komplett in Segmenten nach „Bauart geteilte Langschwelle“,
- Weichen komplett zum Transport mit dem Weichentransportwagen (WTW).

Da heute standardmäßig die Weiche nach Variante a) geliefert wird, erfolgt i. d. R. die Montage der Weichen für das Oberbauprogramm auf der Baustelle.

Komplett vormontierte Zungenvorrichtung

Im Bereich der NE-Bahnen (nichtbundeseigene Eisenbahnen), die vielfach Weichen nach der Industrienorm 600 einsetzen, werden i. d. R. die Weichen im Werk komplett vormontiert und vor Auslieferung vom Kunden abgenommen.

Da der Transport zur Baustelle entweder per Lkw oder auf Flachwagen per Bahn erfolgt, muss die Weiche im Werk wieder demontiert werden. Dabei wird die Zungenvorrichtung i. d. R. nicht demontiert, sondern als Segment zur Baustelle transportiert, da sie das zulässige Lademaß nicht überschreitet.

Komplett montierte Weichen

Im Werk komplett montierte Weichen garantieren eine hohe Qualität durch Vorkonfektionierung von Fahrbahn, Schwellensatz und signaltechnischen Komponenten in einem Fertigungsbetrieb. Negative Einflussfaktoren aus der Baustellenmontage wie ungeeigneter Montageplatz, Witterungseinflüsse, unsachgemäßes Handling der Komponenten oder ganz einfach der Verlust von Bauteilen (Kleineisen) werden deutlich reduziert. Komplett montierte Weichen werden mit Weichentransportwagen (WTW) just in time zur Baustelle gebracht.

Das zeit-, platz- und kostensparende Verfahren gehört in der Schweiz zum festen Bestandteil des Weichenumbaus und wird in Österreich auf Hauptstrecken eingesetzt. Dabei hängt der wirtschaftliche Einsatz entscheidend von kurzen Umlaufphasen der WTW ab, Abb. 5.58.

Weichen mit geteilter Langschwelle

Eine andere Möglichkeit, die Weiche im Werk vorzumontieren und in Segmenten zur Baustelle zu transportieren, bietet die Technik der geteilten Langschwelle. Diese ermöglicht die getrennte Montage des geraden und getrennten Stranges. Die Verbindung erfolgt mit besonderen „Schwingungstilgern“, so dass man bezogen auf die Spurweite und Weichengeometrie durchgehende Langschwellen,



Abb. 5.58 Weichentransportwagen (WTW)

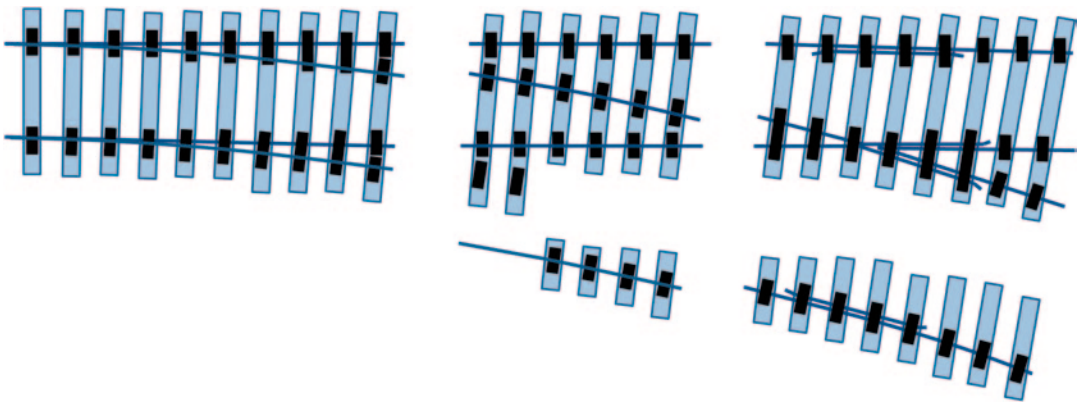


Abb. 5.59 Weichen mit geteilter Langschwelle



Abb. 5.60 Weiche mit Klappschwelle auf Flachwagen

aber bezüglich des vertikalen Verhaltens einzeln wirkende Kurzschwelen hat, Abb. 5.59.

Weichen mit klappbarer Schwelle

Das DB Netz-eigene Werk Oberbaustoffe Witten hat zusammen mit dem Schwellenproduzenten Rail.One einen Schwellensatz entwickelt, bei

dem die Langschwelen mit einem biegesteifen Koppelgelenk ausgestattet wurden. Diese „Klappschwelle“, die den Montageprozess im Weichenwerk wie eine ganz normale Langschwelle durchläuft, ermöglicht nun die Komplettmontage im Werk, gleichzeitig aber den Transport zur Baustelle auf Regelgüterwagen, Abb. 5.60. Zur



Abb. 5.61 Weichenmontage im Loch

Reduzierung der Ladebreite werden die „gekoppelten“ Kurzschwelligelemente inklusive der Schiene hochgeklappt.

Der Prototyp dieser Weiche (EW 60-500) wird seit 2011 im Netz der DB getestet.

5.8.3.2 Schotteroberbau

Der Schotteroberbau ist Standard bei den meisten Bahnen, die nach den Vorschriften der EBO/BOA/EBOA fahren, so dass der klassische Weichenein- bzw. -umbau mehrheitlich auch bei diesem Oberbau erfolgt.

Montage „im Loch“

Die Montage der Weiche im Loch erfordert beim Weichenumbau eine Sperrpause während der ganzen Bauphase und wird aus diesem Grunde in der Praxis nur selten bzw. in absolut untergeordneten Gleisbereichen, die häufig bei Industriebahnen angetroffen werden, umgesetzt, Abb. 5.61.

Bei Einbauten auf neuen Strecken, auf denen i. d. R. noch kein Schienenverkehr stattfindet, erfolgt durchaus die Montage auf dem Schotterplanum unter Zuhilfenahme von Zweibegebaggern, allerdings sind die Fahrbahnkomponenten dieser Weichen vormontiert (halbe Zungenvorrichtung, Herzstück).

Vormontage auf einem Montageplatz

Die Vormontage auf einem gesonderten Platz ist in Deutschland heute noch Standard beim klassischen Weichenumbau. Im Rahmen der Bauablaufplanung werden auch in Abhängigkeit des gewählten Umbauverfahrens Montage- und Demontageplätze sowie ggf. die Lagerorte festge-

legt. Es ist darauf zu achten, dass der Montageplatz eben und befahrbar ist. So eignen sich nicht genutzte Gleise hervorragend, aber auch das Auslegen der geschotterten Montagefläche mit Schienen hat sich als praktikabel erwiesen. Nach Auslegen der Schwellen wird die Fahrbahn montiert, die häufig schon im Weichenwerk teilvorsegmentiert wurde (halbe Zungenvorrichtung, Herzstück, Radlenker/Fahrschiene).

Der Einbau erfolgt mit diversen Hebegegeräten, abhängig von der Weichenform, vom Gewicht und insbesondere auch von der zurückzulegenden Strecke zwischen Montage- und Einbauort. Während bei Industriebahnen standardmäßig bei einer Vielzahl der Weichen (Radien 190 und evtl. 300 m) der Zweibegebagger eingesetzt wird, erfordern größere Weichen oder auch längere Wegstrecken den Einsatz von speziellen Hebegegeräten. Nachfolgend werden einige vorgestellt, ohne Anspruch auf Vollständigkeit.

Eisenbahndrehkran (EDK)

Der Eisenbahndrehkran ist im Bereich des Weichenumbaus das Standardhebezeug bei großbogigen Weichen, Abb. 5.62. Dabei müssen die komplett vormontierten Weichen oder auch bei großen Weichen die entsprechenden Segmente vom Montageplatz aufgenommen und über ein Strecke, die durchaus 1–2 km betragen kann, zum Einbauort transportiert werden. Oberleitungen, Brücken, Tunnel oder einfach nur signaltechnische Einrichtungen bilden zu überwindende Hindernisse.

Am Markt sind heute für die unterschiedlichen Baustellenbedingungen EDK, differenziert



Abb. 5.62 Weichenmontage mit Eisenbahndrehkran

in drei Kranklassen und mit unterschiedlicher technischer Ausführung, verfügbar.

Kräne der leichten Gewichtsklasse werden bei Ein- und Umbaumaßnahmen von Weichen mit Betonschwellen bis EW 300 und bei Weichen mit Holzunterschwellung bis EW 500 eingesetzt.

Bei Betonweichen der Geometrie EW 500 bzw. EW 760 werden Kräne der mittleren Gewichtsklasse eingesetzt und zum Einbau von Weichensegmenten bis zum Radius von 2500 m Kräne der Schwergewichtsklasse. Stand der Technik sind heute Ausführungen

- mit festem oder teleskopischem Gegengewicht oder auch mit separat verschwenkbarem Ausleger und teleskopischem Gegengewicht,
- die profilfreie Arbeiten ermöglichen, d. h. für den Weichenumbau wird immer nur ein Gleis benötigt, der Verkehr auf dem benachbarten Gleis bleibt ungestört,
- mit Tragfähigkeiten von bis zu 160 t,
- mit Lastmomenten bis zu 1.680 tm.

Universelles Weichen- und Gleisjochwechslergerät (UWG)/Gleis- und Weichenumbauverfahren PEM/LEM

Das UWG besteht im Wesentlichen aus den hydraulischen Weichenhebern, dem Fahrgestell sowie den Rampen und Hilfsfahrbahnen, Abb. 5.63. Der Weicheneinbau vollzieht sich wie folgt:

- Hilfsfahrbahn auf das Schotterplanum ziehen,
- Rampenschienen anbauen,
- Weiche einfahren
- Weiche mit den Weichenhebern von den Fahrgestellen abheben,

- Fahrgestelle herausfahren,
- Rampenschienen abbauen,
- Hilfsfahrbahn ziehen,
- Weiche ausrichten und ablegen,
- UWG wegfahren,
- Anschlüsse herstellen.

Beim Nachfolgemodell der UWG-Geräte

- sind alle Funktionen sowohl auf den Hebern (PEM) als auch auf den Unterwagen (LEM) jetzt funkfern gesteuert,
- haben die Unterwagen zusätzlich einen Eigenfahrantrieb.

VAIA Car

Der Weichentransport vom Montageplatz zur Einbaustelle erfolgt auf eigenen Transporteinheiten oder über Raupenfahrwerke, deren Spurweiten variabel sind. Jochgrößen bis 60 m oder mit einem Gesamtgewicht von 55 t bzw. Weichen bis zu einer Baugröße von EW 500 können komplett montiert transportiert werden. Die Kennzeichen des VAIA Car sind:

- kurze Rüstzeiten,
- kein Bau von Hilfsfahrbahnen erforderlich, gleis- oder geländefahrbares (Raupenfahrwerk-) Trägerfahrzeug,
- längenverstellbarer Hauptbalken zur Aufnahme unterschiedlicher Weichengroßteile.

Weichenumbaumaschine WM 500

Der WM 500 ist ein speziell für den Weichenein- und -umbau konzipiertes System, das aus folgenden kombinierbaren Einzelkomponenten besteht:

- Trägerfahrzeug Weichenraupenwagen (WRW),
- Weichenhebergerät Portalkran 1 (PK1), welches ein Raupenfahrwerk besitzt,
- Weichenhebergerät Portalkran 2 (PK2) ohne Raupenfahrwerk. Das PK 2 dient zur Aufnahme bzw. Übergabe von Weichenteilen vom bzw. zum WRW.

Der WM 500 benötigt für den Betrieb keine Sperrung des Nachbargleises, und die einzubauenden Weichensegmente können wahlweise seitlich oder in Längsrichtung direkt vor Kopf mit dem PK1 aufgenommen werden. Kennzeichen des WM 500 sind:

- modulares Konzept,
- Verlängerung des Längsrahmens an beiden Seiten durch hydraulisch ausfahrbare Kragarme,



Abb. 5.63 Weichenmontage mit UWG bzw. PEM/LEM

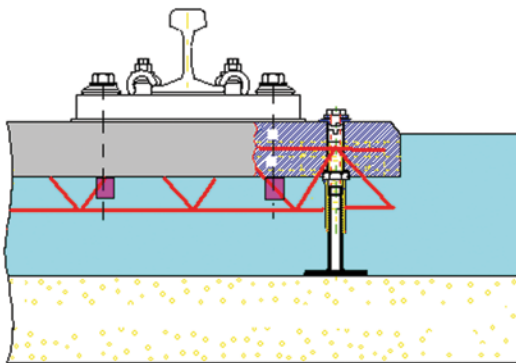


Abb. 5.64 Systemquerschnitt

- Ein- bzw. Ausbau von Weichen bzw. Segmenten bis zu einer Länge von 40 m und einem Gewicht von 40 t.

5.8.3.3 Feste Fahrbahn

Bei Weichenfahrbahnen auf Fester Fahrbahn sind heute die Stützpunkt-gelagerten Bauarten Stand der Technik, entweder auf einer Schwelle, die später vergossen wird (Rheda 2000) oder auf einer vorgefertigten Weichentragplatte (WTP z. B. der Firmen Bögl oder Porr). Diese beiden unterschiedlichen Systeme – Schwelle oder Weichentragplatte – haben hinsichtlich der Planung, Fertigung und Montage höchst unterschiedliche Anforderungen. Beiden Systemen gemeinsam ist, dass der Schienenstützpunkt gemäß den Forderungen des „Anforderungskatalog zum Bau der Festen Fahrbahn“ (AKFF) [9] nach Einbau vertikal $>+20$ mm und horizontal $\geq\pm 4$ mm Regulierungsreserve haben muss.



Abb. 5.65 Einbau einer vorsegmentierten Weiche mit geteilter Langschwelle

Stützpunktlagerung auf Schwelle

Die Montage der Weichen kann entweder im Weichenwerk (Vormontage), auf einem Vormontageplatz oder am Einbauort direkt erfolgen, Abb. 5.64. Grob skizziert ist der Arbeitsablauf wie folgt:

- Auslegen der Schwellen und Montage der Fahrbahn und ggf. der signaltechnischen Komponenten, Abb. 5.65,
- falls im Werk vormontiert, Transport der Segmente zum Einbauort,
- Ablegen und Grobausrichtung der Segmente auf der hydraulisch gebundenen Tragschicht (HGT) nach Absteckplan,
- Justieren der Weiche nach Lage und Höhe sowie Fixierung,
- Schal- und Bewehrungsarbeiten für Tragplatte, Füllbeton und Aussparungen,



Abb. 5.66 Einsatz einer „Doppeltraverse“



Abb. 5.68 Einbetonierte Gleitstuhplatte



Abb. 5.67 Abschalung für Verschluss, Schutz der Fahrbahn vor Verunreinigung

- Schutz der Weichteile gegen Verunreinigung beim Betonieren,
- Einbau des Betons mit unmittelbarer Reinigung von möglicherweise verunreinigten Komponenten,
- Nachbehandlung des Betons,
- Montage der (restlichen) signaltechnischen Komponenten und Feinjustierung der Wei-



Abb. 5.69 Einbau mittels eines Shifting-Systems (Taiwan)

chenfahrbahn mit Herstellung der Abnahmetoleranzen,

- Herstellen der Schienenschweißungen,
- Abnahmecheck ggf. mit noch erforderlichen kleineren Korrekturen.

Die Herausforderung beim Herstellen dieses Systems sind für das Bauunternehmen bei Vormontage das fachgerechte Handling der i. d. R. großen Segmente, das Ausrichten und die Fixierung der Komponenten, die Berücksichtigung und korrekte Herstellung sämtlicher Aussparungen und Auflagerungen für später zu montierende Signaltechnik und das fachgerechte Betonieren, Abb. 5.66, 5.67 und 5.68.

Als Besonderheit kann die Baustellenlogistik mit Hilfe eines Shifting Systems (s. Abb. 5.69) betrachtet werden, welches in Taiwan zu Anwen-



Abb. 5.70 Bögl-Platte mit Schienenstützpunkt



Abb. 5.72 Montiertes Herzstück



Abb. 5.71 Montage der Komponenten

dung kam, weil keine Möglichkeiten bestanden, die Segmente per Kran oder anderer Hebegeräte am Einbauort abzulegen.

Stützpunktlagerung auf vorgefertigter Weichentragplatte (WTP)

Bei diesem System werden die Fertigteilplatten einschließlich der Stützpunktbefestigungen im Werk vorgefertigt. Die Herausforderungen bei Einsatz der WTP sind die Herstellung der Platten selbst sowie die Verlegung auf der Baustelle in einem sehr engen Toleranzfeld von häufig nur wenigen Millimetern. Auch erfordert dieses System eine noch exaktere Planung, sind doch spätere Korrekturen fast ausgeschlossen. Der Arbeitsablauf für den Einbau der Weichen auf WTP stellt sich wie folgt dar:

- Auslegen, Justieren und Unterguss inkl. Koppelung der Fertigteilplatten,
- Montage der Schienenstützpunkte, Abb. 5.70,
- Ablegen und Montage der vorsegmentierten Weichenteile und Schienen,
- Montage der signaltechnischen Komponenten und Feinjustierung der Weichenfahrbahn mit Herstellung der Abnahmetoleranzen, Abb. 5.71 und 5.72,
- Herstellen der Schienenschweißungen,
- Abnahmecheck ggf. mit noch erforderlichen kleineren Korrekturen.

5.9 Instandhaltung von Weichen

5.9.1 Gesetzliche Grundlagen

Im deutschen Eisenbahnrecht erfolgt eine Differenzierung zwischen „öffentlichen“ und „nicht-öffentlichen“ (§ 3 AEG) [10] sowie bundeseigenen und nichtbundeseigenen Eisenbahnen (NE-Bahnen).

Tab. 5.2 Maßgebliche (Oberbau-)Verordnungen für Eisenbahnen des öffentlichen und des nichtöffentlichen Verkehrs

| Regelwerk | Eisenbahnen des ... | | Nicht öffentlichen Verkehrs |
|-----------|---------------------------|----------------------|--------------------------------|
| | Öffentlichen Verkehrs ... | | |
| | ... bundeseigen | ... nichtbundeseigen | |
| EBO | X | X | |
| BOA/EBOA | | | X |
| Obri – NE | | X | X |

Eisenbahnen dienen dem öffentlichen Verkehr, wenn sie als Eisenbahnverkehrsunternehmen gewerbs- oder geschäftsmäßig betrieben werden und jedermann sie nach ihrer Zweckbestimmung zur Personen- oder Güterbeförderung benutzen kann (öffentliche Eisenbahnverkehrsunternehmen), § 3 Abs.1 Nr 1 AEG.

Für Eisenbahnen des *öffentlichen Verkehrs* findet die für den Oberbau maßgebliche Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO) [2] Anwendung.

Basierend auf der EBO erstellt die DB Netz AG das oberbautechnische Regelwerk, das u. a. folgende Richtlinienfamilien (RilF) enthält:

- RilF 820 Grundlagen des Oberbaus
- RilF 821 Oberbau inspizieren
- RilF 822 Oberbau warten
- RilF 823 Oberbauarbeiten planen
- RilF 824 Oberbauarbeiten durchführen

Vorschriften für die Bahnen des *nichtöffentlichen Verkehrs* bilden die Verordnungen über den Bau und Betrieb von Anschlussbahnen (BOA) bzw. die Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung für Anschlussbahnen (EBOA). Ebenso wie bei der EBO dient bei den Anschlussbahnen die BOA/EBOA dem Ziel, eine sichere und geregelte Abwicklung des Eisenbahnverkehrs zu gewährleisten. Da die Anschlussbahnen den Bundesländern unterstehen, gilt für jedes Land eine gesonderte Verordnung, es sei denn, dass die EBOA angewendet wird.

Für die nichtbundeseigenen Eisenbahnen (NE-Bahnen) des öffentlichen und des nichtöffentlichen Verkehrs gelten die „Oberbau-Richtlinien für nichtbundeseigene Eisenbahnen“ (Obri-NE) [11]. Diese ergänzen die gesetzlichen Bestimmungen der EBO und der von den einzelnen Ländern erlassenen BOA bzw. der EBOA, s. Tab. 5.2.

5.9.2 Anlagenverantwortung

Die Regelung der Anlagenverantwortung und letztendlich die Verantwortung für den sicheren Betrieb der Gleisanlagen ist in den einzelnen Vorschriften eindeutig geregelt.

Die EBO [2] fordert in § 2 „Bahnanlagen und Fahrzeuge müssen so beschaffen sein, dass sie den Anforderungen der Sicherheit und Ordnung genügen. Diese Anforderungen gelten als erfüllt, wenn die Bahnanlagen und Fahrzeuge den Vorschriften dieser Verordnung und, soweit diese keine ausdrücklichen Vorschriften enthält, anerkannten Regeln der Technik entsprechen.“ Dieses zu gewährleisten, liegt im Bereich der „EBO-relevanten Bahnen“ gemäß EBV [12] im Verantwortungsbereich des Eisenbahnbetriebsleiters. Die EBV fordert: „Eisenbahninfrastrukturunternehmen mit Sitz im Inland haben vor der Betriebsaufnahme einen oder mehrere Betriebsleiter zu bestellen, die unbeschadet der Verantwortung des Unternehmers für das sichere Betreiben der Eisenbahninfrastruktur verantwortlich sind.“

Bei der DB Netz liegt gemäß Organisationsanweisung die uneingeschränkte Verantwortung für die ordnungsgemäße und sichere Instandhaltung der ihm zugewiesenen Anlagen beim Anlagenverantwortlichen (Alv). Dabei werden zur Wahrnehmung der Aufgaben folgende Anforderungen an die Qualifikation des Alv gestellt:

- fachliche Kenntnisse und Erfahrungen,
- Kenntnisse der einschlägigen Vorschriften, Richtlinien und Normen,
- Kenntnisse über den Betriebszustand der Anlage,
- Fähigkeit, die Auswirkungen vorgesehener Arbeiten für den sicheren Betrieb der Anlage zu beurteilen,

- Fähigkeit zum Erkennen der besonderen Gefahren, die bei Arbeiten an oder in der Nähe von dieser Anlage ausgehen.

Der Alv muss definierte Arbeiten (z. B. definierte Inspektionen gemäß Regelwerk) selbst durchführen.

Analog zur EBO ist auch in den BOA/EBOA der Länder eindeutig festgelegt, dass für die Einhaltung der Vorschriften und somit für das sichere Betreiben der Anlage der Anschlussinhaber verantwortlich ist. Dieser kann einen Eisenbahnbetriebsleiter bestellen, der für die Einhaltung der Vorschriften zu sorgen hat. Für Anschlussbahnen, auf denen der Anschlussinhaber den Eisenbahnbetrieb mit schienengebundenen Triebfahrzeugen selbst führt, muss ein Eisenbahnbetriebsleiter bestellt werden.

5.9.3 Elemente der Instandhaltung

Mehr als 25% der gesamten Oberbau-Instandhaltungskosten fallen, wie in Abschn. 5.1.2 beschrieben, für die Weicheninstandhaltung an. Da die Weiche als „Störglied“ im Fahrweg gleichzeitig nicht unerheblichen Einfluss auf die Verfügbarkeit hat, gilt dieser Fahrwegkomponente besondere Aufmerksamkeit. Eine zielorientierte Instandhaltung hat großen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit des Fahrweges.

Die Instandhaltung umfasst alle Maßnahmen zur Feststellung des Ist-Zustandes und zur Bewahrung bzw. Herstellung des Soll-Zustandes und definiert sich nach DIN 31051 wie folgt:

- Inspektion: Maßnahmen zur Feststellung und Beurteilung des Ist-Zustandes,
- Wartung: Maßnahmen zur Bewahrung des Sollzustandes,
- Instandsetzung: Maßnahmen zur Wiederherstellung des Sollzustandes,
- Verbesserung: Maßnahmen zur Steigerung der Funktionsfähigkeit.

Bei der DB Netz AG wird die Instandhaltung in folgende vier Hauptkomponenten untergliedert [13]:

1. Inspektion/Wartung: Feststellung und Beurteilung des Ist-Zustandes, Kleinmaßnahmen zur Bewahrung des Sollzustandes,

2. Entstörung: Wiederherstellung der Funktionsfähigkeit nach Teilausfall/Ausfall,
3. Instandsetzung: alle planbaren Maßnahmen zur Wiederherstellung des Sollzustandes nach Befund,
4. Prävention: zustandsabhängige oder zyklische Prävention.

5.9.4 Inspektion

5.9.4.1 Allgemein

Die Inspektionsfristen, die durchzuführenden Tätigkeiten und die erforderliche Dokumentation hängen von der „Einordnung“ der Bahn ab, siehe Abschn. 5.9.1.

Nach § 17 EBO [2] sind Bahnanlagen planmäßig auf ihre ordnungsgemäße Beschaffenheit zu untersuchen. Art, Umfang und Häufigkeit der Untersuchung haben sich nach Zustand und Belastung der Bahnanlagen sowie nach der zugelassenen Geschwindigkeit zu richten. Weitere Festlegungen werden in der EBO selbst nicht getroffen.

Die DB Netz AG hat in ihren Organisationsanweisungen klare Vorgaben hinsichtlich der Aufbau- und Ablauforganisation getroffen. Während die Oberbauinspektion bei der DB Netz AG in der Richtlinienfamilie 821 geregelt ist, erfolgt die Inspektion der LST-Anlagen gemäß der Richtlinienfamilie 892.

Wie nachfolgend noch näher erläutert, sind die Intervalle einer Regelinspektion im Oberbau abhängig von der Geschwindigkeit und/oder Belastung. Die LST-Anlagen werden hingegen in Beanspruchungsgrade normal, stark, schwach und sehr schwach eingeteilt. Diesen Beanspruchungsgraden entsprechend werden die LST-Anlagen dann nach unterschiedlichen Fristen instandgehalten. Bei der DB Netz AG findet aufgrund der Sicherheitsrelevanz bei LST-Anlagen eine wesentlich stärkere Differenzierung hinsichtlich der Fristen und der durchzuführenden Tätigkeiten statt, Abb. 5.73.

In der Obri-NE, die wie dargestellt die gesetzlichen Bestimmungen der EBO und der von den einzelnen Ländern erlassenen BOA bzw. EBOA ergänzt, wird in den §§ 1 und 31 Folgendes festgelegt:

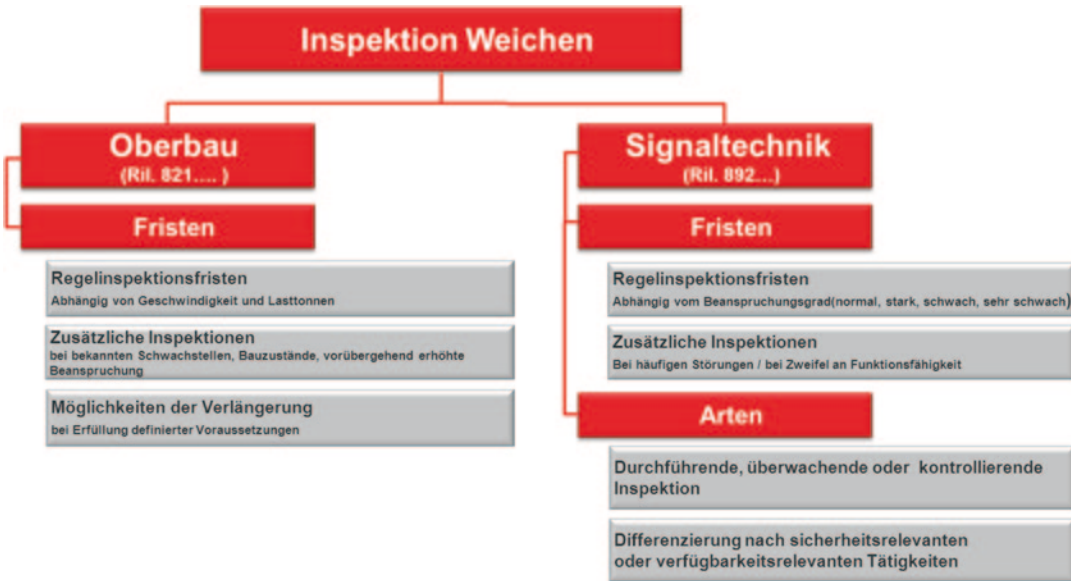


Abb. 5.73 Inspektionen bei der DB Netz AG

- Gleise und Weichen werden erforderlichenfalls in zwei Klassen eingeteilt:
 - Klasse 1: Oberbau mit stärkerer Beanspruchung,
 - Klasse 2: Oberbau mit schwächerer Beanspruchung.
- Die Beanspruchung ist nach der betrieblichen Belastung, den Achslasten, der Fahrgeschwindigkeit, der Betriebsart usw. vom Obersten Betriebsleiter (OBl) bzw. Eisenbahnbetriebsleiter (EBL) örtlich festzulegen.
- Bei Bahnen des öffentlichen Verkehrs wird nach EBO § 4 auch zwischen Haupt- und Nebengleisen unterschieden.
- Weichen und Kreuzungen sind regelmäßig auf ihren ordnungsgemäßen Gesamtzustand zu prüfen. Darüber sind Aufzeichnungen zu führen. Für Weichen und Kreuzungen in den durchgehenden Hauptgleisen und in den Gleisen der Klasse 1 von Bahnen des Öffentlichen Verkehrs sollen Weichenprüfungsbücher oder Weichenprüfkarten (Muster im Anhang zu den Oberbaurichtlinien der NE (AzObri 25)) geführt werden, Abb. 5.74. Für die übrigen Weichen und Kreuzungen wird ihre Prüfung empfohlen.

Die Fristen werden in der EBOA/BOA der jeweiligen Landesregierungen festgelegt. Einzelheiten dazu werden in Abschn. 5.9.4.4 erläutert.

Im Zuge der Weicheninspektion wird ein Vergleich des Ist-Zustandes mit einem definierten Soll-Zustand unter Zuhilfenahme von vorgegebenen Mess- und Prüfwerkzeugen bzw. Beurteilungsmaßstäben vorgenommen. Dabei gliedert sich die Inspektion in:

- Messung: Aufnahme und Beurteilung auf Basis des Regelwerkes unter Nutzung von Mess- und Prüfwerkzeugen,
- Visuelle Prüfung: Beurteilung nach den Vorgaben des Regelwerkes und ferner subjektiv beruhend auf den Erfahrungen des Mitarbeiters, der diese Inspektion durchführt,
- Funktionsprüfungen: Feststellung und Beurteilung nach den Vorgaben des Regelwerkes und von Funktionsablaufprozessen.

Zur Gewährleistung von aussagekräftigen Inspektionsergebnissen ist es unerlässlich, bei der Inspektion die Schnittstellen zum angrenzenden Gleis zu betrachten sowie die Ergebnisse zwischen den Fachlinien, insbesondere zwischen Fahrbahn und Leit- und Sicherheitstechnik abzugleichen, Abb. 5.75. Dabei gehören Antrieb, Verschluss, Endlagenprüfer, Zungenrollvorrich-

Bahnhof _____ Stellwerksbez. _____
 Weiche-Nr. _____ Stellwerksanschluß
 Handbedienung _____

Einfache Weiche 49E1 – 140 – 1:6 I Fz (H)

Angefertigt nach Lageplan _____
 Lieferwerk _____
 Eingebaut am _____
 Ausgebaut am _____

| 1 | 2 | | | | | | | | | | | | 3 | 4 |
|---|--|--------|------|----------------|------|----------------|-------|----------------|----|----------------|----|----------------|---|--|
| | Sollmaße und zulässige Abweichungen (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| Tag der Prüfung und Name des Prüfenden | a | b | d | d ₁ | e | e ₁ | f | f ₁ | h | h ₁ | l | l ₁ | Vorgefundene Mängel und erforderliche Maßnahmen | Der ordnungsgemäße Zustand der Weiche wird bescheinigt |
| | 1435 | 1436,6 | 1435 | 1435 | 1435 | 1435 | 1396 | 1396 | 39 | 39 | 44 | 44 | | |
| | +10 | +10 | +10 | +10 | +10 | +10 | +3 x | | +7 | | +4 | | | |
| | -2 | -2 | -2 | -2 | -2 | -2 | -3 xx | | -1 | | -2 | | | |
| Befund | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| x Bei Plusabweichungen der f-Maße dürfen die dazugehörigen l-Maße keine Maßabweichungen haben xx Bei Minusabweichungen der f-Maße dürfen die h-Maße keine Minusabweichungen haben Unzulässige Abweichungen sind rot zu unterstreichen | | | | | | | | | | | | | | |

Abb. 5.74 Muster Weichenprüfkarte nach AzObri 25

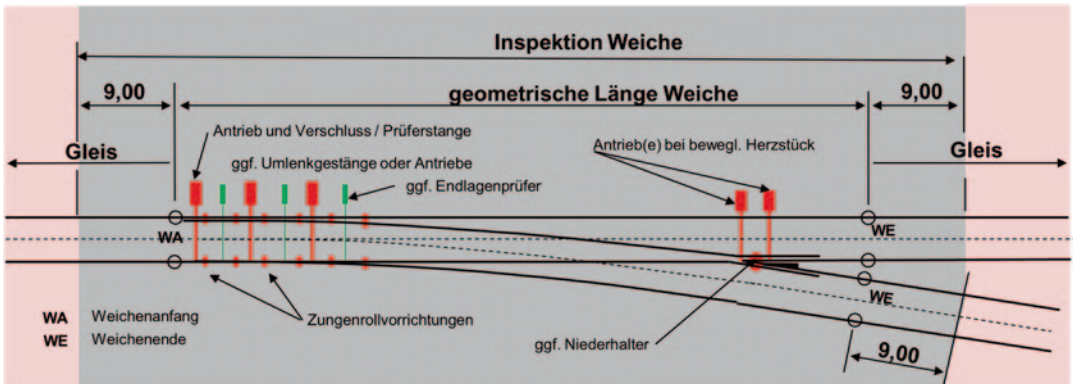


Abb. 5.75 Schnittstellen und sicherungstechnische Elemente innerhalb der Weiche

tungen und – falls vorhanden – Niederhalter bei der DB Netz AG per Definition zur Leit- und Sicherungstechnik.

5.9.4.2 Grundsätze der Oberbauinspektion

Bei der DB Netz AG sind Einzelheiten zur Oberbauinspektion in der Richtlinie 821.1000 enthalten. Sie beinhaltet:

- Erläuterung zum Abnutzungsvorrat,
- Aussagen zu Inspektionsintervallen,
- Definition von Beurteilungsmaßstäben,
- Angaben zu Zuständigkeiten.

Die Funktionsfähigkeit des Oberbaus erfordert einen ausreichenden Abnutzungsvorrat. Dieser definiert sich als Differenz zwischen dem Ist-Zustand und den festgelegten Beurteilungsmaßstäben. Wird der gesamte Lebenszyklus betrachtet,

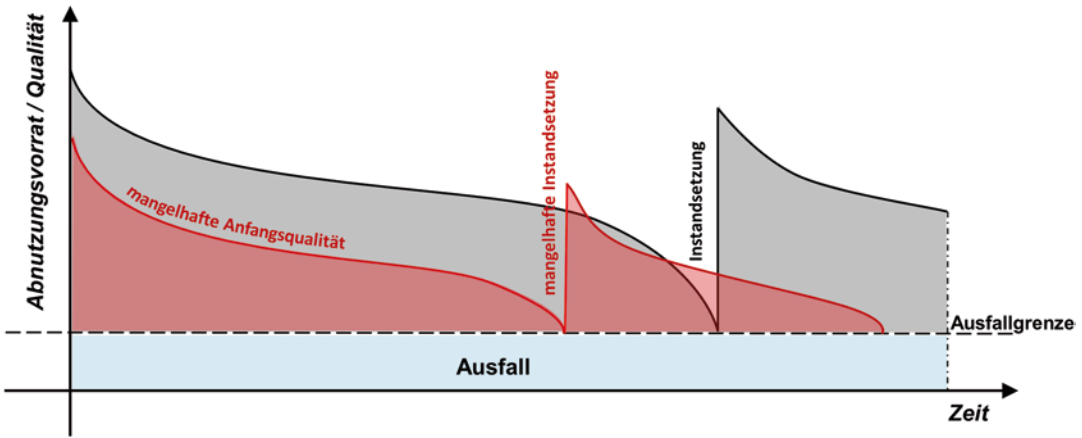


Abb. 5.76 Funktionsverlauf der Abnutzung in Abhängigkeit von Anfangs- und Instandsetzungsqualität

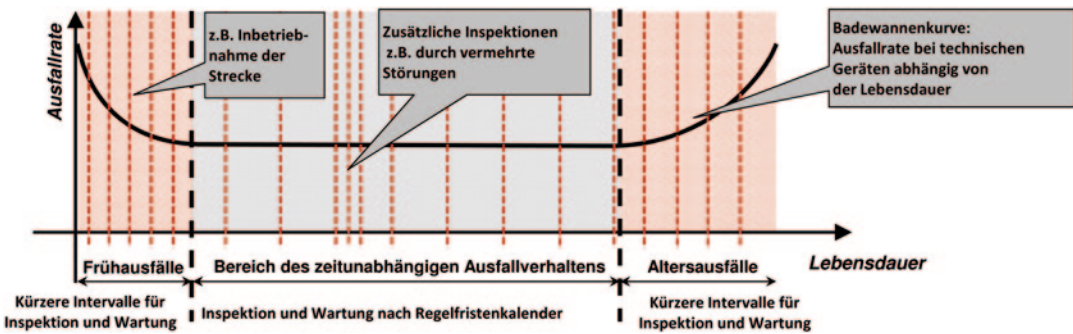


Abb. 5.77 Inspektions- und Wartungsfristen in Abhängigkeit einer möglichen Ausfallrate

so kann der Funktionsverlauf der Abnutzung entscheidend beeinflusst werden durch eine hohe Anfangsqualität sowie eine anforderungsgerechte Instandsetzung – Faktoren, die insbesondere bei Weichen, mit einem Anteil an den gesamten Oberbauinstandhaltungskosten über 25%, von maßgeblichem Einfluss sind, Abb. 5.76.

Die Anfangsqualität beeinflusst entscheidend den Verlauf des Abnutzungsvorrates und den Zeitpunkt der Eingriffsschwellen.

Kennzeichnend für den Funktionsverlauf sind eine relativ hohe Anfangsabnutzung („Einfahren“ der Weiche, Gratbildung, ggf. Frühausfälle durch Kinderkrankheiten) und Funktionsbeeinträchtigungen am Ende der Nutzungsdauer, hervorgerufen durch den fortschreitenden Substanzverzehr. Die Ausfallrate spiegelt sich in der sog. Badewannenkurve wider, die wiederum in den

festgelegten bzw. festzulegenden Inspektionsfristen Berücksichtigung findet, Abb. 5.77.

5.9.4.3 Klassifizierung und Kategorisierung

Die Klassifizierung der Gleise und Weichen nach ihrer Bedeutung für den Bahnbetrieb und nach ihrer Belastung sollte die Basis sein für eine zielorientierte Instandhaltung, da sie erst die Fokussierung auf das Wesentliche ermöglicht. Zweck der Anlagenklassifizierung ist es einerseits, Inspektions- und Wartungszyklen festzulegen und andererseits, Hilfsmittel zur Priorisierung der sich aus den Ergebnissen ergebenden Maßnahmen zur Verfügung zu stellen, Abb. 5.78.

Die DB AG unterteilt Weichen gemäß Ril. 821.2005 „Inspektion der Weichen, Kreuzungen, Schienenauszüge und Hemmschuhauswurfvor-

| Belastungsstufe | 1 | | 2 | | 3 | |
|--------------------------------------|--|--|--|--|--|--|
| Geschwindigkeit zul. v [km/h] | v ≤ 160 | | v ≤ 160 | | v > 160 | |
| Lasttonnen / Tag | ≤ 30 000 | | > 30 000 | | - | |
| Regelinspektionsabstand | 6 Monate | | 6 Monate | | 3 Monate | |
| Verlängerter Regelinspektionsabstand | max. 12 Monate | | max. 9 Monate | | max. 6 Monate | |
| Beginn der Regelinspektion | M Fb ¹⁾ / TL Fb ²⁾ | | M Fb ¹⁾ / Alv ²⁾ | | M Fb ¹⁾ / Alv ²⁾ | |
| Abfolge der Zuständigkeiten | 6 Monate | M Fb oder Inspizierender (mit Befähigungsnachweis) | 6 Monate | M Fb oder Inspizierender (mit 2-jähriger Inspektionstätigkeit) | 3 Monate | M Fb |
| | 12 Monate | M Fb | | | | |
| | 18 Monate | M Fb oder Inspizierender (mit Befähigungsnachweis) | 12 Monate | M Fb ¹⁾ TL Fb ²⁾ | 6 Monate | M Fb ¹⁾ TL Fb ²⁾ |
| | 24 Monate | M Fb | 18 Monate | M Fb oder Inspizierender (mit 2-jähriger Inspektionstätigkeit) | 9 Monate | M Fb |
| | 30 Monate | M Fb oder Inspizierender (mit Befähigungsnachweis) | | | | |
| | 36 Monate | M Fb ¹⁾ TL Fb ²⁾ | 24 Monate | M Fb ¹⁾ Alv ²⁾ | 12 Monate | M Fb ¹⁾ Alv ²⁾ |
| | | | | | | |

¹⁾ Inspektion durch M Fb

²⁾ augenscheinliche Begutachtung durch Alv bzw. TL Fb nach Bewertung der Ergebnisse

Legende: M Fb: Meister Fahrbahn TL Fb: Teamleiter Fahrbahn Alv: Anlagenverantwortlicher

Abb. 5.78 Inspektionszyklen gemäß Ril. 821.2005

richtungen“ (Stand 01.01.2012) in folgende Belastungsstufen:

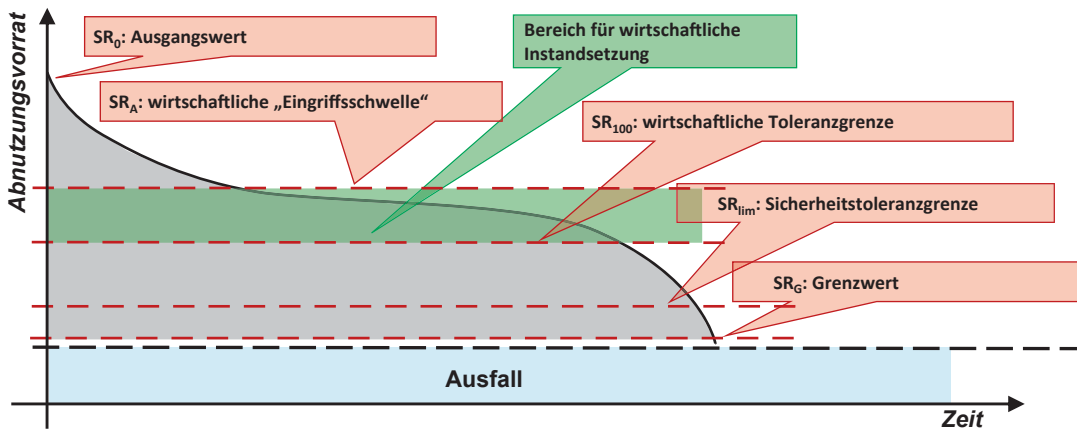
- Stufe 1:
zul. Geschwindigkeit v ≤ 160 km/h und ≤ 30.000 Lasttonnen/Tag
- Stufe 2:

zul. Geschwindigkeit v ≤ 160 km/h und > 30.000 Lasttonnen/Tag

- Stufe 3:
zul. Geschwindigkeit v > 160 km/h.
- Bei den NE-Bahnen werden bei den großen Hafen- und Industriebahnen vielfach durch den

Tab. 5.3 Anlagenklassifizierung Industrieunternehmen im Vergleich zur DB Netz AG

| DB Netz AG | | Industriebetrieb „A“ | | Industriebetrieb „B“ | |
|-----------------|--|----------------------|------------|----------------------|---------------------------------|
| Belastungsstufe | Kriterium | Anlagenklasse | Kriterium | Anlagenklasse | Kriterium |
| 1 | $v \leq 160$ km/h und ≤ 30.000 to/d | A | xxx t/Jahr | Hauptgleise | Alle Weichen im Bahnhofsbereich |
| 2 | ≤ 160 km/h und > 30.000 to/d | B | yyy t/Jahr | Nebengleise | Alle Weichen in Werkstraßen |
| 3 | > 160 km/h | C | zzz t/Jahr | | |

**Abb. 5.79** Abnutzungskurve mit Störgrößen-Reaktionswerten

Anlagenbetreiber Anlagenklassen in Abhängigkeit der Belastung (Lasttonnen/Jahr) festgelegt. Manchmal wird auch nur zwischen Hauptgleisen und Nebengleisen unterschieden. Einen Klassifizierungsvergleich zwischen Anlagen in Industrieunternehmen und bei der DB Netz AG zeigt Tab. 5.3.

Zielorientierte Instandhaltung erfordert aber nicht nur eine sinnvolle Klassifizierung der Anlagenteile, sondern auch eine Kategorisierung der Fehler.

Bei der DB Netz AG wurden, wie in der Ril 821.1000 näher erläutert, Beurteilungsmaßstäbe in Form der sog. Störgröße–Reaktion (SR-Werte) eingeführt, die wie folgt definiert sind, Abb. 5.79:

- SR_0 ist der Ausgangswert bzw. Abnahmewert.
- SR_A ist der Wert, bei dessen Überschreitung eine Beurteilung hinsichtlich der Einplanung einer Instandsetzungsmaßnahme unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten erforderlich ist (z. B. Kombination mit Maßnahmen im Nachbarabschnitt).

- SR_{100} ist der Wert, der den technisch/wirtschaftlichen Abnutzungsvorrat beinhaltet. Bei dessen Überschreitung ist eine Instandsetzung bis zur nächsten Regelinspektion erforderlich. Der späteste Zeitpunkt der Instandsetzung ist durch das Maß der Überschreitung von SR_{100} in Verbindung mit der Fehlerentwicklung bestimmt. Bei einer Überschreitung von SR_{100} kann ohne eine zwischenzeitliche Instandsetzung eine Überschreitung von SR_{lim} bis zur nächsten Regelinspektion nicht ausgeschlossen werden.
- SR_{lim} ist der Wert, bei dessen Überschreitung eine Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit zu erwarten ist. Eine Instandsetzung ist in kürzester möglicher Zeit durchzuführen. Weitere erforderliche Maßnahmen sind in den einzelnen Richtlinien beschrieben.
- SR_G ist der (Grenz-)Wert, bei dessen Überschreitung eine Sperrung des Oberbaus erforderlich ist. Eine Instandsetzung ist unmittelbar einzuleiten.

Tab. 5.4 Beispiel einer Industriebahn: Fristen zur Beseitigung von Mängeln der Fehlerklasse 1–4 in Abhängigkeit des Auftretens in den Anlagenklassen A–C

| Fehlerkategorie | Fehlerbeschreibung | Maßnahme | Anlagenklasse der Weiche [Monate] | | |
|-----------------|--|--|---|----|----|
| | | | A | B | C |
| SR_0 | Abnahmetoleranz | | | | |
| SR_A | 1 <i>Wirtschaftliche Eingriffsschwelle</i> | Kein direkter Handlungsbedarf | Instandsetzung wenn vom Prozess/AV sinnvoll | | |
| SR_{100} | 2 <i>Wirtschaftliche Toleranzgrenze</i> Zu beseitigende Mängel zur Verlängerung der wirtschaftlichen Nutzungsdauer | Instandsetzung bis zur nächsten Regelinspektion/Hauptprüfung | 6 | 12 | 24 |
| SR_{lim} | 3 <i>Sicherheitstoleranzgrenze</i> zu beseitigende Mängel zur Vermeidung von Betriebsgefahren und/oder wirtschaftlichen Schäden | Instandsetzung in kürzester möglicher Zeit, ggf. Einrichtung Langsamfahrstelle | 1 | 1 | 2 |
| SR_G | 4 <i>Grenzwert</i> Betriebsgefahr | Instandsetzung unmittelbar einleiten bzw. Sicherungsmaßnahmen oder Sperrung | Unmittelbar | | |

Bei den NE-Bahnen wurde in der Vergangenheit nur eine Toleranz verwendet, nämlich der Grenzwert SR_{lim} . Inzwischen findet aber auch hier durchaus die 4-stufige Toleranzbeurteilung analog zur DB Netz AG Anwendung, da sie Sicherheit für ein zielgerichtetes Vorgehen gibt. Etabliert hat sich auch für die visuelle Fehlerbeurteilung, ähnlich wie beim Schienenfehlerkatalog der DB Netz AG, eine Differenzierung nach Fehlerklassen 1 bis 4 [8], s. Tabelle 5.4. Bei den Messwerten werden die Ist-Daten allerdings nur mit SR_{lim} verglichen, da eine weitere Differenzierung auf Grund der individuellen betrieblichen Parameter schwierig ist. Konkret heißt das, dass die wirtschaftliche Eingriffsschwelle im Betrieb X nicht unbedingt identisch sein muss mit der im Betrieb Y.

5.9.4.4 Inspektionsfristen

Die Inspektionsfristen selbst sind abhängig von der maßgeblichen Vorschrift (öffentliche oder nichtöffentliche Bahn/bundeseigene oder nichtbundeseigene Bahn). Da die BOA/EBOA Landesverordnungen sind, ergibt sich, wie in Tab. 5.5 dargestellt, eine entsprechende Variantenvielfalt, wobei die BOA nur von drei Ländern herangezogen werden.

Während bei den Nichtbundeseigenen Eisenbahnen Fristen und Tätigkeiten durch die Landes-BOA bzw. durch den Eisenbahnbetriebsleiter festgelegt werden, regelt bei der DB Netz AG

die Richtlinie 821.2005 „Inspektion der Weichen, Kreuzungen, Schienenauszüge und Hemmschuhauswurfvorrichtungen“ (Stand 01.01.2012) Einheiten zur Inspektion dieser Fahrwegkomponenten.

Dabei ist die Regelinspektion unter Beachtung der jeweiligen Belastungsstufe und in Abhängigkeit der Ergebnisse der letzten Regelinspektion gemäß den in Tab. 5.1 der Richtlinie angegebenen Regelinspektionsabständen von den zuständigen Funktionsträgern durchzuführen.

Eine Verlängerung der Regelinspektionsfristen ist bei bestimmten Voraussetzungen bis auf die maximalen Abstände zulässig.

Bei den NE-Bahnen wird häufig zwischen Haupt- und Nebenprüfungen unterschieden. Dabei umfasst die Hauptprüfung die Messung der Weichengeometrie einschließlich einer visuellen Begutachtung sowie ggf. einer Funktionsprüfung. Diese Prüfung soll ein umfassendes Zustandsbild der Weiche liefern, deren Ergebnisse in die Instandsetzungsplanung einfließen.

Die Nebenprüfung verfolgt den Zweck der unterjährigen Überprüfung des ordnungsgemäßen Zustandes der Weiche und die Veranlassung der Beseitigung festgestellter (gravierender) Mängel. Messungen finden i. d. R. nicht statt. Mögliche Inspektionsfristen zeigt Tab. 5.6.

5.9.4.5 Gegenstand der Inspektion

Zur Erfassung und Beurteilung der Schnittstelle zum anschließenden Gleis umfasst der Regelin-

Tab. 5.5 Festlegungen zu Inspektionsfristen

| Eisenbahn | Vorschrift | Inhalt |
|---|-----------------------|---|
| Bundeseigen/öffentlicher Verkehr (DB Netz AG) | Ril 821.2005 | Regelinspektion unter Beachtung der jeweiligen Belastungsstufe und in Abhängigkeit der Ergebnisse der letzten Regelinspektion |
| Nichtbundeseigen/öffentlicher Verkehr | EBO Obri – NE | EBO (§ 17) Die Bahnanlagen sind planmäßig auf ihre ordnungsgemäße Beschaffenheit zu untersuchen. Art, Umfang und Häufigkeit der Untersuchung haben sich nach Zustand und Belastung der Bahnanlagen sowie nach der zugelassenen Geschwindigkeit zu richten |
| Nicht öffentlicher Verkehr | BOA/EBOA Obri – NE | BOA Brandenburg (§ 26) Alle bautechnischen Anlagen sind <i>jährlich mindestens einmal</i> zu prüfen. Art und Umfang der Prüfungen sowie der Nachweis sind in der Anweisung Nr. 2 zur BOA Oberbau festgelegt BOA Rheinland Pfalz (§ 26) Die Bahn muss ihre Anlagen mindestens <i>einmal monatlich</i> auf ihren ordnungsmäßigen Zustand untersuchen BOA Nordrhein-Westfalen (§ 24) Die Bahn muss von einem sachkundigen Bediensteten oder einem sonstigen Sachverständigen <i>regelmäßig</i> auf ihren ordnungsgemäßen Zustand untersucht werden. Soweit Fristen nicht vorgeschrieben sind, legt sie der Anschlussinhaber fest (§ 23). Über die Untersuchungen sind Aufzeichnungen zu führen |

Tab. 5.6 Staffelung von Inspektionsfristen in Abhängigkeit von der Anlagenklasse (Prinzip)

| Anlagenklasse | Hauptprüfung(en) [Anzahl p. a.] | Nebenprüfung(en) [Anzahl p. a.] |
|---------------|------------------------------------|------------------------------------|
| A | 1 | 3 |
| B | 1 | 1 |
| C | 0,5 | 1 |

spektionsbereich die Weiche selbst einschließlich 9 m Länge der anschließenden Gleise (siehe Abb. 5.75). Die Regelinspektion beinhaltet die Messung und Auswertung:

- der Spurführungsmaße (Spur-, Leit- und Rillenweiten),
- der gegenseitigen Höhenlage,
- der Zungenprüfung (nur bei DB Netz AG),
- des materiellen und geometrischen Zustandes (augenscheinliche Beurteilung) gemäß Checkliste.

Die Messwerte in der Inspektion sind am Beispiel einer 190-er Weiche in Tab. 5.7 dargestellt:

5.9.4.6 Beurteilungsmaßstäbe

Die Beurteilungsmaßstäbe sind in den schon erwähnten Vorschriften Ril. 821.2005 und Obri – NE dargelegt.

Beispielhaft sind in Tab. 5.8 für die gebräuchlichsten Weichenkomponenten die Beurteilungs-

maßstäbe SR_{100} und SR_{lim} nach der Ril. 821.2005 in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit dargestellt.

Eine Auswertung, wie sie heute im Bereich der NE-Bahnen Stand der Technik ist, zeigt Abb. 5.81.

5.9.5 Wartung

Die Wartung beinhaltet Maßnahmen zur Bewahrung des Sollzustandes mit dem Ziel, die Abnutzungserscheinungen zu reduzieren und die Lebensdauer zu verlängern. Typische Tätigkeiten sind das Reinigen und – falls noch erforderlich – Schmieren von Weichen. Der Ausrüstungsstandard der Weichen sieht heute i. d. R. wartungsarme Komponenten vor, z. B. Zungenroller.

In der Praxis sind häufig Wartungsarbeiten auch mit kleineren Instandsetzungsarbeiten wie dem Nachziehen von Befestigungen, der Beseitigung von Schwergang oder auch dem Austausch von Kleinstkomponenten verbunden.

5.9.6 Instandsetzung

Unter dem Begriff Instandsetzung werden alle Maßnahmen zur Wiederherstellung des Sollzustandes zusammengefasst. Standard ist heute

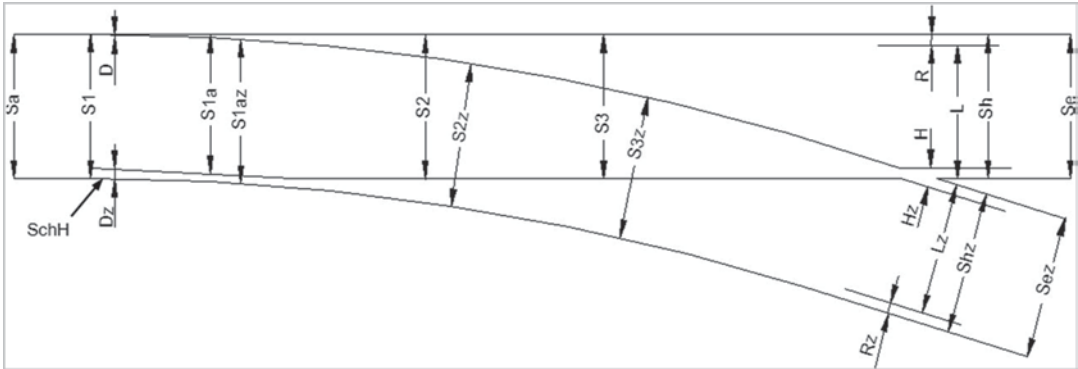


Abb. 5.80 Messwerte im Bereich einer einfachen Weiche (wie heute auch im Bereich der NE-Bahnen Standard)

Tab. 5.7 Inspektions-Messwerte einer 190-er Weiche

| Messpunkt | Beschreibung | NE – Bahnen (Obri – NE) | | DB Netz AG Ril. 821.2005 |
|-----------|--|-------------------------|----------------------|-----------------------------|
| | | Minimum gem. Obri NE | Stand der Technik | |
| sa | Spurweite Weichenanfang | X | X | X |
| s1 | Spurweite Zungenspitze | X | X | X |
| SchH | Schienenhöhe Backenschiene | | X | |
| s1a | Spurweite Ende Zungenanschlagbereich | | X | X |
| s1az | Spurweite Ende Zungenanschlagbereich | | X | X |
| s2 | Spurweite Ende Zungenvorrichtung | | X | X |
| s2z | Spurweite Ende Zungenvorrichtung | | X | X |
| s3 | Spurweite zwischen Zungenvorrichtung u. Herzstück | X | X | X |
| s3z | Spurweite zwischen Zungenvorrichtung u. Herzstück | X | X | X |
| s4 | Spurweite zwischen Zungenvorrichtung u. Herzstück | | X | X |
| s4z | Spurweite zwischen Zungenvorrichtung u. Herzstück | | X | X |
| sh | Spurweite Herzstück (150 mm hinter Spitze gem.) | X | X | X |
| h | Rillenweite Herzstückrille | X | X | X |
| l | Leitweite (außerhalb des Einlaufbereichs d. Radlenkers) | X | X | X |
| R | Rillenweite Radlenker | X | X | X |
| Üsh | Überhöhung (ggs. Höhenlage) Herzstück am Pkt. sh | | X | X |
| shz | Spurweite Herzstück (150 mm hinter Spitze gem.) | X | X | X |
| hz | Rillenweite Herzstückrille | X | X | X |
| lz | Leitweite (außerhalb des Einlaufbereichs d. Radlenkers) | X | X | X |
| Rz | Rillenweite Radlenker | X | X | X |
| Üshz | Überhöhung (ggs. Höhenlage) Herzstück am Pkt. shz | | X | X |
| se | Spurweite Weichenende | | X | X |
| sez | Spurweite Weichenende | | X | X |
| | Spurweitenunterschiede benachbarter Messpunkte (3 Sch) | | | X |
| | Spurweite (alle 3 Schwellen) 9 m vor und hinter der Weiche | | | X |
| | Rillentiefe Herzstück | | | X |
| | Leitflächenabstand | | | X |
| | Verwindung (Messbasis 3,6 m=6 Schwellen) | | | X |
| | Zungenprüfung (Lehre 1 und Lehre 2) | | | X |


Tab. 5.8 SR₁₀₀- und SR_{lim}-Werte von Weichen

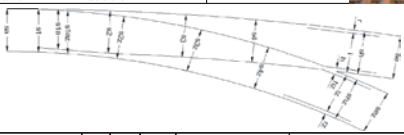
| Zul. Geschwindigkeit [km/h] | ZV [mm] | EH [mm] | EH-fb [mm] | DH starr mit Neigung [mm] | | Spurweiten- unterschied s - s _{n+1} [mm] | |
|-----------------------------|------------------------|------------|---------------|------------------------------|-----|---|---|
| | | | | Steiler 1:9 | 1:9 | | |
| v ≤ 40 | SR ₁₀₀ [mm] | +12 | +6 | +10 | +4 | +4 | 6 |
| | SR _{lim} [mm] | +17 | +8 | +15 | +6 | +5 | 7 |
| 40 < v ≤ 160 | SR ₁₀₀ [mm] | +10 | +6 | +10 | +4 | +4 | 5 |
| | SR _{lim} [mm] | +15 | +8 | +15 | +6 | +5 | 6 |
| v > 160 | SR ₁₀₀ [mm] | +10 | +6 | +8 | | | 4 |
| | SR _{lim} [mm] | +13 | +8 | +13 | | | 5 |

Legende:

ZV Zungenvorrichtung, EH einfaches Herzstück, fb federnd-beweglich, DH Doppelherzstück
 „+ Werte“ Abweichung vom Sollmaß

Weicheninspektion

| | | | |
|---|--|---|--|
| Kunde: Muster Weiche Nr.: 8 IBW S49-100/85-Fsch (H) rechts Ortlichkeit: Weik Inspektion vom: 25/07/2013 | Antragsklasse: A Weichenart: Hauptschaltung Schienenmaßzahl: 2012 Schwelldesign: 2004 Radlenker: R1 40 / Schienenradlenker Verschlusstyp: Vk 0149 |  | |
|---|--|---|--|



| Zustand | Funktion | Vorhanden | LD | SLD | Maßzahl | Ursache | Beschreibung des Mangels | Zustand |
|---------------------|----------|-----------|----|-----|--------------------------|----------------------|-------------------------------------|---------|
| Spurweiten | | x | 1 | | s1a, s1az, s2z, s3z, shz | Spurverengung | Spurverengung | 3 |
| Rillweiten | x | 2 | | | se | Spurverweiterung | Spurverweiterung | 2 |
| Leitweiten | x | 3 | | | lz | Leitweitenverengung | Leitweitenverengung | 2 |
| ggs.Höhenlage | x | 4 | | | jshz | Herzstück eingesenkt | Herzstück eingesenkt | 3 |
| Längshöhe | x | | | | | | | |
| Richtung | x | 5 | | | | Zungenvorrichtung | Richtungsfehler | 3 |
| Bettung | x | 6 | | | | Verschlussfach | Bettung verschmutzt | 3 |
| Schienen | x | 7 | | | | Abzweig links | Seitenverschleiß > 4-8 mm 8 m | 4 |
| | | 8 | | | | Zunge rechts | Grabbildung Zungenrücken 4-5 mm 5 m | 3 |
| | | 9 | | | | Gerade links | Seitenverschleiß > 4-8 mm 8 m | 4 |
| Herzstück | x | | | | | | | |
| Radlenker | x | | | | | | | |
| Schwellen | x | | | | | | | |
| Gleisstütze-platten | x | 10 | | | | Zungenvorrichtung | Gleisstütze-platte(n) verunreinigt | 3 |
| Stützlaggen-winkel | x | | | | | | | |
| Spannbügel | x | | | | | | | |
| Rippenplatten | x | | | | | | | |
| Weichenschrauben | x | | | | | | | |
| Schwellenschrauben | x | 11 | | | | Zungenvorrichtung | Schwellenschraube(n) lose 10 Stück | 4 |
| Hakenschauben | x | | | | | | | |
| Klemmplatten | x | | | | | | | |
| Federringe | x | | | | | | | |
| Zwischenlagen | x | | | | | | | |
| Schweißstöße | x | | | | | | | |
| Verschluss | x | 12 | | | | links / rechts | Verschluss verschmutzt | 2 |
| | | 13 | | | | Bockstange | Bolzen ausgeschlagen | 2 |
| | | 14 | | | | links | Sicherungsteile fehlen 1 Stück | 2 |
| | | 15 | | | | links / rechts | Sicherungsteile fehlen | 2 |
| | | 16 | | | | links | Schutzhaube(n) fehlt (Sh) | 3 |
| Zungenanlage | x | 17 | | | | links | Zungenspitze klappt > 3 mm 4 mm | 1 |

| Zustand | Funktion | Vorhanden | LD | SLD | Maßzahl | Lage | Beschreibung des Mangels | Fehlerklasse |
|---------------------|----------|-----------|----|-----|---------|------|--------------------------|--------------|
| Weichengrenzzeichen | | x | | | | | | |

Instandsetzungshinweise:

| zum o.g. Mangel Nr. | Instandsetzungsempfehlung | Erfolgt |
|---------------------|--|---------|
| 1 | Spurkorrektur durch Versetzen der Rippenplatten | |
| 2 | Spurkorrektur durch Versetzen der Rippenplatten | |
| 3 | wird durch die empfohlene Spurkorrektur korrigiert | |
| 4 | Höhenfehler durch Einbau von Zw 80 beheben | |
| 5 | wird durch die empfohlene Spurkorrektur korrigiert | |
| 6 | Bettung reinigen | |
| 7 | zur Zeit kein Handlungsbedarf (sollte jedoch beobachtet werden) | |
| 8 | Schienenquersprofil schließtechnisch instandsetzen (entgraten u. reprofiliere) | |
| 9 | zur Zeit kein Handlungsbedarf (sollte jedoch beobachtet werden) | |
| 10 | Gleisstütze-platten reinigen | |
| 11 | Schwellenschraube(n) befestigen | |
| 12 | Verschluss reinigen | |
| 13 | Bolzen erneuern | |
| 14 | Splinte DIN 94 5x210mm liefern u. einbauen | |
| 15 | Sicherungsteile erneuern | |
| 16 | Schutzhaube(n) erneuern (Sh) | |
| 17 | Klammerspitzenverschluss überarbeiten | |

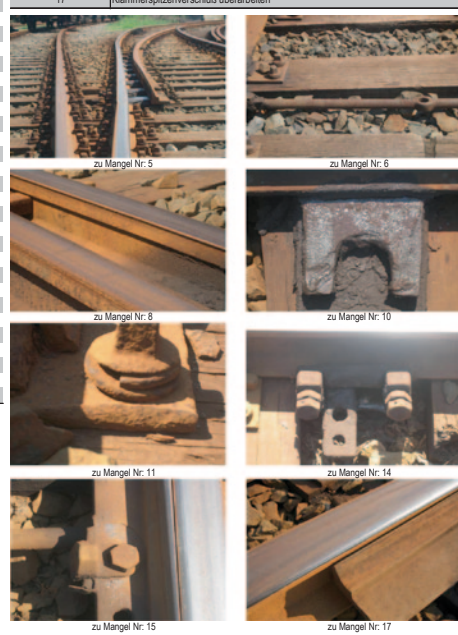


Abb. 5.81 Auswertung einer Weicheninspektion

eine zustandsabhängige Instandsetzung nach Befund (Inspektion).

Instandsetzungsleistungen können wie folgt differenziert werden:

- Sofortinstandsetzung bei Erreichen der „Sicherheitstoleranzgrenze“ SR_{lim} von Mängeln zur Vermeidung von Betriebsgefahren, der Verfügbarkeit und/oder von wirtschaftlichen Schäden,
- Planbare (terminierbare) Instandsetzung bei Erreichen der „Wirtschaftlichen Eingriffsschwelle“ SR_A bzw. der „Wirtschaftlichen Toleranzgrenze“ SR_{100} zur Verlängerung der wirtschaftlichen Nutzungsdauer,
- Präventive Instandsetzung sozusagen als vorbeugende Herstellung des Sollzustandes zur Verlängerung der Lebensdauer sowie zur Erhöhung der Verfügbarkeit. Klassisches Beispiel ist das präventive Schienenschleifen,
- Entstörung (als Sonderfall) zur Sicherstellung des Betriebes bzw. der Betriebssicherheit. Die Entstörung beinhaltet eine sehr kurzfristig erforderliche Instandsetzung oder – sollte das nicht möglich sein – die Schaffung von sicheren Provisorien und/oder die Festlegung betrieblich notwendiger Maßnahmen (z. B. Einrichtung einer Langsamfahrstelle).

5.10 Weichendiagnose

5.10.1 Allgemeines

Verfügbarkeit der Anlagen ist heute eine zentrale Forderung des Betriebes und gerade Störungen an der „sensiblen“ Weiche verursachen zeitraubende und kostspielige Betriebsbehinderungen. Auch stehen zur Instandhaltung der eisenbahntechnischen Infrastruktur immer kleinere Zeitfenster und geringere Budgets zur Verfügung.

Die Diagnose ortsfester Anlagen ermöglicht die Fernüberwachung von eisenbahntechnisch relevanter Infrastruktur. Dies erfolgt durch die Verwendung intelligenter Software, die durch Gegenüberstellung von Referenz- und Istwerten entstehende Fehler erkennen kann, noch bevor eine Störung an der Anlage auftritt (siehe auch Kapitel 22). Entsprechend dieser Werte werden

im Anlassfall Instandsetzungsmeldungen automatisch generiert und den zuständigen Stellen mittels modernster Kommunikationstechnologien übermittelt. Mittels Weichendiagnose können Ausfälle durch effektive und zielgerichtete Instandhaltungsmaßnahmen präventiv vermieden werden.

5.10.2 Anwendungsbereich und Systemvarianten

Diagnosesysteme dienen als Frühwarn- und Kontrollsysteme und überwachen relevante Zustandsdaten der Weiche in unterschiedlicher Tiefe je nach System. So kann z. B. die bloße Aufnahme des notwendigen Stellstromes eines Weichenantriebes im Stellwerk und die entsprechende Auswertung der gesammelten Daten erfolgen. Trotz des geringen Aufwands kann mit dieser Variante eine Vielzahl an Informationen über den Zustand der Weiche generiert werden und somit ein vollwertiges Diagnosesystem zur Verfügung gestellt werden.

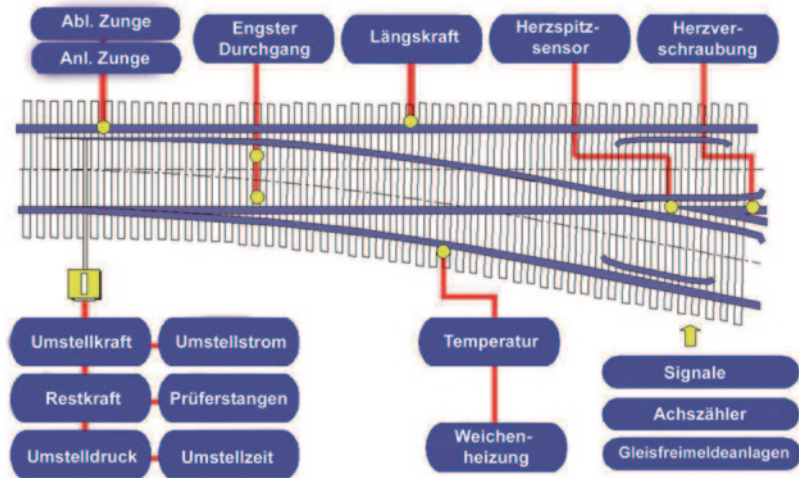
Die Installation von Sensorik an den zu überwachenden Anlagen stellt die nächste Stufe der Datensammlung dar. Dabei werden kritische Bauteile wie z. B. die Anlage der geschlossenen Weichenzunge an der Backenschiene, die aktuell vorherrschende Stellkraft des Weichenantriebes oder auch thermisch bedingte Längenänderungen an wichtigen Komponenten überwacht und permanent ausgewertet. In Abb. 5.82 sind alle möglichen Überwachungspunkte im Bereich des Weichenantriebes, im Zungenbereich und im Herzstückbereich schematisch dargestellt.

Bei einigen Systemen besteht heute in der größten Ausbaustufe sogar die Möglichkeit, mehrere unterschiedliche Anlagen wie Weichen, Signale oder Bahnübergänge kombiniert in ein Diagnosesystem zu integrieren.

5.10.3 Allgemeine Funktionsbeschreibung

Die Datenkommunikation zwischen der Erfassungselektronik und der Zentrale/Visualisierung

Abb. 5.82 Mögliche Messpunkte eines Weichendiagnosesystems in der Weiche



erfolgt über Kommunikationsmodule, welche die Anpassung an verschiedene Übertragungssysteme ermöglichen.

Die Zentrale selbst sollte aus einem Serversystem mit entsprechender Konfiguration zur Integration in die Netzumgebung der jeweiligen Bahnverwaltung bestehen.

Die Nutzung des Visualisierers durch das bedienende Personal erfolgt mittels benutzerfreundlicher, einfach zu bedienender Dialoge über die Tastatur und über die Maus.

Die Bedieneroberfläche ist eine über verschiedene Endgeräte zugängliche Schnittstelle zum Weichendiagnosesystem zur Visualisierung von aktuellen Zuständen der Weichen. Sie ermöglicht Installation und Kalibrierung sowie die Vorab-Fehlersuche mit entsprechender Diagnose, ohne direkt am Einbauort sein zu müssen.

Trendanalysen mit frei definierbaren Zeitfenstern sind ebenso Standard wie die Darstellung von Historien.

5.10.4 Nutzen

Durch die Verwendung von Diagnosesystemen wird eine erhebliche Prozessoptimierung erreicht, welche es ermöglicht, die Instandhaltungstätigkeiten zielgerichtet und damit kostengünstig zu planen und durchzuführen. Ein Diagnosesystem gibt dem Betreiber die Möglichkeit, sein Personal bedarfsorientiert und zielgerichtet einzusetzen und zwar „aktiv“, wenn sich eine Störung an-

bahnt, und „passiv“, wenn das Diagnosesystem die korrekte Funktion aller kritischen in einer Weiche eingesetzten Bauteile anzeigt und somit unnötige Tätigkeiten vermieden werden, die aufgrund eines zeitorientierten Wartungskonzeptes schon durchzuführen wären.

Die Verfügbarkeit der Weichen und damit des Fahrweges werden durch die Früherkennung von möglichen Störungen und deren Behebung deutlich erhöht. Dies betrifft Störungen an:

- den sensiblen oberbautechnischen Weichenkomponenten (Zungen und Verschluss),
- den sicherungstechnischen Komponenten (Weichenantrieb),
- der elektrischen Versorgung des Antriebs,
- der Weichenheizung.

5.11 Schnittstellen

Weichen stellen die komplexesten Bauteile im Fahrweg der Eisenbahn dar. Als Voraussetzung für einen sicheren Betrieb sind die Weichen in fast alle Teilsysteme der Eisenbahn zu integrieren oder bei deren Planung zu berücksichtigen. Im Folgenden werden die wesentlichsten Schnittstellen zu den Teilsystemen angesprochen.

5.11.1 Betriebliche Schnittstellen

Weichen sind die Grundlage für die Gestaltung der Bahnnetze. Ihre Anordnung und ihre Dimen-

sionierung sind das Ergebnis der betrieblichen Infrastrukturplanung (siehe Kapitel 9). Dies gilt insbesondere für ihre Zahl, Lage im Netz und Abzweiggeschwindigkeit. Aufgrund der eingangs erwähnten Einflüsse auf die Verfügbarkeit und den Instandhaltungsaufwand ist ein strenger Maßstab anzulegen, insbesondere in schnell und/oder durch schwere Züge befahrenen Gleisen.

5.11.2 Bautechnische Schnittstellen

Weichen sind in den Fahrweg zu integrieren. Trotz der Bemühungen, die Beeinflussungen des Fahrzeuglaufes in den Weichen möglichst der Qualität in den Gleisen anzunähern, gelingt das wegen der konstruktiven Besonderheiten nur bedingt. Deshalb sind Anpassungen an der Infrastruktur erforderlich.

Der abzweigende Strang einer Weiche beeinflusst immer die Gestaltung des Planums. Unter den durchgehenden Hauptgleisen gibt es i. d. R. ein Dachprofil im Planum, das den Abfluss des Oberflächenwassers in die feldseitig der Strecke angeordneten Entwässerungseinrichtungen ermöglicht. Bei größeren Gleisabständen und bei Anordnung von Überleitverbindungen zwischen den beiden Hauptgleisen entsteht durch das im Querschnitt ansteigende Planum unter der Streckenachse eine zu geringe Bettungsdicke unter dem Verbindungsgleis. Hier ist die Anpassung der Planumsquerneigung in der Form notwendig, dass hier zwischen den beiden Gleisachsen eine abgeflachte Neigung angeordnet und hergestellt wird.

Bei Abzweigungen der Weichen zur Feldseite hin wird das Zweiggleis über die feldseitig angeordneten Entwässerungseinrichtungen hinweggeführt. Auch hier sind entsprechende Anpassungen der Entwässerungseinrichtungen, z. B. die Anordnung einer Tiefendrainage unter dem abzweigenden Strang, erforderlich. Kabelkanäle sind entsprechen umzulegen oder die Kabel sind in Leerrohren unter den Abzweigen hindurchzuführen.

Bei Weichen mit Betonschwellen sind die Bauhöhen größer als die der anschließenden Gleise. Noch größere Höhenunterschiede können sich bei der Verwendung elastischer Stützpunkte

ergeben. Um dennoch eine möglichst homogene Auflagerung im Schotterbett zu erzielen, ist die Planumsoberkante im Weichenbereich gegenüber dem anschließenden Gleisbereich abzusenken. Hierzu sind entsprechende planerische und bautechnische Voraussetzungen zu erfüllen.

Die Bearbeitung von Weichen im Schotterbett erfordert schließlich für die Instandhaltung besondere Maschinen. Bei der Instandhaltung von Überleitverbindungen sind immer beide Weichen einer Verbindung zu berücksichtigen und bei der Planung der Sperrpausen zu beachten. Dies gilt insbesondere dann, wenn unter beiden Gleisen durchgehende Schwellen eingesetzt sind.

Bei der Reinigung der Schotterbettung können gängige Bettungsreinigungsmaschinen nicht eingesetzt werden.

Letztendlich müssen die Antriebe der Weiche und die zugehörigen Stellgestänge, die auf den Schwellen befestigt sind, ausreichend unterstützt werden, um unzulässige Schwingungen bei der Zugüberfahrt mit Auswirkungen auf die Stabilität der Weichenlage zu vermeiden. Dafür werden häufig senkrechte Schotterhaltewände auf der Feldseite eingebaut, die die geneigte Schotterflanke ersetzen. Diese Wände bestehen i. d. R. aus senkrecht eingeramnten Stahlträgern und dazwischen gesetzten Betonfertigteilen. Die Betonfertigteile sitzen auf der Planumsoberkante auf, was den Abfluss des Oberflächenwassers behindern kann und dann zu erheblichen Schäden an der Bettung führt. Deshalb ist beim Bau solcher Wände besonders sorgfältig darauf zu achten, dass der Wasserabfluss möglich ist. Antriebssysteme, die solche bautechnischen Hilfskonstruktionen nicht brauchen, bieten hier also zusätzliche Vorteile.

Im Bereich der Verschlüsse sind die Schwellenfächer von Schotter freizuhalten, was die Homogenität des Stopfvorganges und damit die Homogenität der Bettungsverhältnisse beeinträchtigt. Verschlusschwellen, die hohl sind, so dass die Verschlüsse in die Schwellen eingebaut werden können, bieten hier deutliche Verbesserungen (siehe Abschn. 5.6).

Hydraulische Antriebe mit entsprechenden hydraulischen Stellsystemen ermöglichen deutlich geringere Eingriffe in den bautechnischen

Raum. Auch erfordern sie z. B. nicht die zuvor genannten Schotterhaltewände mit den skizzierten Problemen für die Ableitung des Oberflächenwassers.

Für das Instandhaltungspersonal der Weichen sind außerdem bautechnische Vorkehrungen zu treffen, z. B. Treppen an Dämmen oder in Einschnitten sowie Türen in Schallschutzwänden.

5.11.2.1 Sicherungstechnische Schnittstellen

Weichen sind mit Antrieben, Verschlüssen und Endlageprüfern auszurüsten. Die meisten Weichen sind mit Signalabhängigkeit zu versehen. Daraus folgt zwangsläufig die Integration in das sicherungstechnische System inklusive der Gleisfreimeldung durch entsprechende Einrichtungen, z. B. Isolierstöße, Tonfrequenzgleisstromkreise oder Achszähler (siehe Kapitel 10).

All diese signaltechnischen Einrichtungen benötigen entsprechende Schaltelemente in der Nähe der Weiche, die bei der Planung der Infrastruktur und der Lage von Kabeltrassen sowie der Entwässerungseinrichtungen berücksichtigt werden müssen.

5.11.3 Energieversorgung

Üblich sind heute elektrische oder hydraulische Weichenantriebe, die mit entsprechender elektrischer Energieversorgung auszurüsten sind. Erforderlich sind hierzu entsprechende Kabeltrassen und Anschlüsse an die Energieversorgung.

Neben der Energieversorgung der Antriebstechnik sind die Weichenheizungen mit Energie zu versorgen. Auch hier sind elektrische Heizungen heute die Regel. Neuere Entwicklungen nutzen Erdwärme zur Heizung der beweglichen Weichenteile, was eine umwelttechnische Verbesserung darstellt.

5.11.4 Fahrleitungstechnische Schnittstellen

Weichen auf elektrifizierten Strecken müssen bei der Planung des Kettenwerkes berücksichtigt

werden. Bei der Planung von Fahrleitungsmasten ist wiederum darauf zu achten, dass ihre Standorte die Instandhaltung oder Erneuerung der Weichen nicht behindern.

Zur Überspannung der Zweig- oder Verbindungsgleise sind zusätzliche Maststandorte zu berücksichtigen. Deshalb ist die Lage von Weichen im Planungsstadium mit dem Fahrleitungsdienst abzustimmen.

5.12 Ausblick und Entwicklungstendenzen

Die heutige Weichentechnik beruht auf Grundsätzen des letzten Jahrhunderts. Die Technik kann aufgrund des langen Erfahrungs- und Entwicklungsweges als sehr fortgeschritten bezeichnet werden. Folglich ist es derzeit kaum vorstellbar, entscheidende weitere Fortschritte für die technische Gesamtheit der Weiche zu entwickeln. Trotz dieser Feststellung darf man sich nicht zurücklehnen. Der hohe Anteil der Weichen am Störpotenzial und an den Instandhaltungskosten und auch immer mehr die Forderungen nach Reduktion der Schall- und Erschütterungsemission zwingen vielmehr, intensiv nach weiteren Verbesserungen zu suchen, hauptsächlich in folgendem Punkt:

Bewegliche Bauteile, aber auch die starren Herzstücke und die Flügelschienen erfahren naturgemäß sehr starken Verschleiß, was zu entsprechend hohen Instandhaltungskosten führt. Die Betreiber, aber auch Entwickler und Hersteller von Weichen sind intensiv bemüht, gerade hier Verbesserungen der Standfestigkeit zu erzielen. Hierzu gibt es drei wesentliche Ansätze:

5.12.1 Materialverbesserungen

Auf diesem Gebiet hat sich in den letzten Jahren sehr viel getan, und bainitische Herzstücke mit bainitischen Flügelschienen sind für höher belastete Weichen inzwischen Standard bei der DB. Im Interesse einer verbesserten Wirtschaftlichkeit ist hier noch Arbeit zu leisten, um auf der einen Seite die Fertigungskosten zu reduzieren und auf der anderen Seite auch den optimalen

Einsatz zu definieren. So ist nicht in allen Fällen bainitisches Material für die Flügelschienen notwendig, und es sind hier Optimierungen denkbar. Für bewegliche Bauteile ebenso wie für die gesamte Fahrbahn der Hochlastweichen sind bei der DB feinperlitisches Kohlenstoffstähle üblich geworden.

Weiterhin sollten für starre Herzstücke neben dem Einsatz von Bainitstählen die Manganstahlgussherzstücke nicht aus dem Auge verloren werden. Diese sind bei vielen Bahnen weltweit Standard. Wegen der Problematik der Ultraschallprüfung bei Manganstahl gibt es Anstrengungen, geeignete und zuverlässige Prüfverfahren zur Detektion innerer Materialfehler zu entwickeln.

5.12.2 Verbesserungen der Überlaufgeometrie

Verbesserte oder optimierte Überlaufgeometrien können zur Reduktion der Beanspruchungen und damit des Verschleißes beitragen. Wegen der großen Vielfalt der überrollenden Radprofile mit all ihren Verschleißzuständen gestaltet sich diese zunächst einfach anmutende Aufgabe als sehr schwierig.

5.12.3 Verbesserungen der Stützpunktelastizität

Besonders beim Überlauf von der Flügelschiene zur Herzstückspitze und umgekehrt entstehen sehr hohe und quasi schlagartige Belastungen der betroffenen Bereiche dieser Bauteile. Elastische Stützpunkte tragen zu längerwelligen Einsenkungen und damit zu deutlich reduzierten Kontaktkräften bei. Dieser Grundsatz sollte auch im Bereich starrer Herzstücke Anwendung finden. Wegen der im Herzstückbereich wechselnden Widerstandsmomente sind individuell angepasste Stützpunktsteifigkeiten und entsprechende Stützpunkte zu entwickeln. Die Ansprüche an die einzusetzenden elastischen Materialien sind dabei sehr hoch, auch wegen der möglichen dynamischen Versteifung bei hochfrequent auftretenden Belastungen.

Weiterhin besteht auf den folgenden Gebieten Potenzial für Fortschritte.

5.12.4 Schall- und Erschütterung

In den letzten Jahren werden die Forderungen nach Reduktion der Schall- und Erschütterungsemissionen aus dem Eisenbahnverkehr lauter. Die Weichen stellen hier sicherlich ein Potenzial zur Verbesserung dar. Es sind also die Punkte in den Weichen zu identifizieren, die über das gewöhnliche Gleis hinausgehende Emissionsquellen darstellen. Darauf aufbauend ergeben sich dann technische Forderungen zu deren Bekämpfung. Wirtschaftliche Grundsätze verlangen hier kreative Lösungsansätze.

5.12.5 Verschlussstechnik

Die heute üblichen Verschlussbauarten sind weitgehend mechanische Techniken. Außerdem befinden sich bei der DB recht viele unterschiedliche Lösungen im Einsatz. Je vielfältiger die Lösungsvarianten sind, um so vielfältiger sind auch die Anforderungen an das Instandhaltungsregime: Die Personale müssen für alle Techniken geschult sein, es müssen für alle Komponenten Werkzeuge und Ersatzteile vorgehalten werden und die jeweiligen Instandhaltungsprozesse sind zu definieren und fortzuschreiben.

Eine Vereinfachung ist hier ein Ziel, das wirtschaftliche Verbesserungen und auch Verbesserungen der Verfügbarkeit verspricht. Die mechanischen Techniken besitzen viele Kontaktpunkte und gegeneinander bewegliche Bauteile und Gelenke, die Schmierungen oder schmierungsarme Lagerungen verlangen. Außerdem lassen sich diese Schnittstellen innerhalb der Antriebstechnik nur schwer durch Diagnosesysteme automatisch und über große Entfernungen überwachen. Alternative hydraulische Systeme sowohl für die Verschluss- als auch die Antriebstechnik beinhalten gerade hier große Potenziale.

Auch weil es in der Zukunft immer schwieriger sein dürfte, geeignete Instandhaltungspersonale in ausreichender Zahl zu finden, ist die Suche nach wartungs- und instandhaltungsärmeren Verschlussstechniken eine wesentliche Zukunftsaufgabe.

5.12.6 Ferndiagnose und Überwachungssysteme

Die heute möglichen Techniken für die Ferndiagnose und Fernüberwachung von technischen Anlagen sind in der Weichentechnik bisher nur in ihren Basisfunktionen zu finden.

Hier besteht ein erhebliches Feld, sinnvolle Überwachungs- und Diagnosetechniken kombiniert mit modernen Übertragungstechniken zu entwickeln und diese gemeinsam mit den zu überwachenden Komponenten und Teilsystemen weiter zu optimieren. Dies könnte einen wesentlichen Beitrag zur besseren Ausschöpfung des verfügbaren Instandhaltungsvorrats leisten.

Schließlich sind auch die Zusammenhänge zwischen definierten Instandhaltungszuständen und ihren Wirkungen auf Fahrzeuge und Fahrzeugkomponenten intensiver zu untersuchen mit dem Ziel, weitere Verbesserungen der Instandhaltung zu finden.

Literatur

1. DB Netz AG: Richtlinie 800.0120 „Auswahl der Weichen, Kreuzungen und Hemmschuhauswurfvorrichtungen“
2. Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung vom 8. Mai 1967 (BGBl. 1967 II S 1563), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 25. Juli 2012 (BGBl. I S 1703) geändert worden ist
3. <http://www.voestalpine.com/bwg/de/produkte/hydraulics/antriebe/hydrostar> (Zugriff am 18.10.2013)
4. DB Netz AG: Richtlinie 800.0110 „Linienführung“
5. DB Netz AG: Richtlinie 820.2010 „Ausrüstungsstandard Schotteroberbau für Gleise und Weichen“
6. DB Netz AG: Richtlinie 819 „LST-Anlagen planen“
7. Lücking, Siefer (2006) Systemanalyse von Weichenumbaumaschinen. Eisenbahningenieur (57)6:36–43
8. Koch, Marx (2009) Infrastrukturdatenmanagement für Verkehrsunternehmen, Forschungsvorhaben Stufe 3: Innovatives Instandhaltungsmanagement mit IDMVU, Teil 2 v. 31.08.2009, S 38 ff
9. DB Netz AG (2002) Technische Mitteilung zum oberbautechnischen Regelwerk, lfd.Nr. RO-03/2002: Anforderungskatalog zum Bau der Festen Fahrbahn, 4 Aufl. Stand 01. August 2002
10. Allgemeines Eisenbahngesetz vom 27. Dezember 1993 (BGBl. I S 2378, 2396; 1994 I S 2439), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 12. September 2012 (BGBl. I S. 1884) geändert worden ist
11. Oberbau – Richtlinien für nichtbundeseigene Eisenbahnen (Obr-NE), Ausgabe 1984, herausgegeben vom Bundesverband Deutscher Eisenbahnen (BDE), Köln
12. Eisenbahnbetriebsleiterverordnung (EBV) vom Juli 2000, zuletzt geändert am 05.07.2007
13. Hempe (2011) Schieneninstandhaltung bei der DB Netz AG, Vortrag Branchendialog Gleisbau. Darmstadt 07.06.2011

Anton Schmitt und Eberhard Jänsch

6.1 Fahrzeugbegrenzung und Lichtraumprofil

6.1.1 Einführung

Alle Eisenbahnfahrzeuge benötigen einen von festen Gegenständen freigehaltenen lichten Raum, der größer ist als die tatsächlichen, dem Fahrzeug entsprechenden Abmessungen. So ergeben sich schon beim Stand in einem Gleisbogen Überhänge nach bogeninnen und bogenaußen durch die Sehnenstellung des Fahrzeuges im Bogen, durch Quer- und Wiegenspiele zwischen Wagenkasten und Radsatz oder Drehgestell und durch die sog. Spurspiele; diese Wirkungen werden unter dem Begriff „Ausladungen“ zusammengefasst.

Da die Gleislage nie der idealen Geometrie entspricht, sondern stets mehr oder weniger große Unregelmäßigkeiten aufweist, ergeben

sich bei einem fahrenden Eisenbahnfahrzeug kinematische Bewegungen:

- seitlich quer sowie nach oben und unten;
- Drehungen des Fahrzeugprofils aus Querhöhenfehlern des Gleises und
- Drehbewegungen aufgrund der Federelastizität zwischen Fahrzeugkasten und Radsatz; letztere bezeichnet man als das Wanken.
- Hinzu kommen Schwingungen des bewegten Wagenkastens, also dynamische Wirkungen.

Alle zusammen vergrößern den Raumbedarf eines bewegten Fahrzeugs.

Die ortsfesten Anlagen (Oberbau und Schienen, Einrichtungen in Gleisnähe, Bahnsteige und andere gleisnahe Gegenstände) weisen in der Realität Toleranzen in ihrer Lage zur theoretischen Gleisachse (Soll-Lage) auf. Diese Abstandsmaße verändern sich außerdem durch die nicht vermeidbaren Abnutzungserscheinungen während des laufenden Betriebes.

Voraussetzung für die Querschnittsgestaltung der Bahnanlagen ist somit die Kenntnis des Raumbedarfs der Fahrzeuge, die sich auf einem Gleis bewegen, des sog. kinematischen Raumbedarfs, und der Toleranzen, die je nach Bauweise und vorgesehendem Abnutzungsvorrat vorzusehen sind. Der Mindestlichtraum setzt sich somit aus fahrzeugspezifischen und bautechnischen Anteilen zusammen, die teils berechenbar sind, teils dem Zufall unterliegen und verschiedentlich in ihrer Größe auf Erfahrungswerten beruhen. Die Abmessungen des Mindestlichtraums sind also stets ein Ergebnis von Berechnungen.

Dieser Beitrag wurde von den Autoren auf der Grundlage des Vorgängeraufsatzes von Dr.-Ing. Walter Mittmann neu bearbeitet.

A. Schmitt (✉)
DB Netz AG, 60486 Frankfurt a. M., Deutschland
E-Mail: anton.schmitt@deutschebahn.com

E. Jänsch
61137 Schöneck, Deutschland
E-Mail: eb@hsr-jaensch.de

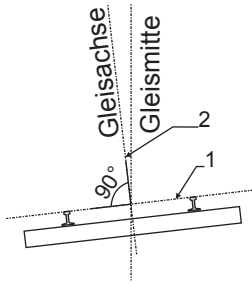


Abb. 6.1 Bezugsachsen nach EN 15273-1; 1 Laufebene (bisherige Bezeichnung: SO); 2 Bezugsachse des Fahrzeugs und des Gleises

Zur Berechnung des Lichtraums gibt es drei grundlegende Verfahren:

- die statische Berechnungsmethode,
- die kinematische Berechnungsmethode und
- die dynamische Methode, bei der der Mindestlichraum von der tatsächlichen Fahrzeug- oder Ladungsbegrenzung in Kenntnis der Fahrzeugeigenschaften aus berechnet wird,

Diese Berechnungen enthalten allerdings noch keine Zuschläge für die Aerodynamik fahrender Züge und für die Sicherheit von Personen, die sich in Gleisnähe aufhalten. Je nach betrieblichen Erfordernissen wird der Mindestlichraum deshalb um weitere Zuschläge vergrößert. Das Ergebnis sind Regellichraumprofile, die bei den einzelnen Infrastrukturunternehmen als Standard eingeführt sind, sowie Gleisabstände, die die Aerodynamik der sich begegnenden Züge sowie im Bedarfsfall ebenfalls Sicherheitsabstände für den Aufenthalt von Personen in Gleisnähe enthalten.

Gemeinsamer Ausgangspunkt aller Berechnungen für Fahrzeugbegrenzungen und Lichtraumprofile ist das Koordinatensystem, wie es in der neuen Euronorm EN 15273 [1], die Ende 2013 zur Beschlussfassung gebracht wurde, im Teil 1 beschrieben wird. Die Verbindungslinie der Schienenoberkanten (SO) wird in der Norm als „Laufebene“ bezeichnet.

Für Berechnungszwecke dient die orthogonal zur Laufebene stehende Achse als gemeinsame Bezugsachse für Infrastruktur und Fahrzeuge (Abb. 6.1). Damit ist klargestellt, dass sich alle Abmessungen auf die Mittellinie des Gleises in Soll-Lage beziehungsweise auf das Fahrzeug in Mittelstellung dieses Gleises und auf die Lauf-

ebene beziehen; das gilt auch für die Gleisabstände. Lichtraumprofile und Gleisabstände bemessen sich bei überhöhten Gleisen parallel beziehungsweise orthogonal zur Laufebene. Bei unterschiedlichen Überhöhungen benachbarter Gleise gilt die Laufebene des geringer überhöhten Gleises; die geometrische Auswirkung der größeren Überhöhung des Nachbargleises wird über Zuschläge erfasst.

6.1.2 Verschiedene Berechnungsmethoden

Die Berechnung der zulässigen Fahrzeugabmessungen und der dazugehörigen Mindestlichräume haben einen historischen Hintergrund. Dieser liegt nicht nur in dem Wunsch, die Eisenbahnfahrzeuge berührungsfrei an den gleisnahen Anlagen und Bauwerken vorbeizuführen, sondern auch in der Notwendigkeit, Eisenbahnnetze unterschiedlicher Infrastrukturbetreiber mit durchgehenden Zügen befahren zu können, ohne technisch bedingte Restriktionen. Das bezeichnen wir heute als „Interoperabilität“, ein Ausdruck, der erst seit 1991 in einem Vorentwurf über eine Richtlinie der Europäischen Kommission über rechtliche und technische Vorschriften für das Netz der transeuropäischen Hochgeschwindigkeits-Eisenbahn erschien.

Gemeinsames Merkmal verschiedener Berechnungsmethoden sind neben dem Koordinatensystem die sog. „Bezugslinie“ und die dazugehörigen Berechnungsregeln.

Von den verschiedenen Berechnungsmethoden zur Bestimmung des Lichtraums ist die statische Methode die älteste. Sie wurde seit ihrem Ursprung (1850) ständig weiterentwickelt und in die Regelungen der Technischen Einheit (TE, Bern, 1887, in Kraft 1913, geändert 1938) aufgenommen. Sie war bis Anfang 1991 Grundlage der Lichtraumberechnung in der Eisenbahnbau- und Betriebsordnung (EBO).

Die kinematische Berechnungsmethode wurde ab Mitte der 1950er Jahre vom Internationalen Eisenbahnverband (UIC) erarbeitet [2]. Erst seit der Neufassung der EBO im Mai 1991 [3] wurde sie an Stelle der statischen Methode zur Berech-

nung von Begrenzungslinien für Fahrzeuge und Lichträume in Deutschland verbindlich [4]. Die in den UIC-Merkblättern Reihe 505 und 506 enthaltenen kinematischen Rechenregeln erlauben eine genauere Erfassung des Bewegungsverhaltens eines Fahrzeugs bei ausreichenden Sicherheitsreserven. Diese Berechnungsmethode ist im Verlauf der Erarbeitung der EN 15273 1-3 (Begrenzungslinien) ab 2000 präzisiert worden.

Die dynamische Berechnungsmethode ist in verschiedenen Ländern, wie Schweden und dem Vereinigten Königreich, ein gängiges Verfahren. Hierbei werden die aus der Fahrzeugdynamik herrührenden Bewegungen mit mathematischen Simulationsverfahren ermittelt. Im Regelfall gelten hier andere, erheblich größere Bezugslinien.

6.1.3 Statische Bezugslinien

Bei der sog. statischen Berechnungsmethode geht man von den Umrissen eines stehenden Fahrzeugs bei Mittelstellung im geraden Gleis aus (der statischen Bezugslinie mit einer halben Breite von 1,575 m gemäß der TE, welche hier die Bezugslinie ist), ermittelt die Ausladungen und legt aus dem angenommenen Bewegungsverhalten des Fahrzeugs auf einem realen Gleis weitere Zuschläge fest, um den gesamten Raumbedarf (den Lichtraum) zu bestimmen.

Die o. g. Zuschläge können als Pauschalwerte festgelegt werden. Nach der bis 1991 geltenden EBO sah die Berechnung des Mindestlichtraums bei Radien $R \geq 250$ m wie folgt aus:

- Halbe Breite der statischen Bezugslinie 1575 [mm]
- Ausladungen k (Querspiel, Wiegenspiel, Spurspiel bei 1465 mm Spurweite, geometrische Ausragung im Gleisbogen $R=250$ m) 75 [mm]
- Zuschlag für „Betriebsunregelmäßigkeiten“ (Gleislage, Fahrzeugreaktionen wie Wanken, Dynamik u. a.) 100 [mm]
- Summe für die halbe Mindestlichtraumbreite 1750 [mm]
- Minimaler Gleisabstand $2 \times 1750 = 3500$ [mm]

Bei genauerer Kenntnis der kinematischen Eigenschaften von Fahrzeugen und deren Ladun-

gen können die Ausladungen und Zuschläge auch berechnet werden. Sie werden wie bisher zu den Abmessungen der statischen Bezugslinien addiert und ergeben dann den Raumbedarf (Mindestlichraum). Für Fahrzeuge gilt dabei eine Beschränkung der Wankkoeffizienten auf $s=0,2$ für die Profile G1 und G2 und auf $s=0,3$ für die Profile GA, GB und GC (EN 15273-2, Absatz 5.1.4). Mit der statischen Methode ergeben sich aufgrund der Eingangsparameter in Verbindung mit dem statischen Profil und seinen zugehörigen Rechenregeln geringere Lichträume.

Nach einer Entscheidung der UIC von 1991 soll die statische Methode nur noch für die Lichtraumberechnung von Ladungen angewendet werden. Deshalb werden Elemente dieser Berechnungsmethode bei der DB seit 1991 nur noch zur Durchführung von lademaßüberschreitenden Sendungen angewandt (Richtlinien 458.0102 der DB von 2001 und 810.0502 von 2012). Für die Eingangsdaten der Berechnung nimmt man die statischen Umrisse des Fahrzeugs einschließlich seiner Ladung und berechnet die notwendigen Zuschläge in Anlehnung an die kinematische Berechnungsmethode. Die Wirkungen aus quasi-statischer Seitenneigung werden mit dem örtlich vorhandenen Maximalwert der Überhöhung oder des Überhöhungsfehlbetrags und mit im Bedarfsfall geschätzten Wankkoeffizienten (je nach Fall zwischen $s=0,1$ und $s=0,4$) berücksichtigt. Geprüft wird dabei die Vorbeifahrt derartiger Sendungen an sog. Engstellen der Infrastruktur.

6.1.4 Kinematische Berechnungsmethode

Maßgebend für Fahrzeug- und Infrastrukturberechnungen ist im Geltungsbereich der EBO ab 1991 die kinematische Berechnungsmethode. Ein wesentliches Merkmal des kinematischen Berechnungsverfahrens ist die Vereinbarung einer gemeinsamen Bezugslinie, mit einer halben Breite von 1,645 m, mit welcher die Zuständigkeiten zwischen der Fahrzeugseite und der Infrastrukturseite abgegrenzt werden sollen (Abb. 6.2).

Der Fahrzeugbau muss, wie auch schon bei der statischen Berechnungsmethode, bei länge-

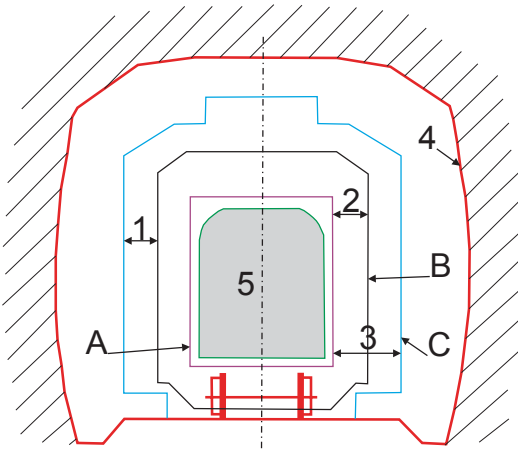


Abb. 6.2 Allgemeine Darstellung der Begrenzungslinien. *A* maximale Fahrzeugbegrenzungslinie; *B* Bezugslinie; *C* Lichtraumumgrenzungslinie; *1* infrastrukturseitig festgelegte Erweiterungen; *2* fahrzeugeitig festgelegte Einschränkungen; *3* Summe der Fahrzeugverschiebungen und des infrastrukturseitig zu berücksichtigenden Raumbedarfs; *4* ortsfeste Anlagen; *5* Fahrzeug

ren Fahrzeugen aufgrund der Sehnenstellung im Gleisbogen Einschränkungen in den Fahrzeugabmessungen vornehmen (Einschränkungen *E*, vgl. Anlage 9 zur EBO). Als ein „längeres“ Fahrzeug ist ein solches anzusehen, dessen Achsabstand (bei 2-achsigen Fahrzeugen) oder Drehzapfenabstand (bei Fahrzeugen mit Drehgestellen) den Wert von 5,477 m überschreitet.

Innerhalb dieser Bezugslinie berücksichtigt der Fahrzeugbau außerdem einen Teil der Ausladungen, und zwar die Wirkungen aus Quer- und Wiegenspiel (q und w) und aus Spurspiel bei einer Normalspurweite von 1435 mm, sowie das Wanken des Wagenkastens bei einer Überhöhung bzw. einem Überhöhungsfehlbetrag (\ddot{u} oder \ddot{u}_p) (D_0 oder I_0) = 50 mm, das geschieht mit fahrzeugspezifischen Eingangsdaten. Die Verschiebungen der Fahrzeugkästen (das Wanken) aus D_0 oder I_0 = 50 mm werden bei der kinematischen Berechnungsmethode stets berücksichtigt, also auch dann, wenn das Fahrzeug in einem geraden Gleis fährt, bei dem keine Überhöhung vorhanden ist und ein Überhöhungsfehlbetrag rechnerisch nicht auftreten kann. Weil die genannten Anteile nun innerhalb der kinematischen Bezugslinie berücksichtigt werden, musste diese gegenüber der bisherigen statischen Bezugslinie, die ja

die reale Außenkontur eines kurzen Eisenbahnwagens darstellt, etwas vergrößert werden, und zwar im seitlichen Bereich in ihrer halben Breite um 70 mm, und ebenfalls in der Höhe über der Laufebene (30 mm). Im Gegenzug werden seitens der Infrastruktur nur noch die verbleibenden Anteile an den Ausladungen und quasistatischen Seitenneigungen (Wanken) sowie zufallsbedingte Fahrzeugbewegungen berücksichtigt.

Für die Berechnung des Mindestlichtraums werden folgende Anteile als sog. Verschiebungen zu den Maßen der Bezugslinie addiert (vgl. Anlage 2 zur EBO):

- Ausladungen *S* (Summe aus der geometrische Ausragung eines bestimmten „Referenz“-Fahrzeugs im Gleisbogen und aus dem Spurspiel bei Spurweiten > 1435 mm),
- Quasistatische Seitenneigung aus ($D-D_0$) bzw. ($I-I_0$) und
- zufallsbedingte Verschiebungen (im Wesentlichen aus unregelmäßiger Gleislage und deren Wechselwirkung auf das bewegte Eisenbahnfahrzeug).

Da es viele verschiedene Fahrzeuge auf den Gleisen gibt, arbeitet die Infrastrukturseite im Regelfall mit pauschalen Annahmen für die Eingangsdaten ihrer Berechnung. Sie geht grundsätzlich von der Bezugslinie aus, die als Ersatz für ein reales Referenzfahrzeug anzusehen ist. Beim Berechnungsgleisbogenradius von 250 m wird in Fahrzeugmitte die halbe Breite der Bezugslinie von 1645 mm um die Ausladung von $S_i = 30$ mm überschritten. Diese setzt sich zusammen aus

- 15 mm für die Stellung des „Referenzfahrzeugs“ (das ist ein zweiachsiges Fahrzeug mit einem Achsstand von 5,477 m, welches als solches weder in der TE noch in der EBO erwähnt wird) im Gleisbogen von 250 m und
- 15 mm = $(1465 - 1435)/2$, dem Anteil aus Spurspiel bei einer Spurweite von 1465 mm (EBO Anlage 9).

Zur Berechnung der Verschiebungen aus Wanken (quasistatische Neigung) geht man infrastrukturseitig von folgenden Annahmen aus:

- Abstand der Radaufstandspunkte in Höhe der Laufebene bei Normalspur $L = 1,500$ [m],
- Wankpolhöhe über Laufebene $h_c = 0,500$ [m],
- Wankbeiwert (Elastizitätskoeffizient) $s = 0,4$.

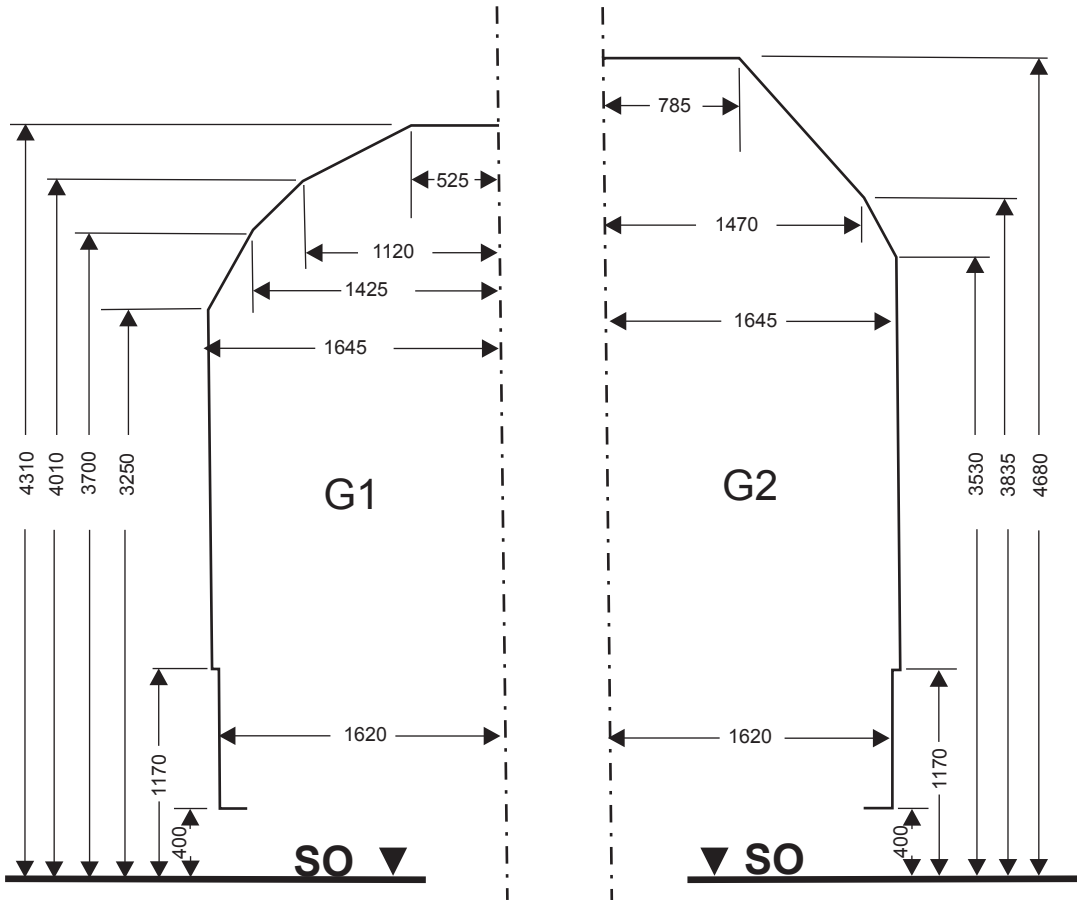


Abb. 6.3 Bezugslinien G1 und G2; Maße in [mm]

Die Kontur der kinematischen Bezugslinie wird zugrunde gelegt (siehe oben) und hinsichtlich der sog. „quasistatischen Verschiebungen aus Wanken“ wie die Umrisse eines Fahrzeugs behandelt.

Die so ermittelte Grenzlinie (Mindestlichtraum) ist für die Berechnung von Engstellen im Streckennetz notwendig. Hinzu kommen aus betrieblichen und sicherheitlichen Überlegungen notwendige Abstände. Ergebnis sind Regellichträume als Planungsgrößen.

Die EBO enthält zwei kinematische Bezugslinien mit den Bezeichnungen G1 und G2 (Abb. 6.3).

Die Bezugslinie G1 gilt für Fahrzeuge, die auch im grenzüberschreitenden Verkehr eingesetzt werden können. Die Bezugslinie G2 liegt dem seit 1991 gültigen Regellichtraum der EBO zugrunde. Der untere Bereich der Grenzlinie für

festen Anlagen ist in Anlage 1 Bild 2 der EBO dargestellt.

Aufgrund der Richtlinie 96/48/EG des Rates vom 23. Juli 1996 über die Interoperabilität des transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems und der Richtlinie 2008/57/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Juni 2008 über die Interoperabilität des Eisenbahnsystems in der Gemeinschaft (Neufassung) ist mit den sog. Technischen Spezifikationen (TSI) auch die Anwendung der drei Bezugslinien GA, GB und GC (Abb. 6.4) im transeuropäischen Eisenbahnnetz eingeführt worden. Unterhalb der TSI wurden im Auftrag der EU-Kommission eine Reihe neuer europäischer Normen erarbeitet, so die EN 15273 für die Begrenzungslinien für Fahrzeuge und Infrastruktur.

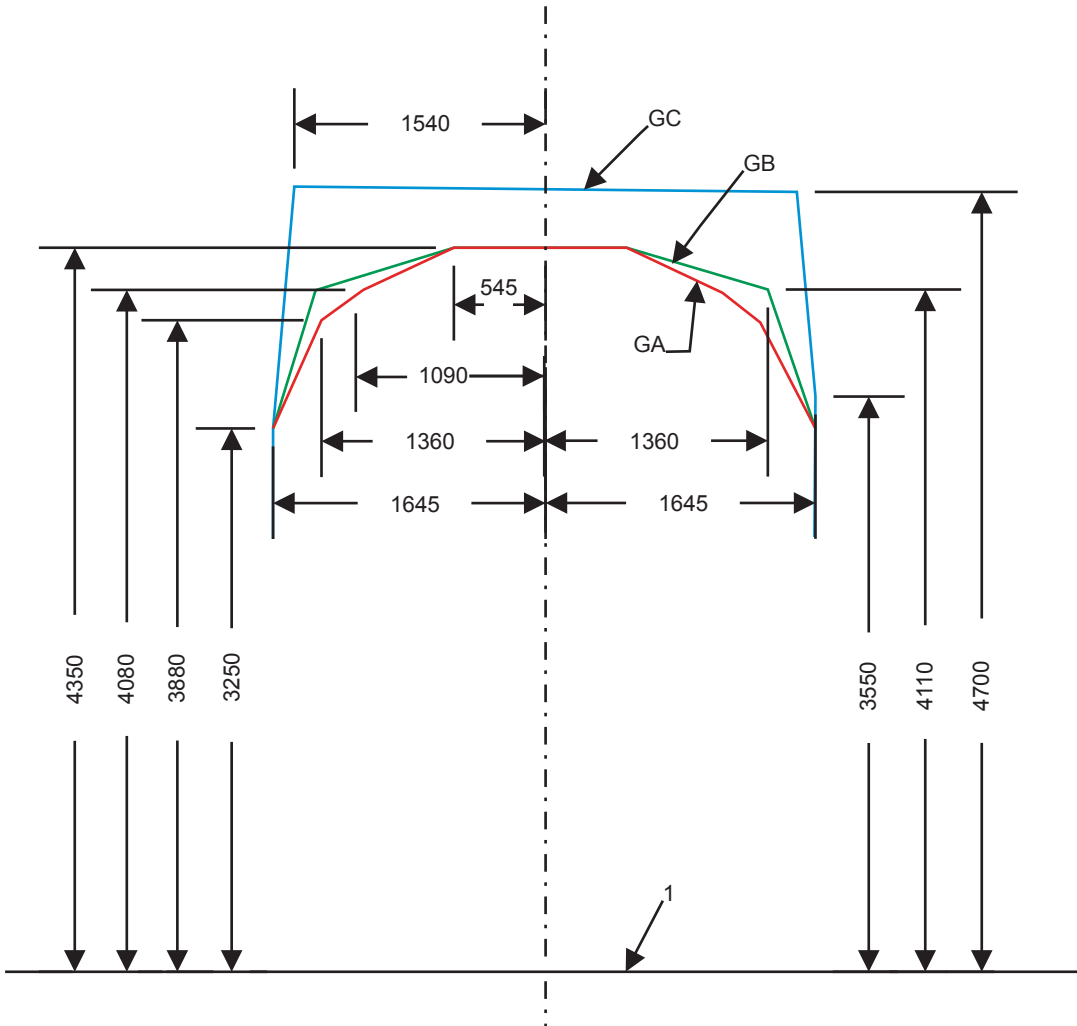


Abb. 6.4 Bezugslinie der kinematischen Begrenzungslinien GA, GB und GC; 1 Laufebene

6.1.5 Regellichraum nach EBO

Der Regellichraum nach EBO Anlage 1 Bild 1 (Abb. 6.5) ist entweder mit 2,50 m oder 2,20 m halber Breite definiert. Innerhalb des Regellichraums sind hier zwei besondere Grenzlinien (Mindestlichräume) eingetragen. Dazwischen befinden sich zusätzliche Räume für sicherheitstechnische, bauliche und betriebliche Zwecke. In diesen Räumen sind bestimmte, in Anlage 1, Bild 1 der EBO genannte Einragungen auf Dauer zulässig (Bereich A) bzw. nur bei Bauarbeiten, wenn die erforderlichen Sicherheitsmaßnahmen getroffen sind (Bereiche A und B). Über diese

Fälle hinaus dürfen in den unteren Raum des Bereichs A wegen der dort ohnehin zahlreich vorhandenen Einragungen, z. B. durch Bahnsteigkanten, weitere bauliche Anlagen bis zur Höhe von 0,38 m über Laufebene hineinragen, insbesondere:

- Flucht- und Rettungswege auf bzw. in Bauwerken,
- Dauerhilfsbrücken,
- Obergurte der Hauptträger von Trogbauwerken,
- Fundamente von Oberleitungsmasten,
- Schotterbegrenzungsbalken sowie
- Kabelkanäle auf Brücken und in Trogbauwerken,

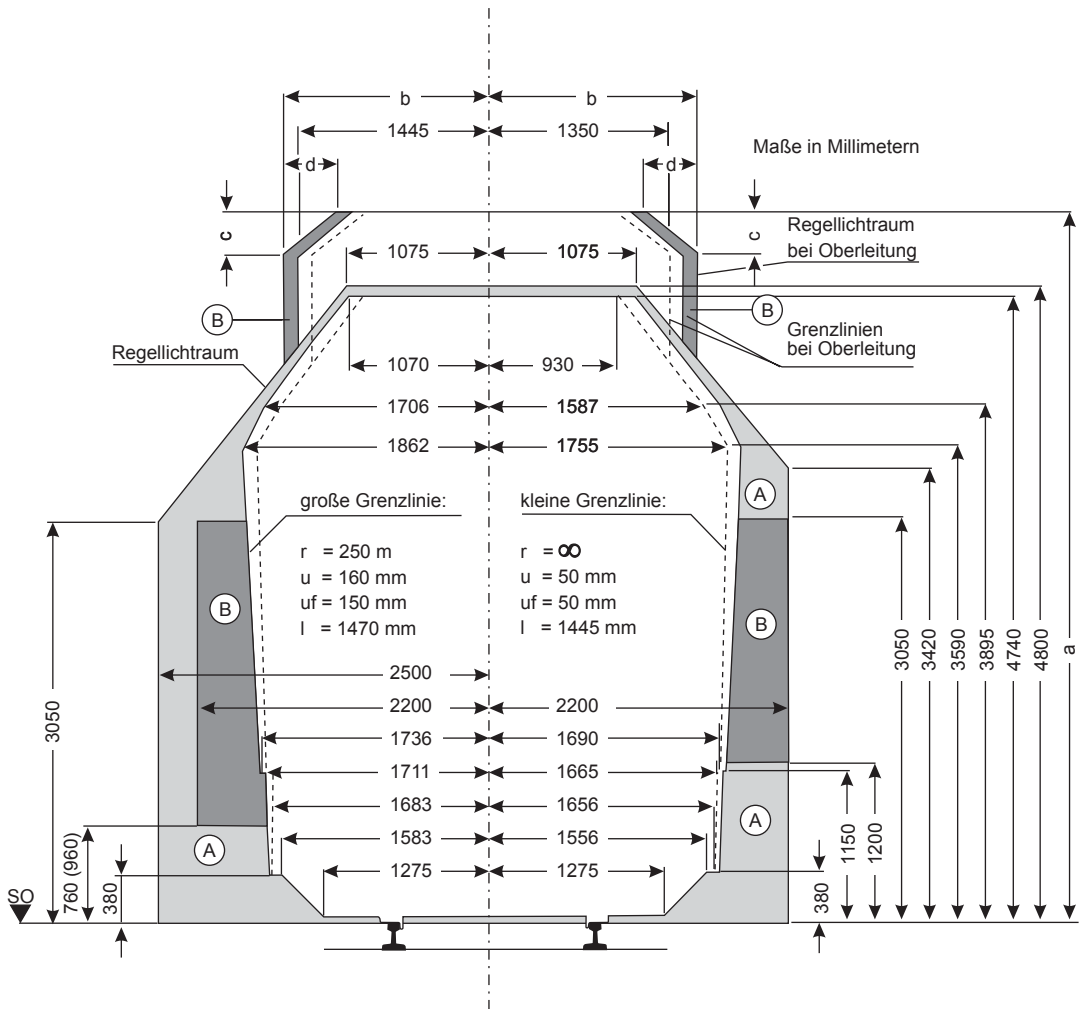


Abb. 6.5 Regellichraum in der Geraden und im Bogen bei Radien $R \geq 250$ m

wenn andere Lösungen unverhältnismäßig hohe Kosten verursachen würden [5].

Die innerhalb des Regellichtraums dargestellten beiden Grenzlinien (kleine und große Grenzlinie) begrenzen die Bandbreite für den erforderlichen Mindestlichraum bei Zugrundelegung bestimmter Trassierungsparameter und reichen daher für eine erste Abschätzung aus. Hierbei ist zu beachten, dass in beiden Grenzlinien das Wanken bei $\ddot{u}/\ddot{u}_F = 50$ mm ($= D_0$ oder I_0 nach EN 15273) bereits innerhalb der kinematischen Bezugslinie (die orthogonal zur Lafebene steht) mit fahrzeugspezifischen Parametern berücksichtigt ist, und zwar auch bei Fahrt im geraden Gleis. Eine genauere Ermittlung der jeweiligen

Grenzlinie ergibt sich durch Addition der in Anlage 2 der EBO (Grenzlinie für feste Anlagen ohne Oberleitung) bzw. Anlage 3 der EBO aufgelisteten Einflussgrößen nach der kinematischen Berechnungsweise oder auch vereinfachend unter Verwendung der auf der sicheren Seite liegenden Tabellenwerte der Anlagen 2 und 3 der EBO.

Linke Hälfte (2500 mm):

Bei durchgehenden Hauptgleisen und bei anderen Hauptgleisen für Reisezüge

Rechte Hälfte (2200 mm):

Bei den übrigen Gleisen

Bereich A:

Zulässig sind Einragungen von baulichen Anlagen, wenn es der Bahnbetrieb erfordert (z. B. Bahnsteige, Rampen, Rangiereinrichtungen, Signalanlagen)

Bereiche A und B:

Zulässig sind Einragungen bei Bauarbeiten, wenn die erforderlichen Sicherheitsmaßnahmen getroffen sind.

Anmerkungen:

- Die Wirkung aus quasistatischer Seitenneigung bei D_0 bzw. $I_0 = \ddot{u}$ bzw. $\ddot{u}_f = 50$ mm ist mit fahrzeugtechnischen Parametern in der Bezugslinie enthalten.
- Zwischen zwei Gleisen ist bei 4,00 m Regelgleisabstand kein Sicherheitsraum (A oder B) vorhanden.
- Der obere Bereich des Mindestlichtraums (der Grenzlinie) berücksichtigt eine Reserve für die Hebung des Oberbaus von 50 mm und soll einen vertikalen Ausrundungsradius $R_v = 2000$ m mit seiner Wirkung von $\Delta h = 50 / R_v = 25$ mm enthalten. Die Höhenmaße sind allerdings für $R_v = 5000$ m berechnet worden; sie müssen deshalb für $R_v = 2000$ m um 15 mm erhöht werden.

6.2 Elemente der Streckenquerschnitte bei der DB Netz AG

6.2.1 Lichtraum

Seit Anfang der 1990er Jahre wird im Netz der DB beim Neubau und umfassenden Umbau von Strecken an Stelle des bisherigen EBO-Regellichtraums das Lichtraumprofil GC hergestellt (Abb. 6.6).

Es erlaubt die uneingeschränkte Durchführung aller Sendungen des kombinierten Ladungsverkehrs und berücksichtigt wie der Mindestlichtraum nach EBO Reserven für die Hebung des Oberbaus bei Instandhaltungsmaßnahmen sowie den Zuschlag für vertikale Ausrundungsradien $R_v = 2000$ m [6].

Bereiche A und B:

Raum, in den bauliche Anlagen einragen dürfen, wenn es der Bahnbetrieb erfordert.

Linke Hälfte (2500 mm):

Bei durchgehenden Hauptgleisen und bei anderen Hauptgleisen für Reisezüge.

Rechte Hälfte (2200 mm):

Bei den übrigen Gleisen

Anmerkung:

Im oberen Bereich bei 4900 mm über Laufebene entspricht das Breitenmaß von 1860 mm dem des sog. erweiterten Regellichtraums (ERL) bei 4800 mm über Laufebene, das die DB Anfang der 1970er Jahre dem Entwurf ihrer ersten Neubaustrecken zugrunde gelegt hat.

Bei Strecken, auf denen ausschließlich Stadtschnellbahnfahrzeuge (S-Bahnfahrzeuge) verkehren, dürfen die halben Breitenmaße des Regellichtraums um 100 mm auf 2400 mm bzw. auf 2100 mm verringert werden (Abb. 6.7).

In Tunneln und in unmittelbar angrenzenden Einschnittsbereichen darf die halbe Breite des Regellichtraums von S-Bahn-Strecken bis auf 1900 mm verringert werden, wenn besondere Fluchtwege vorhanden sind (Abb. 6.7 Fußnote 1).

Bereiche A und B:

Raum, in den bauliche Anlagen einragen dürfen, wenn es der Bahnbetrieb erfordert.

Linke Hälfte (2400 mm):

Bei Hauptgleisen

Rechte Hälfte (2100 mm):

Bei den übrigen Gleisen

Entscheidend für die Zulässigkeit der Anwendung der Maße für Stadtschnellbahnen (S-Bahnen) ist, ob auf dieser Strecke ausschließlich „reine S-Bahn-Verkehre“ (mit speziellen S-Bahn Fahrzeugen) durchgeführt werden.

Der auf allen elektrifizierten und zur Elektrifizierung vorgesehenen Strecken des Netzes der DB AG freizuhaltende Regellichtraum bei Ober-

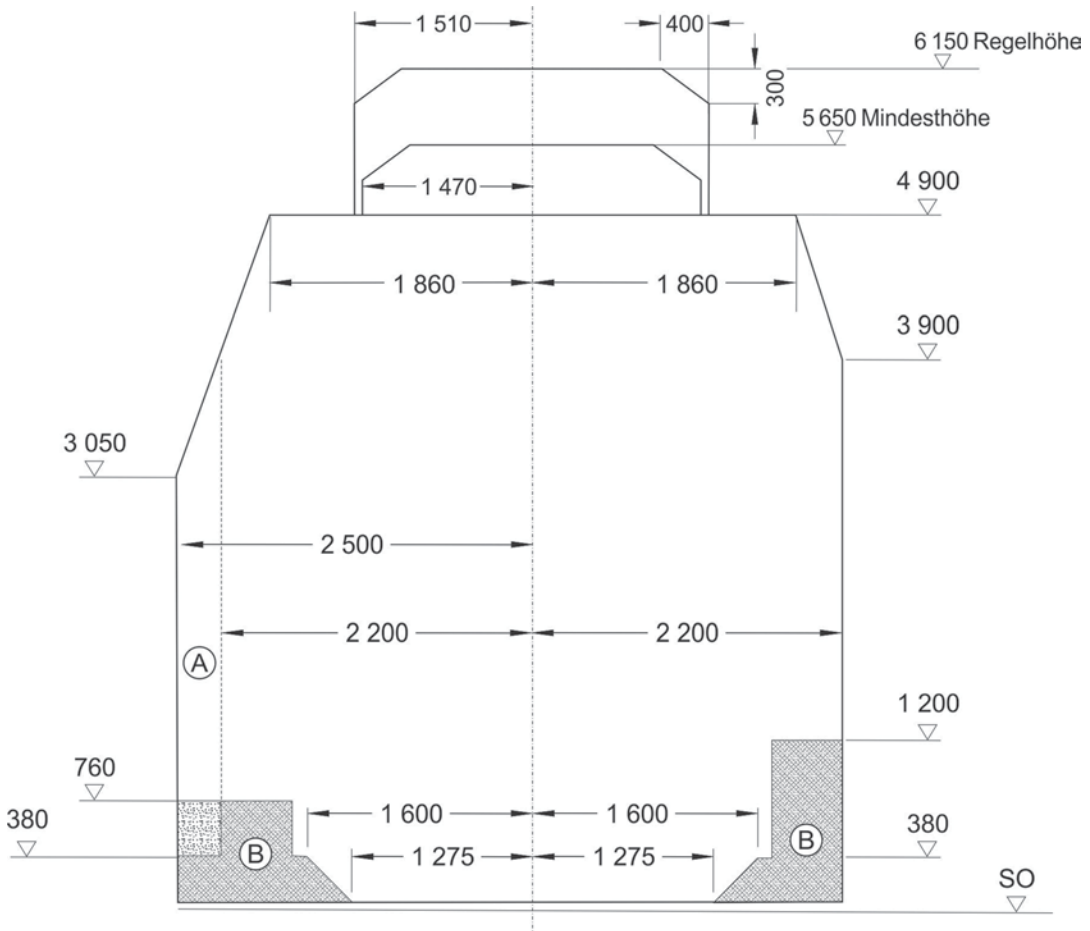


Abb. 6.6 Regellichtraumprofil GC der DB Netz AG in der Geraden und im Bogen bei Radien $R \geq 250$ m; Maße in [mm]

leitung berücksichtigt für die halbe Mindestbreite b unterschiedliche Höhenbereiche des Stromabnehmers (Tab. 6.1).

Im bestehenden Netz darf das Maß b unter Einbeziehung der örtlichen Trassierungsgrößen auch spitz ermittelt werden (Grenzlinie bei Oberleitung).

In Gleisbogen mit Radien von weniger als 250 m sind die halben Breitenmaße der Lichtraumprofile und des Regellichtraumes bei Oberleitung nach Tab. 6.2 zu vergrößern.

Stoßen Gleisabschnitte mit verschiedenen großen Lichtraumprofilen aneinander, z. B.

- beim Wechsel von einem Radius unterhalb 250 m auf einen größeren Radius oder

- beim Übergang von reinem S-Bahnbetrieb auf Mischbetrieb, sind in den Übergangsbereichen entsprechende Anpassungen vorzunehmen. Dabei wird nach Fällen mit und ohne Übergangsbogen unterschieden (Abb. 6.8 und 6.9).

Besonders zu beachten ist, dass bei einem im Bahnsteigbereich abzweigenden engen Weichenbogen die Bahnsteigkante im Bereich des Einlaufs in die Weiche in Abhängigkeit von der Krümmung zurückgesetzt werden muss.

Der Mindestlichtraum soll den geringsten Raumbedarf aller Regelfahrzeuge und Regelsendungen unter definierten Randbedingungen

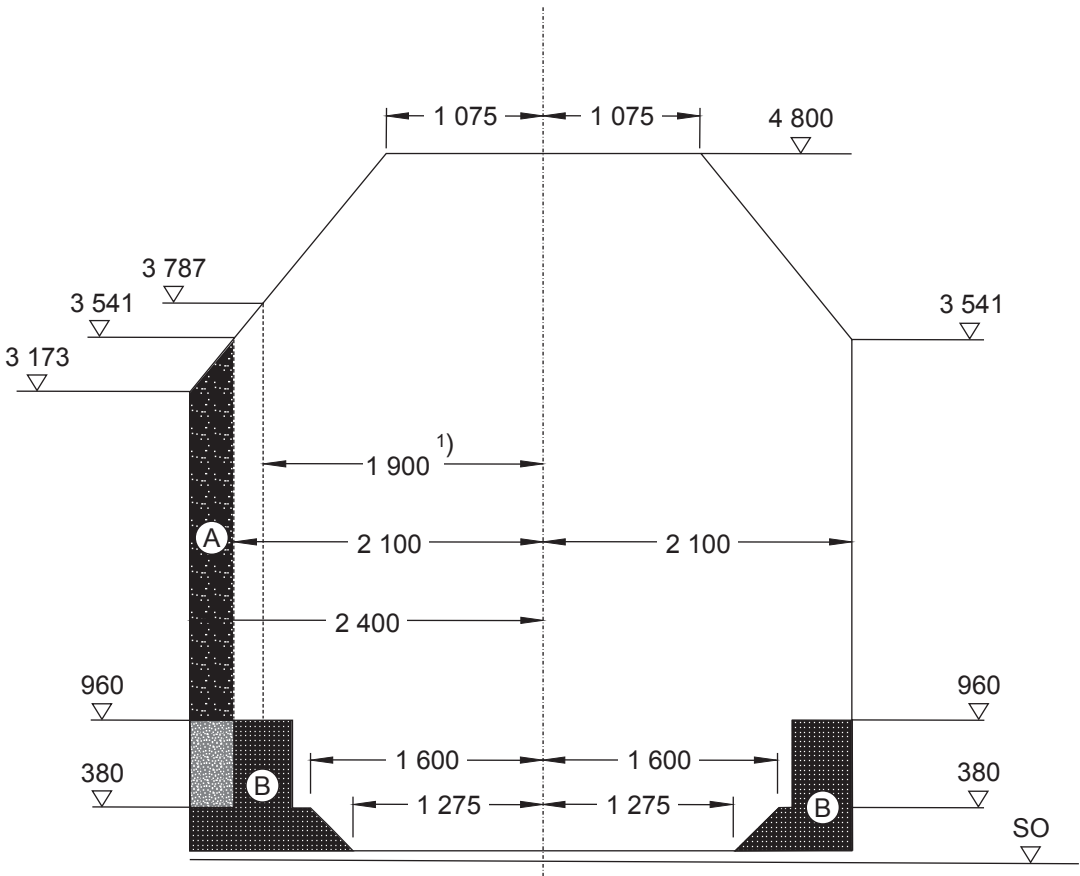


Abb. 6.7 Lichtraumprofil für S-Bahnen in der Geraden und im Bogen bei Radien $R \geq 250$ m; Maße in [mm]

Tab. 6.1 Maße des Regellichtraums bei Oberleitung 15 kV 16,7 Hz bei Radien $R \geq 250$ m

| Regelmaße | Regellichtraum $V \leq 200$ km/h | | Regellichtraum $V > 200$ km/h | |
|-----------|----------------------------------|--------|-------------------------------|-------------------|
| | a [mm] | b [mm] | a [mm] | b [mm] |
| Ohne BÜ | 6150 | 1510 | 5725 | 1615 ^a |

a = Höhe des Lichtraums bei Oberleitung [mm]

b = halbe Mindestbreite im Arbeitshöhenbereich des Stromabnehmers [mm] Abschrägung der Ecken:

c = 300mm, d = 400 mm

BÜ = höhengleicher Bahnübergang (nur bis $V = 160$ km/h zulässig)

Maße für $V \leq 200$ km/h gelten ausnahmsweise auch für ABS $V \leq 230$ km/h

*) nach EBO nur 1470 mm; nach Ril 800.0130 1615mm

Tab. 6.2 Vergrößerung der halben Breitenmaße der Lichtraumprofile und des Regellichtraums bei Oberleitung bei Radien < 250 m

| Radius [m] | Lichtraumprofil Bogenseite | | Regellichtraum bei Oberleitung [mm] |
|------------|----------------------------|------------|-------------------------------------|
| | innen [mm] | außen [mm] | |
| 250 | 0 | 0 | 0 |
| 200 | 50 | 65 | 20 |
| 190 | 65 | 80 | 25 |
| 150 | 135 | 170 | 50 |

Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden

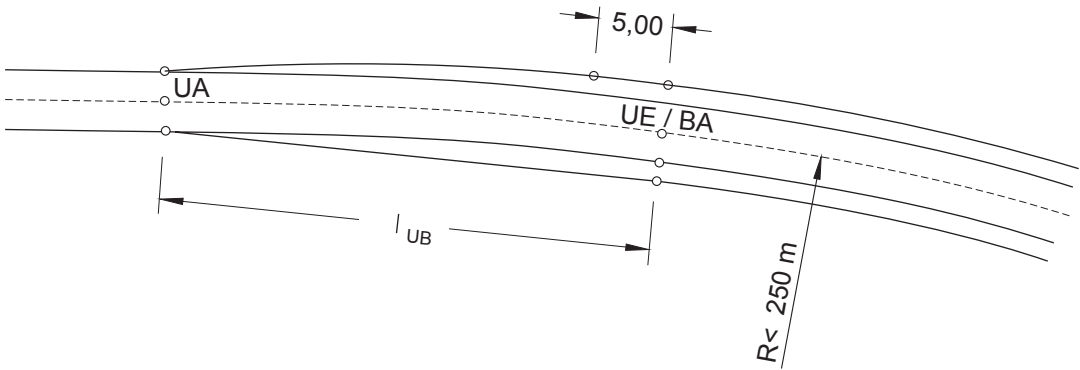


Abb. 6.8 Übergang zwischen verschiedenen Lichtraumbreiten bei Gleisbögen mit Übergangsbogen; Maße in [m]. BA Bogenanfang; UA Anfang des Übergangsbogens; UE Ende des Übergangsbogens

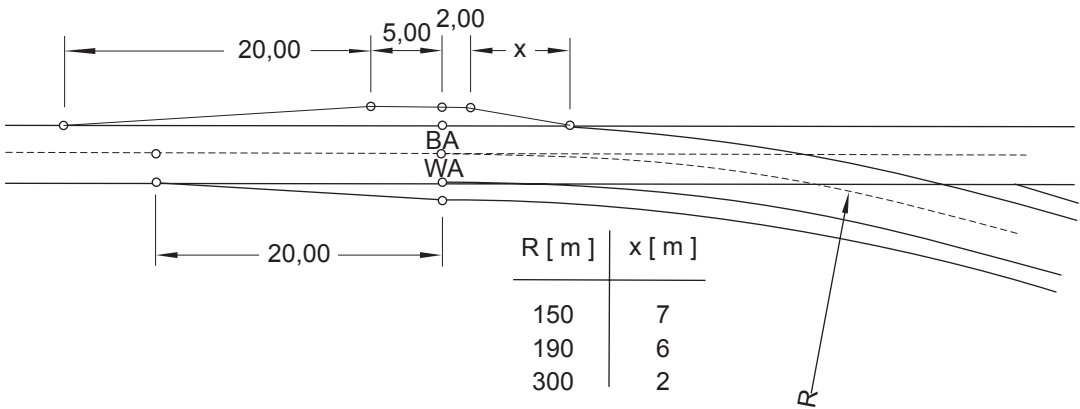


Abb. 6.9 Übergang zwischen verschiedenen Lichtraumbreiten bei Gleisbögen ohne Übergangsbogen oder bei Weichen; Maße in [m]. WA BA (Weichen-) Bogenanfang

abdecken. Er ist keine Planungsgröße. Die Berechnung erfolgt nach EN 15273 oder EBO.

6.2.2 Gleisabstand

Der Gleisabstand ist der Abstand von Mitte zu Mitte benachbarter Gleise. Gemäß der Festlegung der EN 15273 wird er parallel zur Laufebene des weniger überhöhten Gleises gemessen, also entsprechend der Schräglage dieses Gleises. Bei unterschiedlichen Überhöhungen benachbarter Gleise werden Zuschläge in Abhängigkeit der Überhöhungsdifferenz notwendig.

Mindestgleisabstände können in ähnlicher Weise wie die Mindestlichraumprofile errechnet werden, wobei auch hier von den Bezugslinien

auszugehen ist (EN 15273-3). Der ungünstigste Fall in überhöhten Gleisen ist derjenige, bei dem das Fahrzeug im Außengleis steht oder sehr langsam fährt und somit seine Verschiebungen nach bogeninnen gerichtet sind, während das Fahrzeug im Innengleis mit dort maximal zugelassenem Überhöhungsfehlbetrag fährt. Wie bei der kinematischen Lichtraumberechnung werden beim Wanken der kinematischen Bezugslinie nur die Anteile aus $(D-D_0)$ bzw. $(I-I_0)$ berücksichtigt.

Nach EBO sind Mindestgleisabstände bis hinunter zu 3,50 m zulässig, in Abhängigkeit der Gleisbogenradien (EBO Anlage 4, siehe Tab. 6.3). Die 3,50 m sind historisch bedingt, sie entstammen den statischen Berechnungen nach der TE für kurze Fahrzeuge (Achsstand 5,477 m) mit einer Breite von 3,15 m und den schon ge-

Tab. 6.3 Mindestgleisabstände

| Radius [m] | Mindestgleisabstand [m] bei einer Geschwindigkeit von V [km/h] | | | | | | | | | |
|------------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 160 | 140 | 120 | 100 | 80 | 70 | 60 | 50 | 40 | 30 |
| 2100 | 3,50 | 3,50 | 3,50 | 3,50 | 3,50 | 3,50 | 3,50 | 3,50 | 3,50 | 3,50 |
| 1600 | 3,54 | 3,50 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| 1300 | 3,58 | 3,53 | 3,50 | – | – | – | – | – | – | – |
| 1100 | 3,61 | 3,56 | 3,51 | – | – | – | – | – | – | – |
| 950 | – | 3,59 | 3,53 | – | – | – | – | – | – | – |
| 850 | – | 3,61 | 3,55 | 3,50 | – | – | – | – | – | – |
| 700 | – | – | 3,59 | 3,53 | – | – | – | – | – | – |
| 600 | – | – | 3,62 | 3,55 | 3,50 | – | – | – | – | – |
| 500 | – | – | – | 3,59 | 3,52 | – | – | – | – | – |
| 450 | – | – | – | 3,61 | 3,54 | 3,50 | – | – | – | – |
| 400 | – | – | – | – | 3,55 | 3,52 | 3,50 | – | – | – |
| 300 | – | – | – | – | 3,61 | 3,56 | 3,52 | 3,50 | – | – |
| 250 | – | – | – | – | – | 3,60 | 3,55 | 3,51 | 3,50 | 3,50 |
| 225 | – | – | – | – | – | – | 3,63 | 3,58 | 3,56 | 3,56 |
| 200 | – | – | – | – | – | – | 3,71 | 3,66 | 3,62 | 3,62 |
| 180 | – | – | – | – | – | – | 3,80 | 3,74 | 3,69 | 3,68 |

Zwischenwerte dürfen linear eingeschaltet werden

nannten pauschalen Zuschlägen für den Gleisbogenradius 250 m.

Nach Regelwerk der DB betragen die hier in der Horizontalen gemessenen Regelgleisabstände bei Gleisbogenradien $R \geq 250$ m:

- 4,00 m auf der freien Strecke,
- 4,50 m in Bahnhöfen und
- 3,80 m bei S-Bahnen.

Bei Mischbetrieb (S-Bahn- und anderer Verkehr auf der gleichen Strecke) muss der Gleisabstand 4,00 m betragen.

Für Neubaustrecken (Hochgeschwindigkeitsstrecken) beträgt der Mindestgleisabstand in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit nach TSI Infrastruktur bei:

- $230 \text{ km/h} < V \leq 250 \text{ km/h}$ 4,00 [m]
- $250 \text{ km/h} < V \leq 300 \text{ km/h}$ 4,20 [m]
- $250 \text{ km/h} > 250 \text{ km/h}$
- $V > 300 \text{ km/h}$ 4,50 [m]

Für sehr schnellen Verkehr ($V > 350 \text{ km/h}$) kommen Gleisabstände von 5,00 m in Betracht.

Die DB hat bei ihren älteren Neubaustrecken (Konzeption anfangs der 1970er Jahre) einen Regelgleisabstand von 4,70 m eingebaut; dieses Maß entspricht der Breite des damals zugrunde gelegten erweiterterten Regellichtraumes (ERL) bei einem Gleisbogenradius von 300 m. Für die neueren Neubaustrecken (300 km/h, Inbetrieb-

nahme ab 2002) wurde der Gleisabstand auf 4,50 m reduziert.

Bei Gleisabständen von 5,00 m und weniger können sich die Regellichträume benachbarter Gleise überschneiden. Dies ist bis herab auf die örtlichen Mindestgleisabstände unkritisch, solange sich keine festen Einbauten zwischen den Gleisen befinden und keine Fahrzeuge verkehren, die die Fahrzeugbegrenzungen überschreiten. Ausgenommen hiervon sind feste Gegenstände in einer Höhe von bis zu 0,38 m über Schienenoberkante, wie niedrige signaltechnische Einrichtungen. Lediglich bei Bauarbeiten sind Einragungen auch im darüber liegenden Höhenbereich zulässig, wenn die Mindestlichträume gewahrt und die erforderlichen Sicherheitsmaßnahmen, z. B. Verschließen der Fenster von Reisezugwagen, getroffen sind. Die in Tab. 6.3 genannten Abstandsmaße bei Radien unter 250 m enthalten bereits die Vergrößerungen nach Tab. 6.2.

Für die Anwendung im bestehenden Netz der DB, insbesondere mit ICE-Verkehr, ist bei Streckengeschwindigkeiten von weniger als 160 km/h und relativ kleinen Bogenradien die Zuordnung von Soll-Gleisabständen nach Tab. 6.4 erarbeitet worden. Diese Tabelle ist nach Werten aus der Summe von \ddot{u}_a (Überhöhung des Außenbogengleises) und \ddot{u}_f (Überhöhungsfehlbetrag im

Tab. 6.4 Soll-Gleisabstand [m] im bestehenden Netz bei Streckengeschwindigkeiten $V < 160$ km/h in Abhängigkeit vom Gleisbogenradius R und von der Summe aus Überhöhung $D = u_a$ im bogenäußeren Gleis und Überhöhungsfehlbetrag $I = u_r$ im bogeninneren Gleis

| $u_a + u_r$ [mm] | Radius [m] | | | | | |
|------------------|------------|------|------|------|------|------|
| | 250 | 350 | 500 | 650 | 950 | 2000 |
| 100 | 3,56 | 3,51 | 3,50 | 3,50 | 3,50 | 3,50 |
| 110 | 3,56 | 3,52 | 3,50 | 3,50 | 3,50 | 3,50 |
| 120 | 3,57 | 3,53 | 3,50 | 3,50 | 3,50 | 3,50 |
| 140 | 3,58 | 3,54 | 3,52 | 3,50 | 3,50 | 3,50 |
| 160 | 3,59 | 3,55 | 3,53 | 3,51 | 3,50 | 3,50 |
| 180 | 3,60 | 3,56 | 3,55 | 3,53 | 3,52 | 3,51 |
| 200 | 3,60 | 3,56 | 3,56 | 3,54 | 3,53 | 3,52 |
| 220 | 3,61 | 3,58 | 3,58 | 3,56 | 3,55 | 3,54 |
| 240 | 3,62 | 3,59 | 3,59 | 3,58 | 3,57 | 3,56 |
| 260 | 3,63 | 3,61 | 3,61 | 3,59 | 3,58 | 3,57 |
| 280 | 3,64 | 3,63 | 3,63 | 3,61 | 3,60 | 3,59 |
| 300 | 3,66 | 3,64 | 3,64 | 3,63 | 3,61 | 3,60 |
| 320 | 3,67 | 3,66 | 3,65 | 3,64 | 3,63 | 3,62 |

Zwischenwerte dürfen linear eingeschaltet werden

Innenbogengleis) aufgebaut und berücksichtigt in Radien $R \leq 350$ m einen etwas größeren Gleisabstand, der durch den übergroßen ICE 1/ICE 2 – Mittelwagen bedingt ist.

Beim Verkehren von Fahrzeugen mit Neigetechnik ändern sich die Soll-Gleisabstände nicht, solange die Werte für Züge ohne Neigetechnik, im Innenbogengleis einen Überhöhungsfehlbetrag von 150 mm nicht überschreiten.

Sollen zwischen den Gleisen Signale mit Schalmasten aufgestellt werden, ist bei Streckengleisen ein größeres Abstandsmaß als der Regelgleisabstand erforderlich. Bei Gleiswechselbetrieb soll ein Gleisabstand von 4,60 m eingehalten werden, bei S-Bahnen von 4,40 m. Hierin sind die Breite eines Schalmastes von 0,10 m sowie eine Bautoleranz von jeweils 0,05 m enthalten. In Gleisbögen müssen Gleisüberhöhungen berücksichtigt werden.

In Bahnhöfen gestattet ein Soll-Gleisabstand von mindestens 4,50 m das Aufstellen von bis zu 0,10 m breiten Schalmasten zwischen den Gleisen (z. B. für Signale), wenn sichergestellt ist, dass der Bereich B des Regellichtraums nicht in Anspruch genommen wird. Bei diesem kleinsten zulässigen Herstellmaß von 4,50 m ist jedoch vorhersehbar, dass durch Gleislageveränderungen der Soll-Abstand unterschritten wird. Derartige Unterschreitungen sind nur solange nicht

unmittelbar betriebsrelevant, wie Abstandsmessungen zwischen der Vorderkante des Masts und der Gleisachse ergeben, dass die seitlichen Verschiebungen des Gleises aus der Soll-Lage nicht mehr als 25 mm betragen; dieser Anteil der zufallsbedingten Verschiebungen wird in der Grenzlinienberechnung berücksichtigt. Bis zur Wiederherstellung des vorgeschriebenen Gleisabstands ist durch geeignete Maßnahmen sicherzustellen, dass die für die Gleislagetoleranz in Ansatz gebrachten Werte nicht überschritten werden. Eine Forderung, bereits bei der Herstellung der Gleislage grundsätzlich die Mindestmaße der EBO um entsprechende Zuschläge zu vergrößern, lässt sich aus der Vorschrift nicht herleiten.

Ein Mindestgleisabstand von 4,50 m erlaubt auch das Einlegen von Weichenverbindungen ohne die bei geringeren Gleisabständen zu verwendenden Langschwelen, was bei Instandhaltungsarbeiten an dem einen Gleis auch die Sperrung des Nachbargleises erfordert.

Durchgehende Hauptgleise ohne Zwischenbahnsteig dürfen im Gleisabstand der freien Strecke durch Bahnhöfe geführt werden, wenn die Herstellung eines Gleisabstands von 4,50 m mit erheblichen Mehrkosten verbunden ist.

Je nach Anordnung und Art der Gleise sowie in Abhängigkeit von der gefahrenen Geschwindigkeit kann es erforderlich sein, dass der Gleis-

Tab. 6.5 Breite des Gefahrenbereichs in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit

| Zulässige Geschwindigkeit V [km/h] im betreffenden Gleis | Breite [m]; von der Gleismitte aus gemessen |
|--|---|
| $160 < V \leq 300$ km/h | 3,00 |
| $V \leq 160$ km/h | 2,50 |
| $V \leq 140$ km/h | 2,40 |
| $V \leq 120$ km/h | 2,30 |
| $V \leq 50$ km/h | 2,00 |
| $V \leq 40$ km/h | 1,85 |

abstand gegenüber den Regelwerten vergrößert werden muss. So ist aus Gründen der Unfallverhütung mindestens neben jedem zweiten Gleis ein Sicherheitsraum von 0,80 m Breite außerhalb des Gefahrenbereichs bewegter Fahrzeuge (Tab. 6.5) vorgeschrieben, in welchem sich im Gleisbereich Beschäftigte ungefährdet aufhalten können.

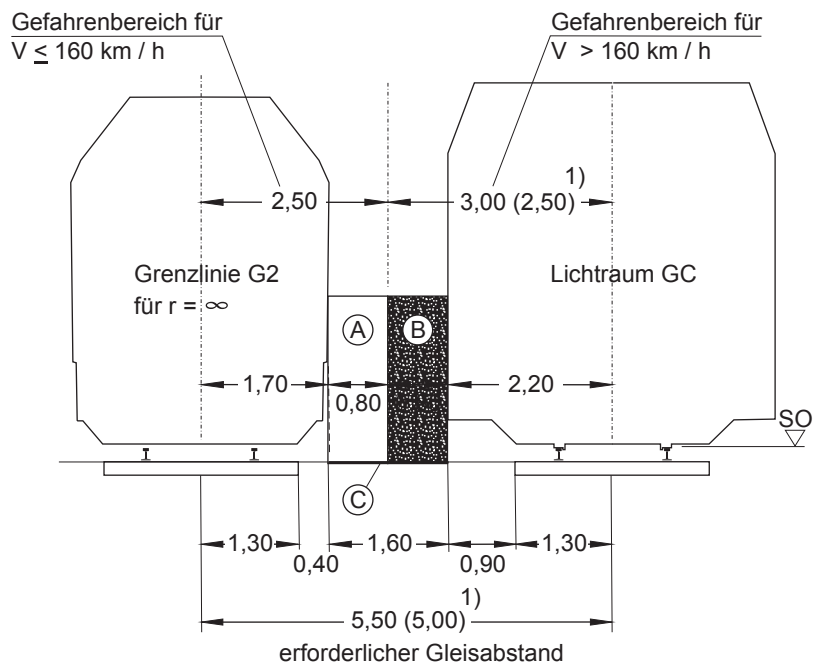
Das Aufstellen von Masten (Oberleitungs-, Signal-, Beleuchtungsmasten) im Sicherheitsraum beeinträchtigt dessen Schutzfunktion nicht, da bei Zugfahrten rechtzeitig Schutz vor oder hinter den kurzen Einbauten gefunden werden kann.

Der Abstand eines Überholungsgleises zu einem durchgehenden Hauptgleis muss mindestens so groß sein, dass bei Fahrt in einem der

beiden Gleise mit der größten zugelassenen Geschwindigkeit stets noch der Sicherheitsraum neben dem Nachbargleis zur Verfügung steht. Der geringste Gleisabstand ergibt sich, wenn bei Fahrt im durchgehenden Hauptgleis der Sicherheitsraum bis unmittelbar an die Grenzlinie der im benachbarten Überholungsgleis stehenden Fahrzeuge heranreicht; diese verläuft im relevanten Höhenbereich in 1,70 m Abstand von der Gleisachse (Abb. 6.10).

Können in benachbarten Gleisen gleichzeitig Zugfahrten stattfinden, muss der 0,80 m breite Sicherheitsraum zwischen beiden Gefahrenbereichen liegen (Tab. 6.6). Zum Gleisabstand bei parallel geführten Strecken s. Abschn. 6.3.1 Zwischen zusammenlaufenden Gleisen muss ein Grenzzeichen angebracht werden, dessen Standort die Gefährdung eines abgestellten Fahrzeugs durch ein bewegtes Fahrzeug ausschließt. Der erforderliche Gleisabstand ist unter Berücksichtigung der Kinematik zu ermitteln und verlangt mindestens das Freihalten der jeweiligen Grenzlinien. Der Mindestgleisabstand kann für Geschwindigkeiten bis 160 km/h auch Tab. 6.3 bzw. Tab. 6.4 entnommen werden. Hat das bogenäußere Gleis eine größere Überhöhung D als das

Abb. 6.10 Gleisabstand zwischen durchgehendem Hauptgleis und Überholungsgleis mit Zwischenweg; Maße in [m]. *A* Sicherheitsraum für Beschäftigte bei Durchfahrt im Schnellfahrgeleis; *B* Sicherheitsraum für Beschäftigte bei Einfahrt im Überholungsgeleis; *C* Zwischenweg. 1) Maße in Klammern gelten für $V \leq 160$ km/h



Tab. 6.6 Gleisabstand bei Hauptgleisen mit Zwischenweg (0,80 m breit)

| | |
|---|--------|
| Durchgehendes Hgl. ($160 < V \leq 300$ km/h) – Überholungsgleis (≤ 100 km/h) | 6,30 m |
| Durchgehendes Hgl. (≤ 160 km/h) – Überholungsgleis (≤ 100 km/h) | 5,80 m |

Tab. 6.7 Vergrößerung der Gleisabstände bei $R < 250$ m

| Gleisbogenradius [m] | erforderliche Vergrößerung [mm] |
|----------------------|---------------------------------|
| 250 | 0 |
| 225 | 55 |
| 200 | 120 |
| 180 | 180 |
| 170 | 215 |
| 150 | 305 |

Zwischenwerte dürfen linear eingeschaltet werden

bogeninnere, ist der Mindestgleisabstand um das Maß $2,35 \times \Delta D$ [mm] zu vergrößern.

Bei Gleisbögen sowie bei Zweiggleisbögen von Weichen mit weniger als 250 m Radius muss der Gleisabstand vergrößert werden (Tab. 6.7). Hinsichtlich des Standortes des Grenzzeichens trifft dies auch für Fälle zu, in denen hinter dem Ende der Weiche ein Gleisbogen mit weniger als 250 m Radius anschließt.

6.2.3 Fahrbahnbreite

Bei einer zweigleisigen Strecke setzt sich die Breite der Fahrbahn zusammen aus:

- dem Gleisabstand,
- den beiden Gefahrenbereichen,
- der zweifachen Breite des Sicherheitsraums und
- ggf. der von der Überhöhung abhängigen Verbreiterung auf der Bogenaußenseite bei Schotteroberbau.

Für die Breite des Gefahrenbereichs neben Streckengleisen soll grundsätzlich eine Entwurfsgeschwindigkeit von mindestens 160 km/h vorgesehen werden. Lässt jedoch die Strecke auf Dauer – auch z. B. bei einem eventuellen späteren Einsatz von Zügen mit Neigetechik – nur eine Geschwindigkeit von weniger als 160 km/h zu, kann der hierfür notwendige Gefahrenbereich angesetzt werden, wenn dies im Planungsauftrag

vorgegeben ist; entsprechend verringert sich die Fahrbahnbreite.

Randwege sollen eine Breite von 0,80 m aufweisen und sind i. d. R. in Höhe der Tragschicht anzuordnen, und zwar bei:

- eingleisigen Strecken auf beiden Seiten der Fahrbahn,
- zweigleisigen Strecken auf den beiden Außenseiten der Fahrbahn,
- Bahnhöfen neben den äußeren Gleisen (außer bei Bahnsteigen und Rampen).

Die Randwege dienen unter anderem:

- der Sicherheit des Personals bei Inspektionsgängen und Instandhaltungsarbeiten während der Vorbeifahrt von Zügen (Sicherheitsraum) und der
- Evakuierung eines Zuges.

Bei Strecken mit ausschließlichem S-Bahnverkehr darf die Randwegbreite bis auf 0,60 m verringert werden, wenn es die Vorschriften für die Unfallverhütung im Gleisbereich örtlich zulassen.

Ist bei eingleisigen Strecken wegen beengter Platzverhältnisse abschnittsweise nur ein einseitiger Randweg möglich, darf auf den zweiten Randweg verzichtet werden, wenn der Planungsauftrag dies vorsieht. Dabei soll ein Wechsel der Gleisseite vermieden werden. Auf der dem Randweg gegenüberliegenden Seite soll der Abstand der Fahrbahnkante zum Schotterbett-Fußpunkt mindestens 0,20 m betragen.

Zwischenwege sollen eine Breite von 0,80 m aufweisen und sind i. d. R. in Höhe der Tragschicht anzuordnen

- zwischen höhengleich und parallel geführten Strecken nach jedem zweiten Gleis,
- zwischen den durchgehenden Hauptgleisen der Bahnhöfe bei ausreichendem Gleisabstand,
- sonst neben den durchgehenden Hauptgleisen. Sie sollen bei abgeöschtem Schotterbett in Höhe der Tragschicht und bei durchgehendem Schotterbett in Höhe der Schwellenoberkante angelegt werden.

Da Rand- und Zwischenwege der Sicherheit des Personals bei Inspektionsgängen und Instandhaltungsarbeiten während der Vorbeifahrt von Zügen dienen, sollen Einbauten im Höhen-

Tab. 6.8 Fahrbahnbreiten in Abhängigkeit von der Entwurfsgeschwindigkeit

| Streckengleise [Anzahl] | Entwurfsgeschwindigkeit [km/h] | Gleisabstand [m] | Gefahrenbereich [m] | Randwegbreite [m] | Fahrbahnbreite [m]; | | |
|----------------------------|-----------------------------------|---------------------|------------------------|----------------------|---------------------|-------------------|--------------|
| | | | | | bei SchO mit D [mm] | bei FF mit D [mm] | |
| | | | | | D=0 | D=160 | 0≤D≤170 [mm] |
| 2 S-Bahn | V≤140 | 3,80 | 2,40 | 0,80 | 10,20 | 10,50 | – |
| 2 | V≤160 | 4,00 | 2,50 | 0,80 | 10,60 | 11,00 | 10,60 |
| 2 | 160<V≤200 ^a | 4,00 | 3,00 | 0,80 | 11,60 | 12,00 | 11,60 |
| 2 NBS | 200<V≤300 | 4,50 | 3,00 | 0,80 | 12,10 | 12,50 | 12,10 |
| 1 S-Bahn | V≤140 | – | 2,40 | 0,80 | 6,40 | 6,40 | – |
| 1 | V≤160 | – | 2,50 | 0,80 | 6,60 | 6,60 | – |
| 1 | 160<V≤300 | – | 3,00 | 0,80 | 7,60 | 7,60 | 7,60 |

^a Ausnahmsweise auch für ABS mit V≤230 km/h zulässig

bereich bis zu 2,20 m über Wegoberkante vermieden werden. Ausgenommen hiervon sind feste Anlagen mit geringer Längenentwicklung, wie Maste, Mastfundamente, Sprechstellen oder Schalteinrichtungen, wenn eine andere Anordnung ausscheidet. Derartige Einrichtungen beeinträchtigen die Schutzfunktion des Sicherheitsraums nicht, da bei Zugfahrten neben den Einbauten Schutz gefunden werden kann. Der Fußbereich von Rand- und Zwischenwegen darf bei abgeböschtem Schotterbett bis auf 0,55 m verringert werden.

Auf zweigleisigen Strecken mit Schotteroberbau (SchO) und Überhöhung liegt der Schotterbett-Fußpunkt des auf der Bogenaußenseite liegenden Schienenstrangs außerhalb des Gefahrenbereichs, wodurch die innere Randwegkante um bis zu 0,40 m weiter nach außen rückt. Die entsprechende Verbreiterung der Fahrbahn soll am Anfang des Übergangsbogens beginnen. Bei Oberbau mit Fester Fahrbahn (FF) bewirken selbst große Überhöhungswerte keine Verbreiterung der Fahrbahn auf der Bogenaußenseite (Tab. 6.8).

Stoßen Streckenabschnitte mit verschiedenen Fahrbahnbreiten aneinander, sollen die Fahrbahnkanten auf einer Länge von etwa 10 m verzogen werden.

Bei stark überhöhten Gleisen darf sich auf der Bogeninnenseite der über dem Rand- oder Zwischenweg freizuhaltende Raum mit dem Lichtraum überschneiden, sofern der Sicherheitsraum außerhalb des Gefahrenbereichs angeordnet ist.

Grenzen Randwege an Flächen, die steiler als etwa 45° bzw. senkrecht abfallen und beträgt die

Absturzhöhe mehr als einen Meter, sind Absturzsicherungen (z. B. Geländer) vorzusehen.

6.2.4 Abstand fester Anlagen von Gleismitte

Feste Anlagen in Gleisnähe dürfen weder Zugfahrten gefährden noch Personen, die sich außerhalb des Gefahrenbereichs aufhalten. Bauliche Anlagen oder Gegenstände sollen sich daher nur außerhalb der Fahrbahn befinden. Ausgenommen hiervon sind die im Lichtraum sowie im Rand- bzw. Zwischenweg zulässigen Einragungen.

Bestimmend für den Abstand fester Anlagen von Gleismitte ist die Summe aus Gefahrenbereich und Sicherheitsraum (Rand- bzw. Zwischenwegbreite) entsprechend den Festlegungen in den Unfallverhütungsvorschriften sowie bei überhöhten Gleisen der bogenaußen liegende Schotterbettfußpunkt (Tab. 6.9).

Steht fest, dass die Geschwindigkeit auf einem Hauptgleis im Bahnhof auf Dauer unter 160 km/h liegen wird, reicht ein kleinerer Gefahrenbereich aus (Tab. 6.10).

Von dieser Möglichkeit sollte z. B. neben Überholungsgleisen Gebrauch gemacht werden, wenn wegen beengter Platzverhältnisse das Erstellen einer Lärmschutzwand in dem für 160 km/h bemessenen Regelabstand zu erheblichen Mehrkosten führen würde.

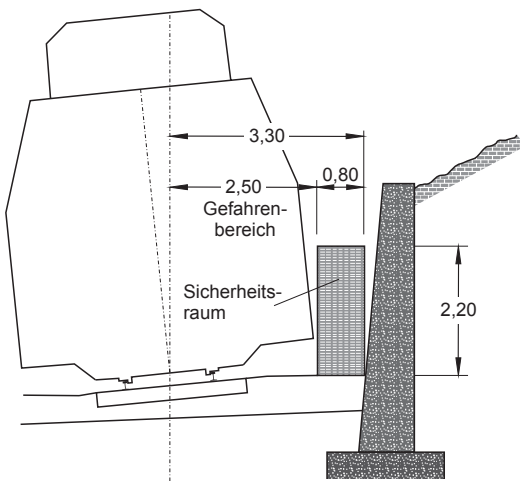
Neben stark überhöhten Gleisen mit Schotteroberbau darf bei Stützwänden und Lärmschutzwänden auf die sonst erforderliche Vergrößerung der Abstände an der Bogenaußenseite verzichtet

Tab. 6.9 Regelabstand fester Anlagen von Gleismitte; Maße in [m]

| Überhöhung [mm] | Eingleisige Fernbahnen $V \leq 160$ km/h | | $V > 160$ km/h | | eingleisige S-Bahnen $V \leq 140$ km/h | |
|--------------------|--|------------|---|------------|--|------------|
| | bogeninnen | Bogenaußen | bogeninnen | Bogenaußen | bogeninnen | bogenaußen |
| bis 160 | 3,30 | | 3,80 | | | 3,20 |
| Überhöhung [mm] | zweigleisige Fernbahnen $V \leq 160$ km/h | | zweigleisige Fernbahnen $V > 160$ km/h | | zweigleisige S-Bahnen $V \leq 140$ km/h | |
| | bogeninnen | Bogenaußen | bogeninnen | Bogenaußen | bogeninnen | bogenaußen |
| bis 20 | 3,30 | 3,30 | 3,80 | 3,80 | 3,20 | 3,20 |
| 25–50 | 3,30 | 3,40 | 3,80 | 3,90 | 3,20 | 3,30 |
| 55–100 | 3,30 | 3,55 | 3,80 | 4,00 | 3,20 | 3,45 |
| 105–160 | 3,30 | 3,70 | 3,80 | 4,20 | 3,20 | 3,60 |

Tab. 6.10 Abstand fester Anlagen von Gleismitte, bei nicht überhöhten Gleisen mit $V \leq 160$ km/h

| Geschwindigkeit [km/h] | Gefahrenbereich [m] | Sicherheitsraum [m] | Abstand fester Anlagen [m] |
|------------------------|---------------------|---------------------|----------------------------|
| ≤ 140 | 2,40 | 0,80 | 3,20 |
| ≤ 120 | 2,30 | 0,80 | 3,10 |
| ≤ 90 | 2,20 | 0,80 | 3,00 |
| ≤ 50 | 2,00 | 0,80 | 2,80 |

**Abb. 6.11** Abstand einer Stützwand bei verbreitertem Schotterbett und $V \leq 160$ km/h; Maße in [m]

werden, wenn der Randweg, zugleich Sicherheitsraum, etwa in Höhe der Schwellenoberkante verläuft (Abb. 6.11).

Muss zwischen zwei zweigleisigen Strecken mit durchgehendem Schotterbett eine Lärmschutzwand angeordnet werden, ist auf jeder Seite der Wand ein Sicherheitsraum vorzusehen, der als Randweg nutzbar ist.

6.2.5 Lichte Weite und Höhe unter Überführungsbauwerken

Bei der Bemessung der lichten Weite unter Überführungsbauwerken sind die Regelmaße für die Fahrbahnbreite der freien Strecke (vgl. Tab. 6.8) lediglich als Mindestmaße anzusehen (Tab. 6.11). Sie enthalten noch keine Bauleranzen. Verbreiterungen können erforderlich werden, um einen befahrbaren Weg vor dem Widerlager vorbeizuführen oder um mögliche spätere Geschwindigkeitsanhebungen (z. B. bei Fahrzeugen mit Neigetechnik) oder weitere Gleise zu berücksichtigen. Die Maße bei Überhöhung gelten für Oberbau mit abgeböschtem Schotterbett. Wird die Standfläche des Sicherheitsraums auf Höhe der Schwellenoberkante angelegt sowie bei Fester Fahrbahn, sind die Werte für $D=u=0$ und 20 mm ausreichend. Im Bereich von Bahnhöfen soll zu Widerlagern, Stützen und dgl. ein Mindestabstand von 3,80 m von der Gleismitte eingehalten werden. Bei Geschwindigkeiten bis 160 km/h darf dieser Abstand auf 3,30 m verringert werden, wenn die Standfläche des Sicherheitsraums (Randweg) auf Höhe der Schwellenoberkante angelegt wird.

Tab. 6.11 Lichte Mindestweiten unter Überführungsbauwerken bei ein- und zweigleisigen Streckenabschnitten

| Überhöhung D [mm] | eingleisig [m] | | Zweigleisig [m] | | |
|-------------------|----------------|--------------|-----------------|--------------------|--------------|
| | V ≤ 160 km/h | V > 160 km/h | V ≤ 160 km/h | 160 < V ≤ 200 km/h | V > 200 km/h |
| 0 und 20 | 6,60 | 7,60 | 10,60 | 11,60 | 12,10 |
| 160 | 6,60 | 7,60 | 11,60 | 12,00 | 12,50 |

Zwischenwerte dürfen linear eingeschaltet werden

Tab. 6.12 Lichte Mindesthöhen unter Überführungsbauwerken bei Lichtraumprofil GC (D=0 mm) und Oberleitung mit 15 kV 16,7-Hz Wechselstrom

| Streckengeschwindigkeit V [km/h] | Freie Strecke im Normalbereich der Kettenwerke [m] | Freie Strecke im Bereich von Nachspannungen, Streckentrennungen, -trennern, Bahnhöfen [m] |
|----------------------------------|--|---|
| V ≤ 160 | 5,70 | 6,15 |
| 160 < V ≤ 200 | 5,90 | 6,40 |
| 200 < V ≤ 300 ^a | 6,70 | 7,20 |
| 200 < V ≤ 300 ^b | 7,40 | 7,90 |

^a Systemhöhe der Oberleitung: 1,10 m, Längsspannweite: 40m|

^b Systemhöhe der Oberleitung: 1,80 m, Längsspannweite: > 40–65m

Die lichte Bauwerkshöhe richtet sich nach dem Lichtraumprofil bzw. bei elektrifizierten Strecken nach dem Stromsystem und der Systemhöhe der Oberleitungsstruktur (Tab. 6.12; [7]). Mit Wechselstrom betriebene Bahnen benötigen aufgrund der höheren Nennspannung und des dadurch erforderlichen größeren Sicherheitsabstands zu Spannung führenden Teilen (elektrischer Mindestabstand in Luft) grundsätzlich eine größere lichte Höhe als Gleichstrombahnen.

Bei reinen S-Bahnstrecken mit Oberleitung soll eine lichte Höhe von 6,10 m freigehalten werden.

Sind elektrifizierte Gleise unter Bauwerken überhöht, muss die nach Tab. 6.12 erforderliche lichte Mindesthöhe um einen Wert von 2/3 der Überhöhung D [mm] sowie bei geneigten Gleisen um 1,5 mm je Promille der Längsneigung i (‰) vergrößert werden:

$$\Delta h = \frac{2}{3} D + 1,5 \cdot i \text{ [mm]} \quad (6.1)$$

Bei den sich hiernach ergebenden lichten Bauwerkshöhen ist die Anordnung der Oberleitung sowie der Speise- und Verstärkungsleitungen unter Bauwerken ohne zusätzliche Nachweise möglich.

6.3 Streckenquerschnitte

6.3.1 Streckenquerschnitt auf Erdkörpern

Da sich alle Streckenquerschnitte je nach Entwurfsgeschwindigkeit und Oberbauart aus den in Abschn. 6.2.3 zusammengestellten Fahrbahnbreiten entwickeln lassen, wurden hier nur einige typische Querschnittsskizzen für zweigleisige Strecken mit Schotteroberbau und mit Fester Fahrbahn bei großen Überhöhungswerten aufgenommen (Abb. 6.12, 6.13 und 6.14). Weitere Regelzeichnungen zu Streckenquerschnitten, auch für eingleisige Strecken, enthält das Regelwerk der DB Netz AG.

Die Regelquerschnitte für Geschwindigkeiten bis zu 160 km/h und für S-Bahnen dürfen an eine geringere Entwurfsgeschwindigkeit angepasst werden, wenn sich dadurch erhebliche Einsparungen ergeben und die Verkleinerung im Planungsauftrag vorgegeben ist.

Soll parallel und höhengleich neben einer vorhandenen elektrifizierten Strecke eine weitere Strecke verlaufen, müssen die Oberleitungsanlagen i. d. R. umgebaut werden. Zwischen den beiden innen liegenden Gleisen der Strecken genügt bei Betonmasten im Regelfall die Breite des

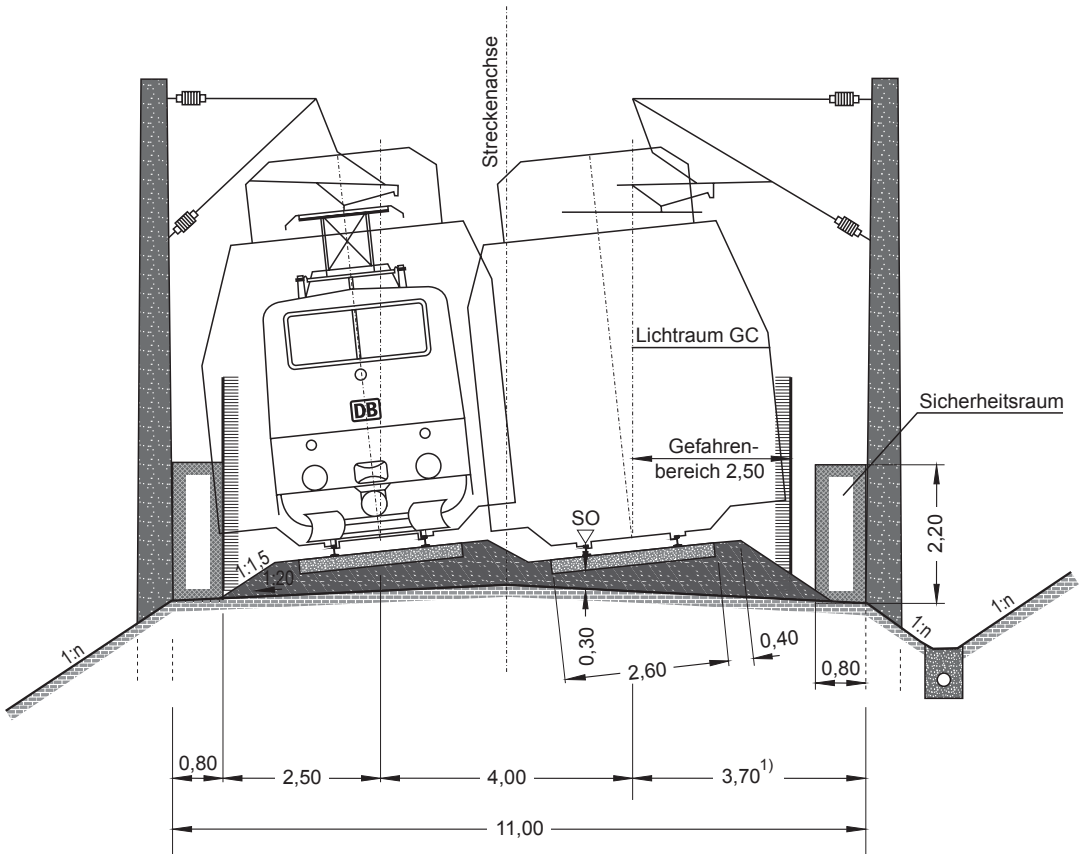


Abb. 6.12 Zweigleisiger Streckenquerschnitt auf Erdkörper; Maße in [m]: $V \leq 160$ km/h, Schotteroberbau mit $u=D=160$ mm

1) Maß ergibt sich aus der Verbreiterung des Schotterbetts aufgrund der Überhöhung.

Sicherheitsraums von 0,80 m. Bei Verwendung von Stahlgittermasten mit größerer Breite wird der für die Mastgasse erforderliche Raum für den Gleisabstand maßgebend (Tab. 6.13).

Sofern die vorhandenen Oberleitungsanlagen ausnahmsweise beibehalten werden sollen, ist der Gleisabstand besonders zu ermitteln, ebenso bei einer unterschiedlichen Höhenlage der Gleise von parallel geführten Strecken.

6.3.2 Streckenquerschnitt auf Brücken und in Tunneln

Das in Tab. 6.8 dargestellte Raster lässt sich auch auf Bauwerksquerschnitte übertragen, allerdings

unter Berücksichtigung einiger Besonderheiten (Tab. 6.14).

Wenn im Geschwindigkeitsbereich über 200 km/h Feste Fahrbahn eingebaut wird, führt dies trotz des um 0,50 m größeren Gleisabstands zu keiner größeren Bauwerksbreite als bei Schotteroberbau für Geschwindigkeiten bis 200 km/h.

Bei Talbrücken mit Oberleitungsanlagen zwischen Fester Fahrbahn und Randweg sowie mit Raum für den Einsatz eines auf dem Randweg verfahrbaren Brückenbesichtigungsfahrzeugs vergrößert sich die Breite des Überbaus je nach Überhöhung.

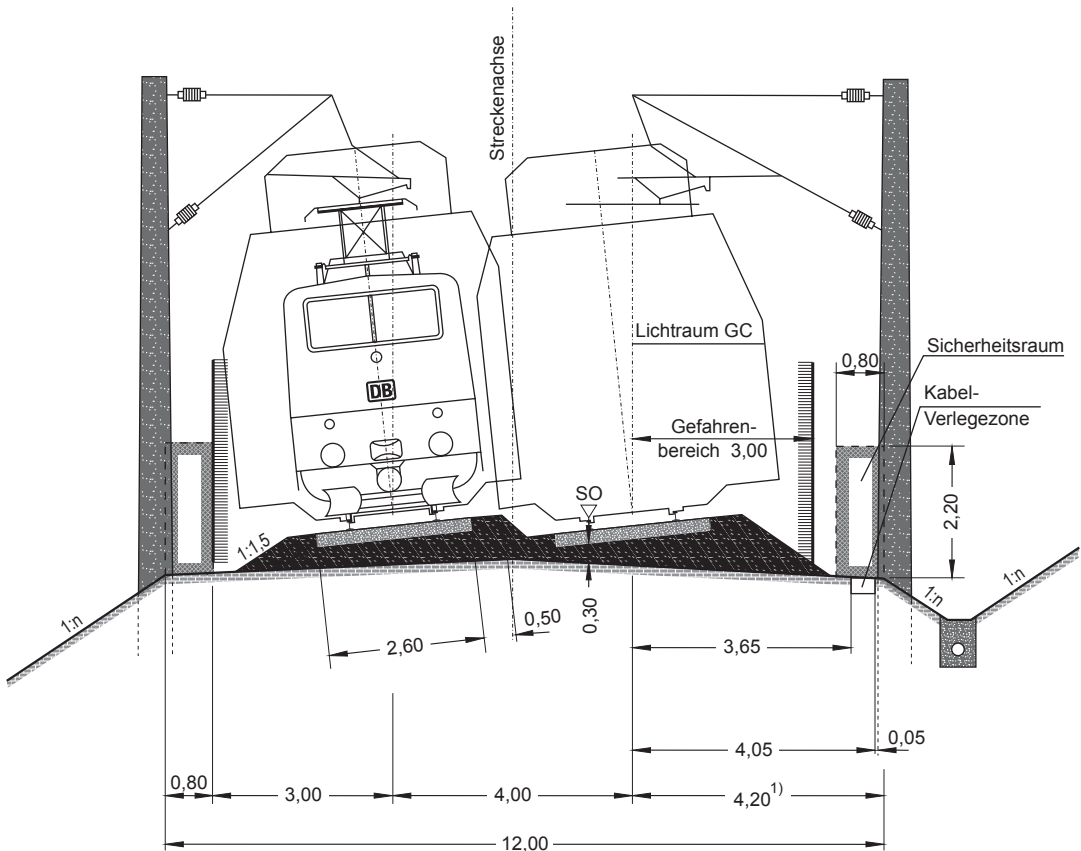


Abb. 6.13 Zweigleisiger Streckenquerschnitt auf Erdkörper; Maße in [m]: $160 < V \leq 200$ km/h, Schotteroberbau mit $u=D=160$ mm

1) Maß ergibt sich aus der Verbreiterung des Schotterbetts aufgrund der Überhöhung.

6.4 Abstände in Gleisanlagen mit Arbeitsstätten und Verkehrswegen

Arbeitsstätten sind solche Bereiche innerhalb eines Bahnhofs, in denen sich Beschäftigte zur Erfüllung ihrer Aufgaben im Gleisfeld aufhalten müssen, z. B. zum Rangieren, Untersuchen oder Vor- und Nachbehandeln von Schienenfahrzeugen. Diese Beschäftigten (z. B. Rangier-, Triebfahrzeug-, Stellwerks- und Reinigungspersonal) müssen Verkehrswege benutzen, um bestimmte Betriebsanlagen und Arbeitsplätze ungefährdet erreichen bzw. verlassen zu können. Verkehrswege für Personen liegen unmittelbar neben oder zwischen Gleisen; sie können auch selbst Arbeitsplätze sein. Rand- und Zwischenwege

sind nur dann Verkehrswege, wenn sie den daran gestellten Anforderungen entsprechen und als solche ausgewiesen sind.

In Gleisanlagen mit Arbeitsstätten oder Verkehrswegen für Personen sind Mindestabstände einzuhalten, die die besonderen Anforderungen des Arbeitsschutzes und der Unfallverhütung im Gleisbereich berücksichtigen. Dies führt i. d. R. zu größeren Querschnittsabmessungen als bei Streckengleisen und bei Hauptgleisen in Bahnhöfen. Wenn sich dort keine Arbeitsstätten befinden, müssen nur die außerhalb der Gefahrenbereiche neben bzw. zwischen den Gleisen vorgeschriebenen Sicherheitsräume vorgehalten werden.

In Arbeitsstätten sowie an Verkehrswegen für Personen ist zwischen Schienenfahrzeugen und

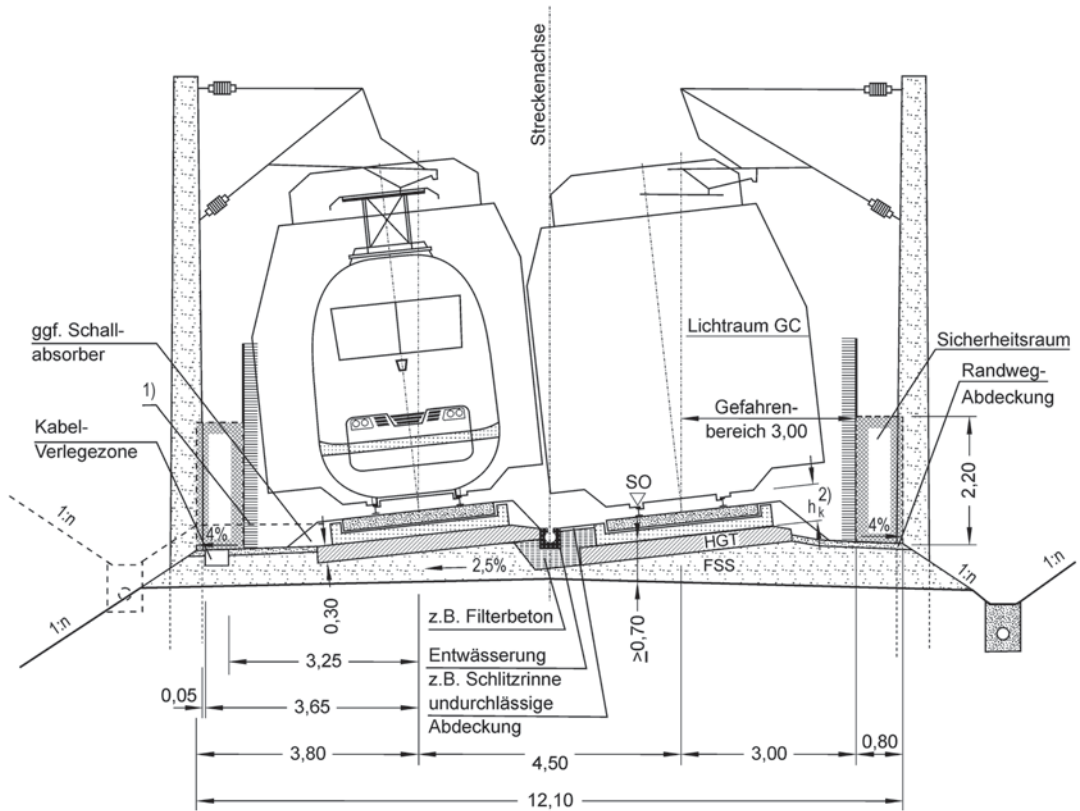


Abb. 6.14 Zweigleisiger Streckenquerschnitt auf Erdkörper; Maße in [m]: $200 < V \leq 300$ km/h, Feste Fahrbahn mit $u=D=170$ mm

Tab. 6.13 Gleisabstand zwischen zwei parallel und höhengleich geführten elektrifizierten Strecken bei Umbau der vorhandenen Oberleitung, Mastbreite oder Mastdurchmesser $\leq 0,80$ m

| Strecke vorhanden | geplant | Gefahrenbereich [m] | Sicherheitsraum [m] | Gleisabstand [m] |
|--------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|------------------|
| Fernbahn ≤ 160 km/h | Fernbahn > 160 km/h | 2,50 3,00 | 0,80 | 6,30 |
| Fernbahn > 160 km/h | Fernbahn > 160 km/h | 3,00 3,00 | 0,80 | 6,80 |
| Fernbahn ≤ 160 km/h | S-Bahn ≤ 140 km/h | 2,50 2,40 | 0,80 | 5,70 |
| Fernbahn > 160 km/h | S-Bahn ≤ 140 km/h | 3,00 2,40 | 0,80 | 6,20 |

Teilen der Umgebung zum Schutz vor Verletzungen durch Anstoßen oder Quetschen ein ausreichender seitlicher Sicherheitsabstand vorzusehen. Dieser muss mindestens 0,50 m breit sein; bei zulässigen Geschwindigkeiten über 30 km/h soll er 0,70 m betragen.

Unter Teilen der Umgebung sind feste Anlagen zu verstehen, aber auch nur vorübergehend

bestehende Hindernisse, wie neben den Gleisen gelagerte Gegenstände, Schienenfahrzeuge im Nachbargleis oder gleisnah geparkte Kraftfahrzeuge. Anlagen, von denen im Bewegungszustand unmittelbar Gefahren ausgehen können, z. B. Kräne in Umschlagbahnhöfen, verlangen vergrößerte seitliche Sicherheitsabstände, die wiederum größere Gleisabstände zur Folge haben.

Tab. 6.14 Abmessungen von Bauwerksquerschnitten (Beispiele)

| Bauwerksart | Geschwindigkeit V [km/h] | Breite [m] bei $0 < D \leq 180$ mm | Nettofläche [m ²] über Laufebene |
|---|--|---|--|
| <i>Tunnel 1-gleisig, Randweg einseitig</i> | $V \leq 160$ | 6,75 | 53,4 |
| | $160 < V \leq 200$ | 6,86 | 54,5 |
| | $V > 200$ | 7,40–7,60 | 60 |
| <i>Tunnel 2-gleisig</i> | $V \leq 300$ | 12,10–13,60 | 92 |
| <i>Brücke, 2-gleisig, Masten zwischen Gleis und Randweg</i> | <i>Geschwindigkeit V [km/h]</i> | <i>Breite [m] bei $D = 0$ mm, Randweg 0,80m</i> | <i>Breite [m] bei $D = 0$ mm, Randweg 1,20 m</i> |
| | $V \leq 160$ | 10,60 | 11,40 |
| | $160 < V \leq 200$ | 11,60 | 12,40 |
| | $V > 200$ | 12,10 | 12,90 |
| | <i>Geschwindigkeit V [km/h]</i> | <i>Breite [m] bei $D \leq 180$ mm, Randweg 0,60/0,80 m</i> | <i>Breite [m] bei $D \leq 180$ mm, Randweg 1,20 m</i> |
| | $V > 200$ | 12,25 | 13,25 |

Tab. 6.15 Freihalten des seitlichen Sicherheitsabstands

| Fahrzeug | Standfläche des Beschäftigten | Höhe des Sicherheitsab- stands über Laufebene [m] | Begrenzungsmaß des Fahrzeugs [m] |
|---------------|----------------------------------|--|-------------------------------------|
| Im Stillstand | Auf Fahrzeug | Bis 3,50 | 1,70 |
| In Bewegung | Neben Fahrzeug | Bis 2,20 | 1,70 |
| In Bewegung | Auf Fahrzeug | Bis 3,50 | 1,75 |

Der Mindestabstand von Hindernissen zur Gleismitte ergibt sich aus dem zutreffenden Begrenzungsmaß des bewegten Schienenfahrzeugs und dem seitlichen Sicherheitsabstand. Die von Hindernissen über Schienenoberkante (SO=Laufebene) freizuhaltende Höhe richtet sich nach der Standfläche der Beschäftigten. Dadurch wird berücksichtigt, dass Beschäftigte an der Außenseite von Fahrzeugen auf erhöhten Standorten mitfahren oder sich hinauslehnen können, z. B. Rangierpersonal (Tab. 6.15).

Das Grenzzeichen muss in Arbeitsstätten dort gesetzt werden, wo der seitliche Sicherheitsabstand auch bei besetzten Gleisen gewahrt ist. Der Gleisabstand am Grenzzeichen ergibt sich somit aus der Summe der Begrenzungsmaße beider Schienenfahrzeuge zuzüglich dem mindestens 0,50 m breiten seitlichen Sicherheitsabstand.

Bei Brücken, bei denen die Oberleitungsmaste zwischen den Randwegen und den Gleisen stehen, bewirkt die Schrägstellung des Lichtraums bei überhöhten Gleisen ein Abrücken dieser Maste von der nächstgelegenen Gleisachse. Randwege können hier im Mastbereich auf 0,60 m Breite eingeschränkt werden. Wenn al-

lerdings der Einsatz von randwegfahrbaren Brückeninspektionsgeräten vorgesehen ist, müssen beide Randwege eine durchgehende Breite von 1,20 m aufweisen.

Tunnel werden entweder 2- oder eingleisig gebaut. Ihre Querschnittsabmessungen richten sich nach aerodynamischen Gesichtspunkten, wobei aber die Gleisabstände und Sicherheitsabstände der freien Strecke erhalten bleiben. Die Fahrbahnquerschnitte werden im Allgemeinen als liches Maß zwischen den Tunnelwänden in der Höhe der untenliegenden Schiene gemessen. Bei eingleisigen Tunneln wird auch nur ein einseitiger Randweg vorgesehen und zwar entweder auf der Seite, auf der man die Querschläge zum benachbarten eingleisigen Tunnel erreicht, oder dort, wo man über Notausstiege den Tunnel im Bedarfsfall verlassen kann.

Feste Anlagen dürfen den seitlichen Sicherheitsabstand auf Dauer unterschreiten und bis an die Grenzlinie heranreichen, wenn es der Bahnbetrieb erfordert. Hierzu gehören insbesondere Bahnsteige, Rampen, Laufstege, Antriebe und Signale von Weichen sowie rangiertechnische Einrichtungen. Andere ortsfeste Anlagen sind in

Tab. 6.16 Mindestabstand eines Verkehrsweges neben einem Gleis

| Zulässige Geschwindigkeit [km/h] | Mindestabstand von Teilen der Umgebung zur Gleismitte [m] | Breite des geschwindigkeitsabhängigen Sicherheitsraums [m] | Abstand des Verkehrsweges von Gleismitte [m] |
|----------------------------------|---|--|--|
| 30 | 2,35 | 0,50 | ≥ 1,85 |
| 40 | 2,65 | 0,70 | ≥ 1,95 |
| 50 | 2,80 | 0,70 | ≥ 2,10 |
| 60 | 2,90 | 0,70 | ≥ 2,20 |

Tab. 6.17 Mindestabstand eines Verkehrsweges zwischen zwei Gleisen

| Zulässige Geschwindigkeit [km/h] | Mindestabstand von Teilen der Umgebung zur Gleismitte [m] | Breite des geschwindigkeitsabhängigen Sicherheitsraums [m] | Abstand des Verkehrsweges von Gleismitte [m] |
|----------------------------------|---|--|--|
| 30 | 2,35 | 0,80 | ≥ 1,70 |
| 40 | 2,65 | 0,80 | ≥ 1,85 |
| 50 | 2,80 | 0,80 | ≥ 2,00 |
| 60 | 2,90 | 0,80 | ≥ 2,10 |

diesem Bereich nur zulässig, wenn durch Schutzeinrichtungen bewirkt wird, dass Beschäftigte durch Schienenfahrzeuge nicht gefährdet werden oder wenn bei übersteigbaren Einrichtungen ein Anstoßen oder Quetschen nicht zu befürchten ist.

Auf mindestens einer Seite jedes Gleises muss ein Sicherheitsraum von 0,80 m Breite vorhanden sein, damit sich Beschäftigte vor herannahenden Schienenfahrzeugen in Sicherheit bringen können. Verkehrswege für Personen dürfen sich mit den Sicherheitsräumen überschneiden bzw. überlagern; sie müssen eine durchgehende Breite von mindestens 1,00 m aufweisen und bis in eine Höhe von mindestens 2,00 m (möglichst 2,20 m) über der Wegoberfläche von Hindernissen frei sein.

Wenn Verkehrswege gleichzeitig als Arbeitsplatz für Tätigkeiten an Schienenfahrzeugen genutzt werden, muss die Wegbreite entsprechend größer bemessen sein. Wird kein besonderer Platzbedarf benötigt, z. B. für eine wagentechnische Untersuchung, reicht i. d. R. eine Mindestbreite von 1,30 m aus.

Der Mindestabstand eines Verkehrsweges von der Gleismitte hängt ab von seiner Anordnung, von der Breite des maßgebenden Sicherheitsraums sowie von den in den Gleisen zugelassenen Geschwindigkeiten. Die Maße ergeben sich nach der Unfallverhütungsvorschrift „Eisenbahnen“ der Eisenbahn-Unfallkasse (EUK [8]) aus dem Mindestabstand von Teilen der Umgebung

zur Gleismitte abzüglich der jeweiligen Breite des geschwindigkeitsabhängigen Sicherheitsraums (Tab. 6.16) bzw. der konstanten Breite des Sicherheitsraums von 0,80 m (Tab. 6.17).

In Gleisbögen mit Radien unter 250 m sowie dort, wo regelmäßig mit übergroßen Fahrzeugen oder das Lademaß überschreitenden Sendungen zu rechnen ist, sind die auf die Gleismitte bezogenen Maße entsprechend zu vergrößern.

Liegt ein Verkehrsweg für Personen neben nur einem Gleis (Abb. 6.15), ergibt sich der Mindestabstand fester Anlagen von der Gleismitte (z. B. Gebäude, Zaun, Mast, Wasseranschluss) aus der örtlich erforderlichen Mindestbreite des Verkehrsweges (hier: 1,00 m) zuzüglich des Mindestabstands der Wegkante von der Gleismitte.

Bei Lage zwischen zwei Gleisen (Abb. 6.16) setzt sich der Gleisabstand aus der örtlich erforderlichen Verkehrswegbreite (hier 1,30 m) zuzüglich der beiderseitigen Mindestabstände zusammen.

Befindet sich in einem zwischen zwei Gleisen gelegenen Verkehrsweg für Personen ein punktförmiger Einbau, z. B. ein Mast (Abb. 6.17), müssen auf der einen Seite des Einbaus ein ausreichender seitlicher Sicherheitsabstand und auf der anderen Seite die örtlich erforderliche Mindestbreite des Verkehrsweges (hier 1,00 m) zuzüglich seines Mindestabstands von der Gleismitte vorhanden sein.

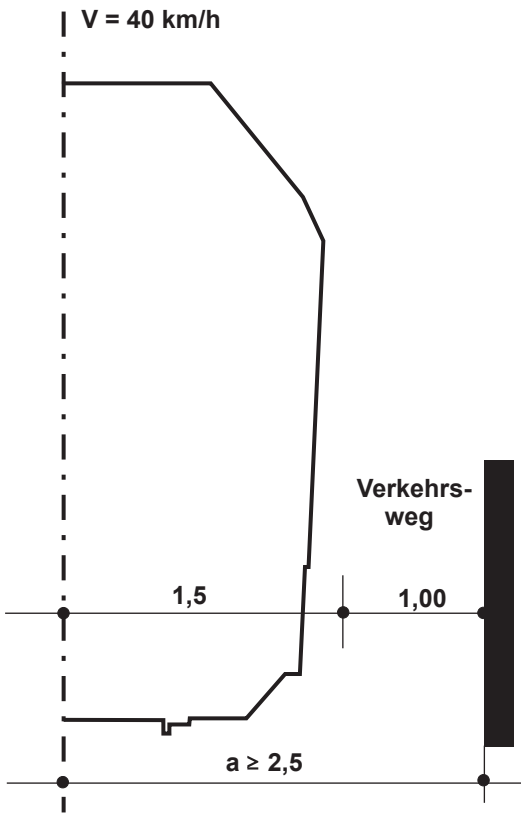


Abb. 6.15 Verkehrsweg neben einem Gleis; Maße in [m]

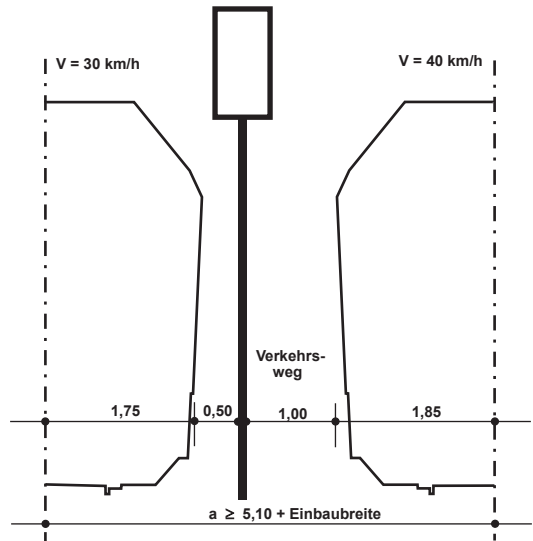


Abb. 6.17 Punktförmiger Einbau im Verkehrsweg; Maße in [m]

Bei längeren Einbauten, wie Gebäuden, Trep-
penabgängen oder durchgehenden Brücken-
widerlagern, ist der Verkehrsweg als neben nur
einem Gleis liegend anzusehen.

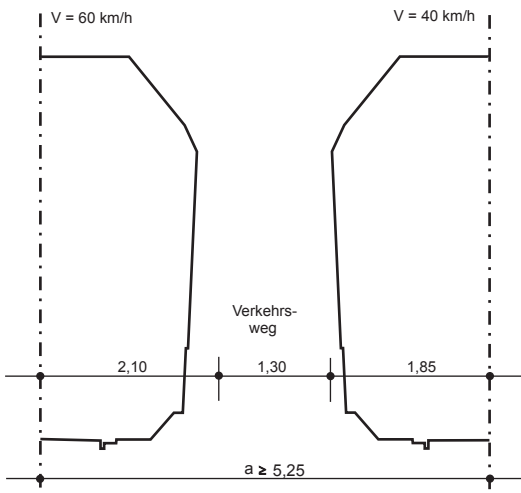


Abb. 6.16 Verkehrsweg zwischen zwei Gleisen; Maße in [m]

6.5 Parallelführung von Schienenweg und Straße

Schienenwege und der darauf abgewickelte Ver-
kehr müssen vor Gefahren geschützt werden, die
von parallel geführten Straßen (Wegen, Plätzen)
ausgehen. Neben dem von Schienenfahrzeugen
in Anspruch genommenen lichten Raum sowie
den Bereichen, in denen sich Beschäftigte zur
Erfüllung ihrer Aufgaben aufhalten können, sind
auch außerhalb liegende feste bauliche Anlagen
(z. B. Stützen von Überführungsbauwerken, Sig-
nal- und Oberleitungsanlagen) einzubeziehen,
wenn deren Beschädigung zu einer Gefährdung
des Eisenbahnbetriebs führen kann.

Risiken im Bereich der Parallelführung sind
insbesondere:

- ein zu geringer Abstand zwischen Schienen-
weg und Straße,
- eine Straßenführung oberhalb des Schienen-
wegs,

- eine ungünstige Trassierung der Straße (auch großes Längsgefälle),
- Gefahrpunkte im Bereich der Straße (z. B. Einmündungen) und des Schienenwegs (z. B. Weichenverbindungen),
- ungünstige Witterungseinflüsse (z. B. häufiger Nebel, starker Schneefall, Glättegefahr),
- Gefahrgut- und Schwerlastverkehr auf der Straße und
- hohe zulässige Geschwindigkeiten auf Schienenweg und Straße.

Die erforderlichen Schutzeinrichtungen und -maßnahmen sind nach den örtlichen Gegebenheiten sowie der vorhersehbaren Verkehrsentwicklung festzulegen und je nach Risikopotenzial zu bemessen (Tab. 6.18).

Einrichtungen zum Schutz des Schienenwegs dürfen in andere Einrichtungen (z. B. Lärmschutzwälle, Windschutzwände) einbezogen werden. Die Schutzwirkung des ausreichenden Abstands, der Geländeprofilierung sowie der gegenseitigen Höhenlage ist bereits bei der Trassierung zu berücksichtigen. Liegt die Straße mehr als drei Meter unterhalb des Schienenwegs, sind i. d. R. keine weiteren Schutzeinrichtungen erforderlich. Den Mindestabstand zwischen Schienenweg und parallel geführter Straße bestimmen insbesondere:

- die jeweiligen Trassenquerschnitte mit den örtlich notwendigen Bauwerken (z. B. Stützmauern, Lärmschutzwände) und Einbauten (z. B. Entwässerungseinrichtungen, Maste, Kabeltrassen),
- die Breitenabmessungen der Schutzeinrichtungen,
- Zuwegungen und Räume für die Instandhaltung, Rettung usw. und
- Räume für vorhersehbare Verbreiterungen.

6.6 Bahnsteiganlagen

6.6.1 Grundsätze für die Konzeption und Gestaltung

Die Querschnittsabmessungen der Bahnanlagen in Personenbahnhöfen werden in besonderem Maße durch die Anordnung der Bahnsteige (Mit-

Tab. 6.18 Schutzeinrichtungen und Maßnahmen

| Gefährdungen | Schutzvorkehrungen |
|--|--|
| Aufprallgefahr durch Straßenfahrzeuge | Schutz des Schienenwegs durch: <ul style="list-style-type: none"> • ausreichenden Abstand zur Straße, • tiefere Lage der Straße, • Erdbauwerke (z. B. Wälle, Gräben), • Bauwerke (z. B. Mauern, Wände, Überbauungen), • Schutzplanken (passive Schutzeinrichtungen) an der Straße, • Anprallschutz für Bauwerke, • sonstige Schutzeinrichtungen (z. B. Fangzäune, Spezialwände, Kiesbett), • verkehrslenkende Maßnahmen auf der Straße (z. B. Überholverbot, Geschwindigkeitsbeschränkung) |
| Blendgefahr durch Straßenfahrzeuge, Verwechslungsgefahr von Lichtzeichenanlagen der Straße mit Signalen der Bahn | Schutz des Eisenbahnbetriebs durch: <ul style="list-style-type: none"> • tiefere Lage der Straße, • Blendschutzzaun an der Straße, • Sichtblenden an den Lichtzeichenanlagen, • Sichtschutz an der Straße, • Versetzen von Lichtzeichenanlagen |
| Gefahr durch Stromschlag an elektrifizierten Strecken | Schutz von Personen durch: <ul style="list-style-type: none"> • Einhalten der Mindestabstände von Fahrzeugen und Einrichtungen der Straße zu allen der Berührung zugänglichen spannungsführenden Teilen der Oberleitung (z. B. auch Standflächen auf zugänglichen Stützwänden), • Einzäunung, • Warnhinweise, Piktogramme |

telbahnsteig, Außenbahnsteig bzw. Hausbahnsteig) sowie deren Anzahl und Breite bestimmt [9]. Grundlage hierfür sind sowohl verkehrliche Bedürfnisse (Fahrgastaufkommen) als auch betriebliche Vorgaben (Betriebsprogramm). Bahnsteige und ihre Zugänge sollen außerdem die Benutzung durch behinderte Menschen und alte Menschen sowie Kinder und sonstige Personen mit Nutzungsschwierigkeiten ohne besondere Erschwernis ermöglichen (§ 2 Abs. 3 EBO), ins-

Tab. 6.19 Bahnsteigzugänge

| Art des Zugangs | Vorteile | Nachteile |
|---|--|---|
| Höhengleiche Gleisquerung (Bahnübergang, Reisendenübergang) mit Anschlussrampen zum Bahnsteig: <ul style="list-style-type: none"> • seitlich innerhalb des Bahnsteigs (im Bestand) • vor Kopf an den Bahnsteig angrenzend | Geringer Instandhaltungsaufwand <ul style="list-style-type: none"> • kürzester Zugang, auch bei geringer Bahnsteigbreite • barrierefreie Gestaltung bei kurzen Wegen, | Sichere Gleisquerung nur bei $V \leq 160$ km/h sowie bei begrenztem Zugverkehr und Reisendenaufkommen <ul style="list-style-type: none"> • nur bei niedrigen Bahnsteigen $\leq 0,38$ m möglich |
| Höhenfreie Gleisquerung (Personenunter- oder -überführung) mit: <ul style="list-style-type: none"> • Rampenbauwerken ($\leq 6\%$) | Vom Zugverkehr unabhängig, ständig verfügbar <ul style="list-style-type: none"> • vollkommen barrierefreier Zugang, geringe Betriebskosten, geeignet als Flucht- und Rettungsweg, ausfallsicher | Vorgeschrieben bei $V > 160$ km/h, hohe Baukosten bei Unter- oder Überführung <ul style="list-style-type: none"> • sehr lange Entwicklungslängen bzw. Wege, daher nicht geeignet bei Überführungen über elektrifizierte Strecken (wegen besonders großer Höhendifferenz) • zusätzliche Aufzüge, Treppen |
| • Aufzügen | • Barrierefreier Zugang; für Reisende mit Gepäck, Kinderwagen, Kofferkulis, Fahrrädern, Rollstuhlfahrer und Personen mit Krankentragen | • Begrenzte Kapazität, nur zusätzlich zu festen Treppen möglich; erhöhte Betriebskosten, störanfällig bzw. nicht ausfallsicher |
| • festen Treppen | • Bequemer Zugang auf kurzem Weg für Reisende ohne Mobilitätseinschränkung, große Kapazität möglich | • Nicht geeignet für Rollstuhlfahrer, nur bedingt geeignet (je nach Höhendifferenz) für Senioren, Reisende mit Fahrrädern, Kinderwagen, Gepäck |
| • Fahrtreppen | • Zur Kapazitätserhöhung fester Treppen bei hohem Personenaufkommen und bei sehr großer Höhendifferenz (> 8 m) | • Bei Fahrtreppen zusätzlich: erhöhte Betriebskosten, störanfällig bzw. nicht ausfallsicher |

besondere durch einen barrierefreien Zugang (Tab. 6.19).

Bei Aufzügen oder Fahrtreppen müssen stets auch feste Treppenanlagen und Rampen vorgesehen werden, weil nur diese – auch als Flucht- und Rettungsweg – ständig verfügbar sind; sie sollen vor Witterungseinflüssen geschützt sein. Feste Treppenanlagen können bei besonderem Bedarf und ausreichenden Platzverhältnissen mit Handgepäck-Förderbändern und Fahrradritten kombiniert werden.

Bahnsteige sollen grundsätzlich an Gleisen mit geradem Verlauf oder im Bereich großer Bogenradien errichtet werden. Hierdurch ergeben sich eine:

- gute Sicht auf die Einstiegsbereiche für den Triebfahrzeugführer bzw. das Abfertigungspersonal,
- einwandfreie Signalsicht,
- hohe Durchfahrtschwindigkeit auch bei fehlender oder geringer Überhöhung,

- vertretbare Spaltbreite zwischen Bahnsteigkante und Einstiegsfläche,
 - geringe Querneigung des Wagenbodens während des Halts (erleichtertes Öffnen der Außentüren und von Schiebetüren im Wageninneren).
- Bahnsteige sind mit ihrem Kantenverlauf an die Linienführung der Gleise (Sollgleislage) gebunden. Die Lage an Gleisen mit einer Längsneigung von mehr als 2,5‰ sowie mit engen Gleisbogen (< 500 m Radius) und größeren Überhöhungen (> 60 mm) wirkt sich nachteilig auf die Einstiegsverhältnisse aus. Bei der Standortplanung und bei der Planung der Linienführung am Bahnsteig soll dies berücksichtigt werden.

6.6.2 Abmessungen

Die Mindestlänge der Bahnsteige richtet sich nach der vorgegebenen betrieblich nutzbaren Länge der planmäßig haltenden Reisezüge.

Tab. 6.20 Nennhöhen für den Bau von Personenbahnsteigen

| Nennhöhe bezogen auf die Lauffläche [m] | Zulässigkeit nach EBO (nur für Neu- und Umbau) bzw. TSI | Barrierefreie optimierte Fahrzeuge (rollstuhlgerecht) | Bedingt barrierefreie Fahrzeuge (Trittstufe als Einstiegsebene) |
|---|---|--|---|
| 0,96 | Größte zulässige Höhe (nur für Linien mit S-Bahnfahrzeugen) | S-Bahnfahrzeuge mit ~1 m Wagenbodenhöhe im Einstiegsbereich | – |
| 0,76 | Regelhöhe (DB, TSI) | Fahrzeuge des Fern- und Regionalverkehrs sowie S-Bahnfahrzeuge mit ~0,8 m Wagenbodenhöhe im Einstiegsbereich | Unterste Trittstufe auf ~0,8 m |
| 0,55 | Regelhöhe (DB, TSI) | Fahrzeuge des Regional- und Fernverkehrs mit ~0,6 m Wagenbodenhöhe im Einstiegsbereich | Unterste Trittstufe auf ~0,6 m |
| 0,38 | Niedrigste zulässige Höhe | Niederflurfahrzeuge mit ~0,35 m Wagenbodenhöhe im Einstiegsbereich | Unterste Trittstufe auf ~0,4 m |

Grundsätzlich muss sichergestellt sein, dass alle Einstiegsbereiche am Bahnsteig liegen. Je nach Zuglänge betragen die Regellängen zwischen 60 m (z. B. zweiteilige Triebwagen) und 405 m (größte internationale Länge von Triebzügen). Bei Bahnsteigen, die für den gleichzeitigen Halt zweier Züge an derselben Bahnsteigkante unterteilt sind, können sich abweichende Baulängen ergeben. Auch andere örtliche und betriebliche Situationen (z. B. Nutzung im Kopf- oder Durchgangsbahnhof, Anordnung der Bahnsteigzugänge und -abschlüsse, Weichenverbindungen im Bahnsteigbereich, Signalstandorte, Doppeltraktion) haben Einfluss auf die Baulänge.

Bahnsteige sollen ein barrierefreies, d. h. bequemes, schnelles und sicheres Ein- und Aussteigen ermöglichen. Der Idealfall im Hinblick auf mobilitätseingeschränkte Reisende ist ein stufenfreier Übergang zwischen Bahnsteig und Einstiegsbereich der Fahrzeuge mit einer rollstuhlgerechten Höhendifferenz und Spaltbreite. Dies ist nur in solchen Teilnetzen erreichbar, in denen alle Fahrzeuge auf eine einheitliche Bahnsteighöhe sowie auf den Verlauf der Bahnsteigkante bzw. auf die Linienführung des Bahnsteiggleises optimiert sind (z. B. Bahnsteigkanten an Gleisen, die von gleichartigen S-Bahnfahrzeugen genutzt werden).

Beim Verkehren von Fahrzeugen mit unterschiedlich hohen Einstiegsebenen (Trittstufen bzw. Wagenboden im Einstiegsbereich) sind hinsichtlich der Höhe der Bahnsteigkanten nur Kompromisse möglich. So lassen sich solche Hö-

hendifferenzen von Rollstuhlfahrern nur durch fahrzeug- oder bahnsteigseitige Einstiegshilfen (z. B. mobile Rampen, Hublifte) überwinden, was allerdings zu einer Verlängerung der Aufenthaltszeit führen kann.

Die Höhe der Bahnsteigkante sollte etwas unterhalb der Einstiegsebene der Fahrzeuge liegen, da andernfalls zum einen die Durchgangshöhe im Einstiegsbereich verringert wird (Verletzungsgefahr), und zum anderen das Hinabsteigen in bzw. das Hinaufsteigen aus dem Fahrzeug dazu führen kann, dass Personen verunsichert werden (Stolpergefahr), was die Fahrgastwechselzeit verlängern kann.

Die Einbaumaße für Bahnsteigkanten berücksichtigen den Raumbedarf bei horizontalen und vertikalen Bewegungen der Fahrzeuge sowohl beim Vorbeifahren als auch beim Halt am Bahnsteig sowie Gleislageunregelmäßigkeiten und Bautoleranzen des Oberbaus. Außerdem enthalten sie Einbautoleranzen. Die Abstände der Bahnsteige von der Gleisachse hängen darüber hinaus von der Höhe der Bahnsteigkante, ihrer Anordnung der Bahnsteigkante am Außen- oder Innenbogen sowie dem Gleisbogenradius und der Überhöhung des Bahnsteiggleises ab.

Die Einbaumaße sind dem DB-Regelwerk (Ril 813.0201 A03) zu entnehmen. Damit beim Übergang von einem Radienbereich zum folgenden keine horizontalen und vertikalen Sprünge entstehen, sind die Abstandsmaße gemäß Bild 4 und 5 dieser Ril zu vermitteln.

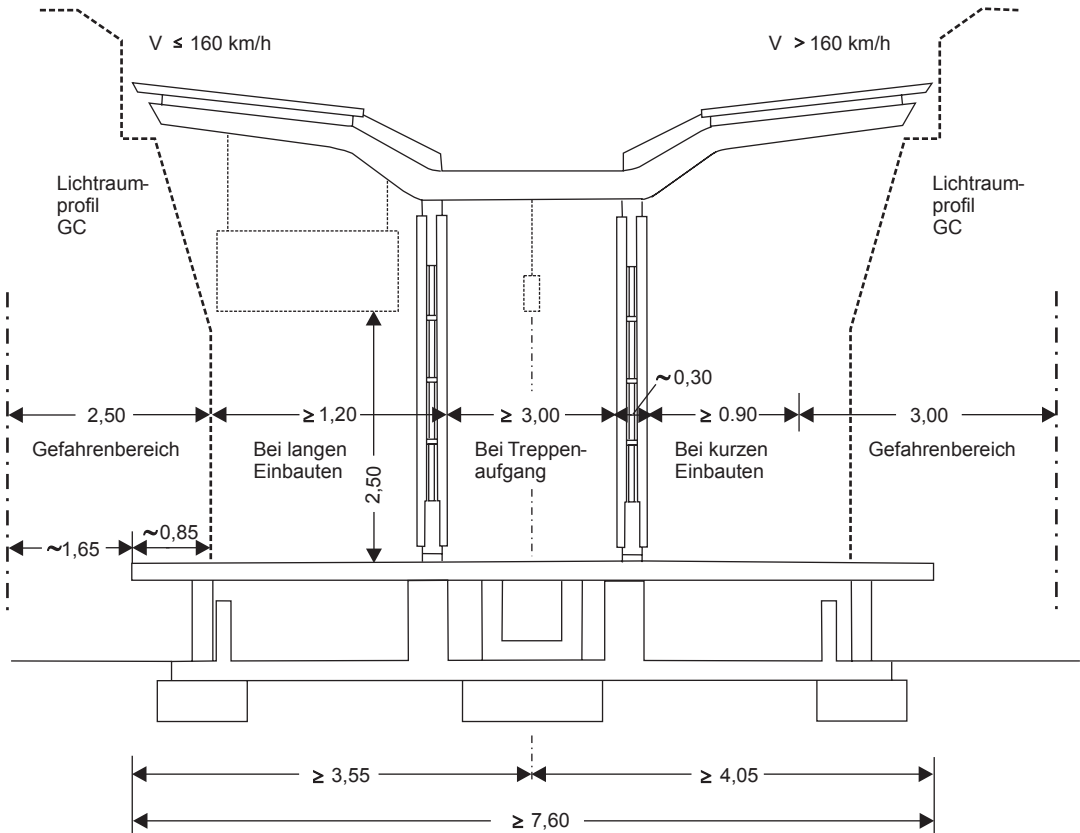


Abb. 6.18 Querschnitt durch einen Mittelbahnsteig mit Treppenzugang; Maße in [m]

Die Mindestbreite der Personenbahnsteige (Abb. 6.18) richtet sich nach:

- der Bahnsteiganordnung (Außen- oder Mittelbahnsteig),
- dem auf dem Bahnsteig freizuhaltenen Gefahrenbereich für Zugdurchfahrten,
- der Breite der Bahnsteigzugänge und Einbauten (z. B. Treppenanlagen, Rampen, Aufzüge, Einhausungen und Warteräume) sowie nach deren erforderlichem Abstand vom benachbarten Gleis bzw. zur Bahnsteigkante oder zu anderen Bauwerken,
- dem Fahrgastaufkommen (Anzahl Gehspuren von 0,80 m Breite, bei Treppenanlagen i. d. R. mindestens drei Gehspurbreiten) und
- den barrierefreien Durchgangsbreiten neben Einbauten (i. d. R. mindestens zwei Gehspuren, für Rollstuhlnutzung in verengten Bereichen mindestens 1,20 m außerhalb des Gefahrenbereichs).

Die Längsneigung neuer Bahnsteige soll 2,5% nicht überschreiten. Bahnsteige ohne Überdachung müssen ein Quergefälle von ca. 2% vom Gleis weg erhalten.

Der Abstand der Bahnsteigkanten von der Gleisachse beträgt ungefähr 1,65 m. Der Gefahrenbereich wird von Gleisachse aus gemessen angenommen zu:

- 2,50 m bei $V \leq 160$ km/h
- 3,00 m bei 160 km/h $< V \leq 200$ km/h und
- 3,70 m bei 200 km/h $< V \leq 230$ km/h.

Darüber hinaus ist die Vorschrift der EBO (§ 13 Abs. 2) zu beachten, dass feste Gegenstände auf Personenbahnsteigen (z. B. Säulen) bis zu einer Höhe von 3,05 m über Lafebene mindestens 3,00 m von der Gleismitte entfernt sein müssen.

Befindet sich am Bahnsteigende kein öffentlicher Zugang und beträgt die Geschwindigkeit durchfahrender Züge höchstens 160 km/h, dürfen Außenbahnsteige im Endbereich bis auf 2,00 m

Breite verjüngt werden. Wenn jedoch die Regelungen der TSI-PRM anzuwenden sind, darf die Mindestbreite von 2,50 m dort nicht unterschritten werden. Das Maß von 2,50 m gilt auch allgemein als Mindestwert für die verjüngten Endbereiche von Mittelbahnsteigen.

Die Anordnung von Bahnsteigen an Gleisen, die mit mehr als 200 km/h befahren werden, ist nur beim Ausbau vorhandener Strecken bis zu einer Durchfahrgeschwindigkeit von 230 km/h zulässig, wenn der aus aerodynamischen Gründen verbreiterte Gefahrenbereich durch ein unterbrochenes festes Gelände gegen den Aufenthaltsbereich auf dem Bahnsteig abgegrenzt ist. Bei neuen Hochgeschwindigkeitsstrecken dürfen Bahnsteige grundsätzlich nicht an die durchgehenden Hauptgleise gelegt werden.

4. Jacobs K, Mittmann W (1993) Neue Lichtraumbestimmungen auf kinematischer Grundlage – Regeln, Auswirkungen, Perspektiven. In: Heinisch R, Koch P, Kracke R, Rahn Th (Hrsg) Edition ETR – Erstellen und Instandhalten von Bahnanlagen. Hestra-Verlag, Darmstadt
5. Freystein H, Muncke M, Schollmeier P (2008) Handbuch Entwerfen von Bahnanlagen, 2. Aufl. DVV Media Group/Eurailpress, Hamburg
6. Richtlinie 800.0130 der DB Netz AG (2006) Netzinfrastruktur Technik entwerfen; Streckenquerschnitte auf Erdkörpern, Entwurfsstand 01.12.2006 (fortgeschrieben)
7. Richtlinie 997.0101 der DB Netz AG (2001) Oberleitungsanlagen; Allgemeine Grundsätze
8. Unfallverhütungsvorschrift GUV-VD 30.1 „Eisenbahnen“ (1998) § 5 Abs. 2 und 3. Eisenbahn-Unfallkasse (EUK), Frankfurt am Main
9. Richtlinie 813.0201 der DB Station & Service AG (2005) Personenbahnhöfe planen; Bahnsteige konstruieren und bemessen

Literatur

1. CEN (2013) EN 15273-1 bis 3
2. Delvendahl H (1976) Die kinematische Begrenzung der Fahrzeuge als neu vereinbarte internationale Fahrzeugbegrenzung. In: Archiv für Eisenbahntechnik (AET) 31. Tetzlaff Verlag, Darmstadt
3. Eisenbahnbau- und Betriebsordnung (EBO) vom 8. Mai 1967, Ausgabe 1992

Tristan Mölter und Michael Fiedler

7.1 Definition Ingenieurbauwerke

Als Ingenieurbauwerke bezeichnet die DIN 1076 Brücken, Tunnel, Trogbauwerke, Stützbauwerke mit mindestens 1,5 m sichtbarer Höhe, Lärmschutzwände mit mindestens 2 m sichtbarer Höhe und Bauwerke, für die ein statischer Einzelstand-sicherheitsnachweis erforderlich ist, z. B. Regen-rückhaltebecken und Schachtbauwerke.

7.2 Geschichte der Deutschen Eisenbahn

Die erste mit Lokomotiven betriebene Eisenbahn in Deutschland nahm 1835 den öffentlichen Personen- und Güterverkehr auf. Und dies bereits mit der bis heute üblichen Normalspur mit einer Spurweite von 1435 mm. Der Aufbau des Eisenbahnnetzes erfolgte anfänglich durch private Gesellschaften sowie bald auch durch Staatsbahnen.

Nach der deutschen Einigung von 1871 entstand in den einzelnen Bundesstaaten eine Reihe von staatlichen Länderbahnen. Die zahlreichen in dieser Zeit gebauten Privatbahnen bedienten i. d. R. den Regional- und Nahverkehr. Nach dem Ersten Weltkrieg wurden die Länderbahnen vom

Deutschen Reich übernommen und in der 1924 gegründeten Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft zu einem einzigen Staatsunternehmen zusammengefasst, das den größten Teil des Eisenbahnverkehrs in Deutschland betrieb.

Mit dem Ende des Zweiten Weltkrieges entstanden als Folge der deutschen Teilung mit der Deutschen Bundesbahn in der Bundesrepublik Deutschland sowie der Deutschen Reichsbahn in der DDR zwei Staatsbahnen. Nach der deutschen Wiedervereinigung 1990 wurden die beiden Staatsbahnen durch die Bahnreform am 01.01.1994 zum privatwirtschaftlichen Unternehmen in der Deutschen Bahn AG zusammengefasst. Privaten Bahnunternehmen (Eisenbahnverkehrsunternehmen – EVU) wurde damit ein diskriminierungsfreier Zugang zum Eisenbahnnetz verschafft sowie der Schienen-Personenverkehr durch die Regionalisierung den Bundesländern übertragen.

7.3 Eisenbahnbrücken

7.3.1 Geschichte der Eisenbahnbrücken in Deutschland

1835 wurde der öffentliche Eisenbahnbetrieb in Deutschland aufgenommen. Im Zuge des Ausbaus des Streckennetzes in Deutschland sind auch Eisenbahnbrücken in wegweisender Art und Weise errichtet worden, die noch heute Meilensteine im Deutschen Eisenbahnbrückenbau

T. Mölter (✉)
84149 Velden, Deutschland
E-Mail: tristan.moelter@gmx.de

M. Fiedler
85540 Haar, Deutschland
E-Mail: fiedlerm69@gmail.com

Abb. 7.1 Gewölbebrücke

darstellen. Die ersten Eisenbahnbrücken wurden aus Holz gebaut. Dabei überbrückte die erste große Eisenbahnbrücke auf der Strecke Leipzig–Dresden (Baujahr 1837 bis 1839) bei Riesa die Elbe. Der Baustoff Holz wurde später durch Stein und Stahl ersetzt, da diese Baustoffe in der Lage waren, die Beanspruchungen infolge der erhöhten Lasten und Geschwindigkeiten besser zu ertragen sowie die Anforderungen an die Dauerhaftigkeit besser zu erfüllen.

Dabei spielte der Baustoff Stein in Gewölbebrücken (Abb. 7.1) bis zu Beginn des 20. Jahrhunderts eine wesentliche Rolle.

Die Weiterentwicklung der Erzverarbeitung führte zur Entwicklung des Gusseisens. Hierbei wurde das Eisenerz in Tiegel zum Schmelzen gebracht und in Blöcke gegossen. Diese Technologie legte den Grundstein für die gusseisernen Eisenbahnbrücken. Die ersten Brücken dieser Art wurden um 1840 in Baden-Baden gebaut. Hierbei handelte es sich um Balkenbrücken, deren Träger T- oder U-förmige Querschnitte hatten. Wegen seiner spröden Materialeigenschaften eignete sich das Gusseisen aber nicht für längere Brücken.

Da es in der damaligen Zeit sehr viele Eisenbahngesellschaften gab, und diese über wenig Kapital verfügten, verzögerte sich der Ausbau der Infrastruktur. Auf der Suche nach der güns-

tigsten Strecke von Leipzig über Plauen und Hof bis nach Nürnberg, beschloss die Sächsisch-Bayerische-Eisenbahn den Bau zweier großer Brücken; der Göltzschtalbrücke und der Elstertalbrücke. Die größere der beiden Brücken sollte dabei die Göltzschtalbrücke (bei Reichenbach im Vogtland) sein. Da die finanziellen Mittel begrenzt waren, entschied sich die Sächsisch-Bayerische-Eisenbahn zur Auslobung eines Preisgeldes für den besten Entwurf, bei welchem zwar eine große Anzahl einging, jedoch keiner der damaligen Ingenieurskunst entsprach. Der Leiter der Kommission, Professor Johann Andreas Schuberth, entwarf daraufhin unter Berücksichtigung seiner eigenen Erfahrungen mit statischen Berechnungen selbst eine Lösungsmöglichkeit und verwendete dabei einzelne Anregungen aus den eingegangenen Vorschlägen und des bereits im Sommer 1845 fertiggestellte Viaduktes in Leubnitz. Damit wurde die Brücke die erste nach statischen Gesichtspunkten bemessene der Welt. Der Planer sah als hauptsächlichen Baustoff Ziegel vor, weil in der Gegend große Lehmvorkommen vorhanden waren und somit Ziegel kostengünstig und schnell beschafft werden konnten. Nur in einigen besonders stark beanspruchten Bauwerksteilen plante er die Verwendung von Granit.



Abb. 7.2 Göltzschtalbrücke; Briefmarke

Die Baustelle der Göltzschtalbrücke (Abb. 7.2) war für ihre Zeit außergewöhnlich. Nicht nur ihre Größe sondern insbesondere die mit der Ziegelbauweise erforderliche Baustellenlogistik war als äußerst komplex zu bezeichnen. So wurden täglich 50.000 Ziegel von fast 20 Ziegeleien entlang der Bahnstrecke gebrannt. Daneben benötigte allein das Baugerüst 23.000 Bäume. Die Göltzschtalbrücke war nach der Fertigstellung und Einweihung am 15. Juli 1851 die höchste Eisenbahnbrücke der Welt und ist heute immer noch die weltweit größte Ziegelbrücke.

Bereits wenige Jahre nach Einweihung der Göltzschtalbrücke wurden im Jahre 1857 drei richtungsweisende Eisenbahnbrücken in Betrieb genommen. Zum einen die Wechsel- und Nogat-Brücke bei Dirschau und zum anderen die Großhesseloher Brücke bei München (Abb. 7.3). Bei

diesen Brücken handelt es sich um die größten zu dieser Zeit errichteten eisernen Eisenbahnbrücken in Deutschland. Die Großhesseloher Brücke wurde in den Jahren 1851 bis 1857 errichtet. Der Entwurf stammte von Friedrich August von Pauli, einem Ingenieur und Pionier des Eisenbahnbrückenbaus. Bereits der erste Entwurf sah einen zweigleisigen Betrieb vor. Die Eisenbahnbrücke hatte dabei eine getrennte Tragkonstruktion, welche durch Fachwerk-Linsenträger (sog. Pauli-Träger) gekennzeichnet waren. Am 31. Oktober 1857 war die Einweihung.

Die immer höher werdenden Achslasten der Züge erforderten, dass die Großhesseloher Brücke in den Jahren 1908, 1936, 1941 und 1961 immer wieder umgebaut werden musste. In den Jahren 1983 und 1984 wurde die alte Großhesseloher Brücke durch eine neue Brücke ersetzt. Erwähnenswert ist dabei, dass bei der Baumaßnahme die bisher längste Hilfsbrücke der Welt errichtet wurde. Um den Eisenbahnbetrieb aufrechtzuerhalten, wurde neben der bestehenden Großhesseloher Brücke eine SKB-Hilfsbrücke (Schaper-Krupp-Bundesbahn) über eine Länge von 330 m errichtet. Im Oktober konnte die neue Großhesseloher Brücke mit einer feierlichen Überfahrt mit einem Nachbau des historischen Adlers eingeweiht werden.



Abb. 7.3 Großhesseloher Brücke bei München 1857

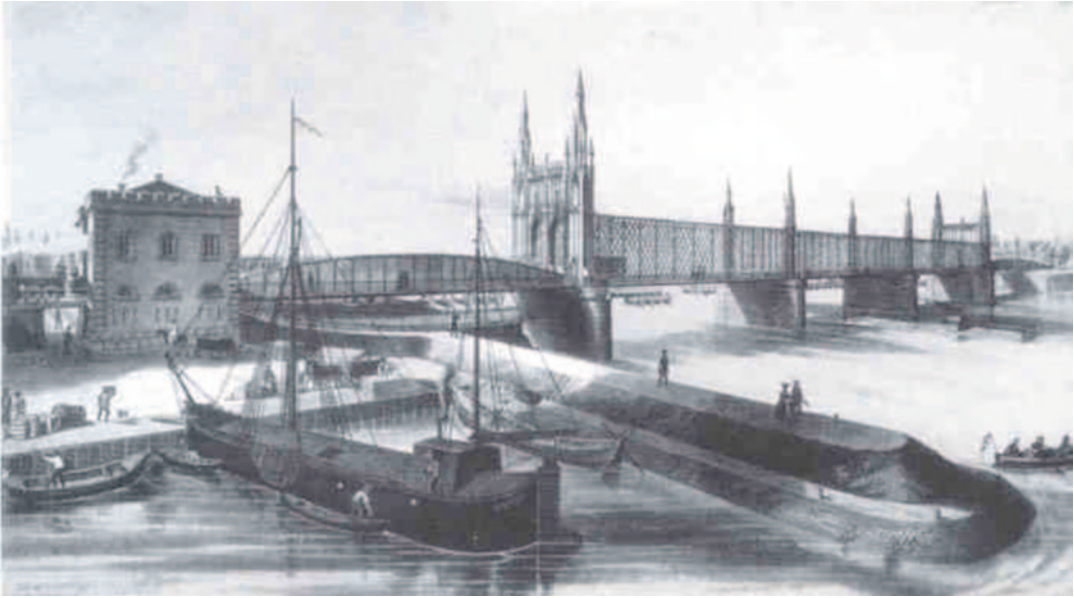


Abb. 7.4 Rheinbrücke Kehl; 1861

Zur gleichen Zeit breitete sich die Köln-Mindener Eisenbahngesellschaft im Westen Deutschlands immer mehr aus. Der Rhein bildete im aufstrebenden Westdeutschland eine Trennung zwischen wichtigen Handelszentren. Um die Waren leichter und zuverlässiger über den Rhein transportieren zu können, strebte die Eisenbahngesellschaft den Bau von Eisenbahnbrücken an. Dies waren im Jahr 1859 die beiden Rheinbrücken in Waldshut und Köln. Damit war der Eisenbahnverkehr zwischen dem westeuropäischen und dem mitteleuropäischen Schienennetz erschlossen.

Eine weitere bedeutende Brücke über den Rhein zwischen Deutschland und Frankreich ist die Brücke bei Kehl (Abb. 7.4). Der Baubeginn war 1858, die Inbetriebnahme erfolgte 1861. Die Brücke wurde zweigleisig ausgelegt und hatte eine Gesamtlänge von 235 m. Der mittlere Teil der Brücke bestand aus drei Feldern und hatte eine Länge von 177 m. Das Fachwerk wurde mit 6 m hohen Gitterträgern ausgebildet. Die Montage erfolgte durch den Einschub der Brücke in Gänze.

Nachdem Zustand und Kapazität der Brücke nicht mehr den heutigen Anforderungen gewachsen waren, wurde eine neue Brücke errichtet und

im Jahre 2010 als neue Rheinbrücke Kehl in Betrieb genommen. Die neue Brücke gehört zum Transeuropäischen Netz und stellt damit einen entscheidenden Baustein auf der Achse zwischen Deutschland und Frankreich dar. Erwähnenswert ist, dass als Oberbauart die Feste Fahrbahn gewählt wurde. Damit wurde die Feste Fahrbahn auf Stahlbrücken erstmalig in dieser Länge verwendet. Als Fahrbahnüberbrückungskonstruktion der Feste Fahrbahn im Übergang zwischen Brücke und Widerlager wurden sog. Ausgleichsplatten eingebaut, die die Bewegungen und Verformungen an der Trennfuge auf die zulässigen Grenzwerte reduzieren.

1862 wurde als weitere wichtige Verbindung die Rheinbrücke bei Mainz in Betrieb genommen. Und im Jahre 1863 war Baubeginn der weltweit ersten Eisenbahnschiffbrücke über den Rhein bei Maximiliansau, welche 1865 ihren Betrieb aufnahm. Im Norden von Deutschland wurde das Eisenbahnnetz mit der Inbetriebnahme der Hamburger Elbbrücken um 1872 immer geräumiger erschlossen.

Am Ende des 19. Jahrhunderts beherrschten die Ingenieure den Baustoff Stahl zunehmend. In dieser Zeit entstanden weitere herausragende Eisenbahnbrücken. So wurde 1893 mit dem Bau



Abb. 7.5 Müngstener Brücke

der Müngstener Brücke (Abb. 7.5) begonnen. Die Müngstener Brücke ist eine stählerne Bogenbrücke, die das Tal der Wupper mit einer Stützweite von 170 m bei einer Gesamtlänge von 465 m überspannt. Die Höhe der Brücke beträgt 69 m, was zur damaligen Zeit Weltrekord bedeutete. Das stählerne Tragwerk der Brücke wird von insgesamt etwa 950.000 Nieten sowie der Legende nach einem goldenen Niet zusammengehalten. Am 15.07.1897 fand die offizielle Einweihungsfeier der Brücke statt.

Ein weiteres herausragendes Ingenieurbauwerk ist die Hochbrücke Rendsburg (Abb. 7.6). Diese wurde zwischen 1911 und 1913 als beeindruckende Stahlkonstruktion erbaut. Sie ist ein wichtiges Bauwerk für die Nord-Süd-Verbindung, da sie den Nord-Ostsee-Kanal überspannt. Die Brücke hat eine Gesamtlänge von knapp 2,5 km. Der Nord-Ostsee-Kanal wird dabei mit einer Länge von 317 m und einer Höhe von 42 m überspannt. Insgesamt wurden damals 934.456 Niete verbaut, die die „Eisenstangen“ der Brücke zusammenhalten.

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts entwickelte sich die Stahl- und Betontechnologie immer weiter. Daraus ergab sich die Möglichkeit die günstigen Eigenschaften der beiden Baustoffe in einem Tragwerk zu nutzen. Die hohe Druckfestigkeit des Betons und die hohe Zugfestigkeit des Stahls werden in einem Verbundträger aus Beton in der Druckzone und Stahl in der Zugzone kombiniert. Der sog. Walzträger in Beton (WIB) (Abb. 7.7) war entstanden. Damit war es möglich, kleine bis mittlere Stützweiten kostengünstig und schnell zu überbrücken.

In der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurde auch der Baustoff Zement weiterentwickelt sowie dessen Weiterverarbeitung zu Beton immer weiter verbessert. In dieser Zeit kamen die reinen Stahlbetonrahmen (Abb. 7.8) für kleinere Stützweiten in Mode.

Die Weiterentwicklung der Bautechnologien setzte sich nach dem 2. Weltkrieg weiter fort. So entstanden Vorspanntechniken, die den Spannbetonbau erst möglich machten.

Abb. 7.6 Hochbrücke Rendsburg über den Nord-Ostsee-Kanal



Abb. 7.7 Walzträger in Beton (WIB-Bücke)



Abb. 7.8 Stahlbetonrahmen

Ein weiterer Höhepunkt des Eisenbahnbrückenbaus war die Errichtung der Maintalbrücke Gemünden (Abb. 7.9), die im Jahre 1983 in Betrieb ging. Die Eisenbahnbrücke hat eine Gesamtlänge von 793 m. Erwähnenswert ist, dass es sich bei der Eisenbahnbrücke lange Zeit um die weitgespannteste Eisenbahn-Spannbetonbrücke handelte. Zusätzlich darf nicht unerwähnt bleiben, dass sich am Fußpunkt der Festpunktpfeiler die größten jemals gebauten Betongelenke (Abb. 7.10) befinden. Diese Betongelenke haben Abmessungen von 0,40 m auf 6,60 m und sind für Auflasten von 120 MN dimensioniert.

7.3.2 Aktuelle Entwicklungen im Eisenbahnbrückenbau

Im Zuge des weiteren Ausbaus von Strecken und des Hochgeschwindigkeitsverkehrs scheint es notwendig, im Eisenbahnbrückenbau innovative Entwicklungen zu beschreiten. Neben den bewährten Bauweisen, die in den Richtlinien und Richtzeichnungen des eisenbahntechnischen Regelwerks – insbesondere der Richtlinie 804 – beschrieben sind, werden in der letzten Zeit vermehrt neue Bauweisen mit dem Ziel erprobt, bei gleichbleibendem Zuverlässigkeitsniveau Kosten entweder durch Verringerung der Bau-

Abb. 7.9 Mainbrücke
Gemünden



Abb. 7.10 Betongelenk

zeit, den verringerten Materialeinsatz oder einer Kombination aus beidem zu senken. Der folgende Abschnitt befasst sich beispielhaft mit vier Entwicklungen. Zum einen wäre dies die semi-integrale Bauweise, als zweites die Ausführung von stählernen Bogenbrücken mit einem Bogenetzwerk dann, die Standardisierung von Rahmenbauwerken und als viertem Trogbriücken mit dicken Blechen als Ersatz für zumeist innerstädtische Brücken mit geringer Bauhöhe.

Da für den Bereich der Eisenbahnen in Deutschland derzeit keine koordinierende Forschungsstelle (Behörde) benannt ist, ist die Grundlagenforschung im Bereich der Eisenbah-

nen verbesserungswürdig. In Einzelfällen ist es daher notwendig, Forschungen unter Eisenbahnbetrieb auf systemrelevanten Strecken durchzuführen.

7.3.2.1 Talbrücken in semi-integraler Bauweise

Im Gegensatz zu konventionellen Brücken, kommen integrale Brücken ohne Lager und Dehnfugen aus. Über- und Unterbau werden zu einem monolithischen Bauwerk „gegossen“. Das gesamte Bauwerk ist im Baugrund eingebettet und steht mit dem „Baustoff“ Boden in Interaktion. Sorgfältig geplant, entstehen einfache robuste Konstruktionen, zu denen auch die typischen Rahmenbauwerke (Abb. 7.11) zählen.

Beim Neubau des Verkehrsprojekts Deutsche Einheit Nr. 8 (VDE 8) wurde die semi-integrale Bauweise (Abb. 7.12) für einige Talbrücken gewählt. Zu diesen Brücken zählen die Unstruttalbrücke, die Scherkondetalbrücke (Abb. 7.13), die Grubentalbrücke, die Stöbnitztalbrücke oder auch die Gänsebachtalbrücke.

Semi-integrale Brücken stellen eine Mischform zwischen konventioneller und integraler Bauweise dar.

Bei der semi-integralen Bauweise wird eine gewisse Verformungsfähigkeit der Tragwerke

Abb. 7.11 Konventionelle Bauweise (oben) und integrale Bauweise (unten)

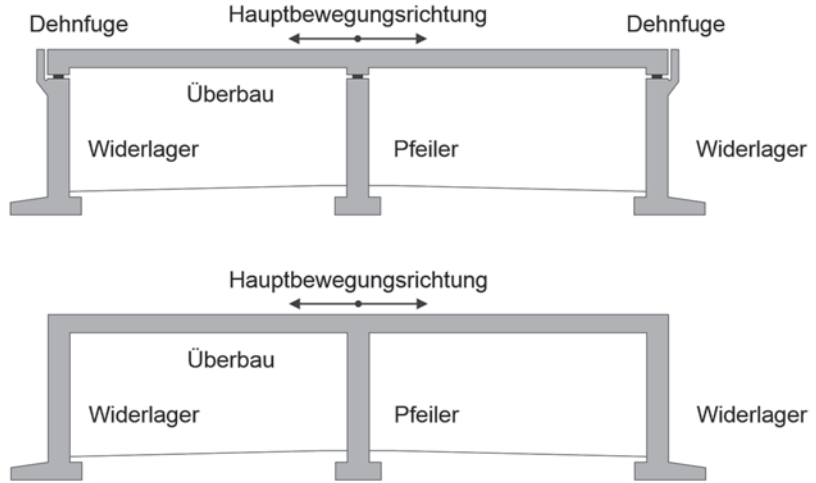
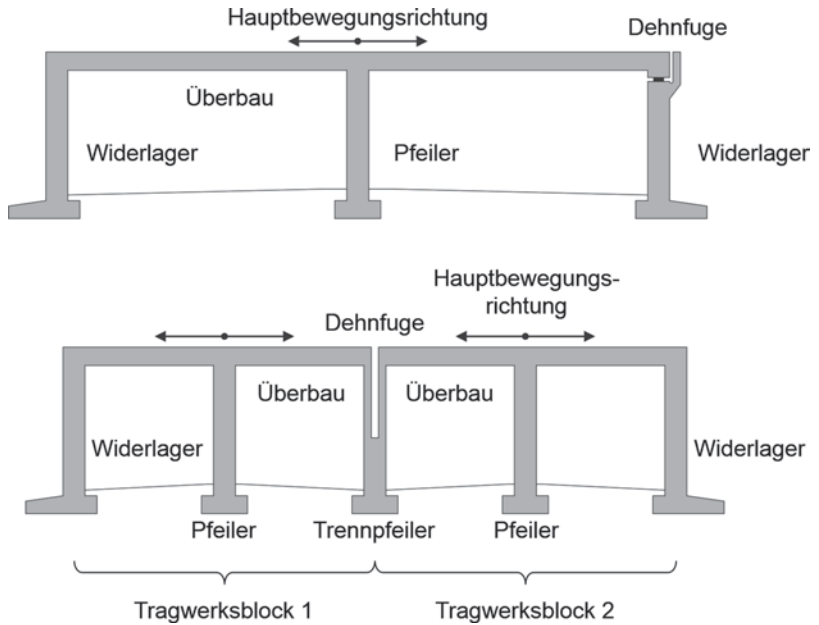


Abb. 7.12 Semi-integrale Bauweise



angestrebt, um die Zwangsschnittkräfte in ihrer Größe zu begrenzen. Da das konzipierte Tragwerk aus gestalterischen Gründen relativ schlank und im Resultat deutlich verformungsfähiger ist als eine entsprechende konventionelle Eisenbahnbrücke, stellt die Betriebssicherheit der Fahrbahn einen der wesentlichen Aspekte bei der Beurteilung dar. Die absoluten Verformungen des integralen Tragwerks haben einen entscheidenden Einfluss auf die zusätzlichen Schienenspannungen. Dagegen sind konventionelle Einfeldträgersysteme mit ihren steifen Unterbauten

in Bezug auf zusätzliche Schienenspannungen unproblematisch. Mit der semi-integralen Bauweise für Talbrücken im Zuge einer Hochgeschwindigkeitsstrecke, wird der bisherige Erfahrungsbereich für derartige Eisenbahnbrücken deutlich verlassen. Einerseits weist die Konzeption gestalterische Vorzüge auf, Bauwerksfugen sowie Lager als Verschleißteile werden minimiert, andererseits muss jedoch sichergestellt sein, dass die Anforderungen nach den Eurocodes sowie der Richtlinie 804 ebenso zuverlässig erfüllt werden, wie durch die konventionelle



Abb. 7.13 Scherkondetalbrücke als semi-integrales Bauwerk

Bauweise. In diesem Zusammenhang sind insbesondere die deutlich geringeren Steifigkeiten der Unterbauten, der große Einfluss der Interaktion zwischen Baugrund und dem Brückentragwerk sowie der großen Temperaturverformungen zwischen monolithisch angeschlossener Widerlager und der Hinterfüllung im Jahresgang (Abb. 7.14) gegenüber einer Eisenbahnbrücke in Regelbauweise zu beachten.

Ein ganz wesentlicher Vorteil liegt in seiner gegenüber der konventionellen Bauweise mit Einfeldträgersystem deutlich höheren ästhetischen Qualität. Dadurch steigt die Akzeptanz für derartige Bauwerke in der Öffentlichkeit. Weitere Vorteile ergeben sich hinsichtlich der Dauerhaftigkeit durch die Minimierung der Bauwerksfugen und den weitgehenden Verzicht auf Lager. Durch den durchlaufenden Überbau entstehen hinsichtlich der Tragsicherheit zusätzliche Systemreserven. Demgegenüber steht eine

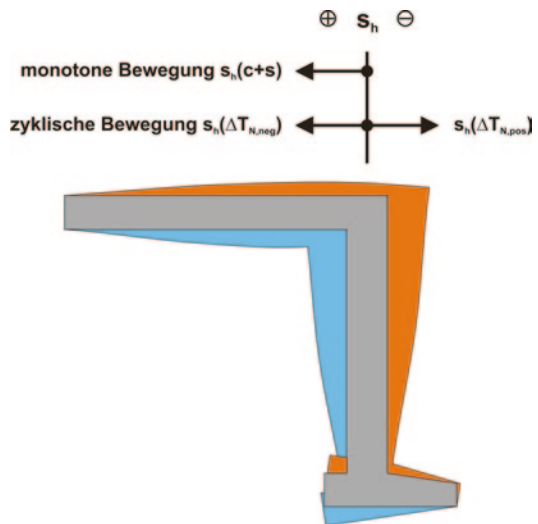
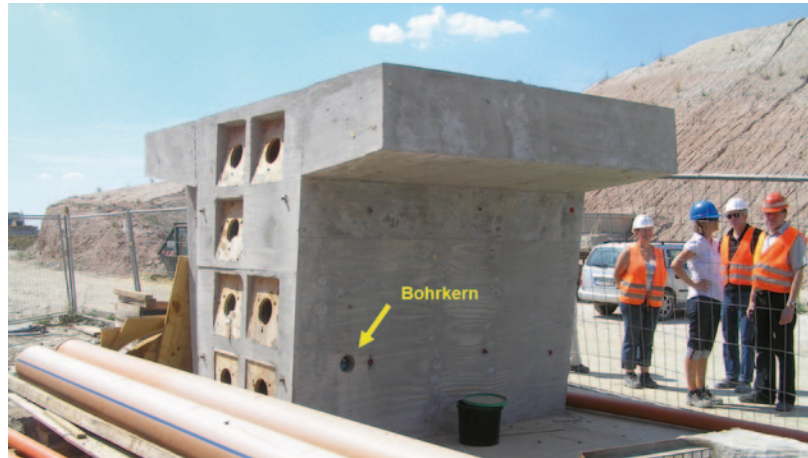


Abb. 7.14 Temperaturverformungen einer Jahresscheibe (exemplarisch) sowie Verformungen aus Kriechen und Schwinden

Abb. 7.15 Probebetonage eines Rahmenknotens der Gänsebachtalbrücke im Maßstab 1:1



deutlich geringere Steifigkeit des integralen Bauwerks zur Begrenzung der Verformungen und der Schienenspannungen auf die zulässigen Werte, hinsichtlich ihrer Verträglichkeit mit der Festen Fahrbahn als Oberbaubauart. Gewisse Unsicherheiten ergeben sich bei der Ermittlung der Zwangsschnittgrößen, die direkt proportional zu den absoluten Steifigkeiten sind. Dies macht bei den Berechnungen aufwändigere, differenziertere und genauere Herangehensweisen mit Grenzwertbetrachtungen erforderlich, um die normgemäßen Anforderungen mit der gebotenen Zuverlässigkeit erfüllen zu können.

Dagegen können die zulässigen Verformungen und Schienenspannungen mit dem derzeitigen Standard im Eisenbahnbrückenbau (konventionelle Bauweise) problemlos eingehalten werden. Im Falle einer erforderlichen Erneuerung sind sie einfacher zu ersetzen. Bei unvorhergesehenen Baugrundbewegungen können im Bereich der Lager Höhenkorrekturen vorgenommen werden. Dieser Fall dürfte bei einer sachgerecht geplanten und ausgeführten Tiefgründung jedoch eher unwahrscheinlich sein.

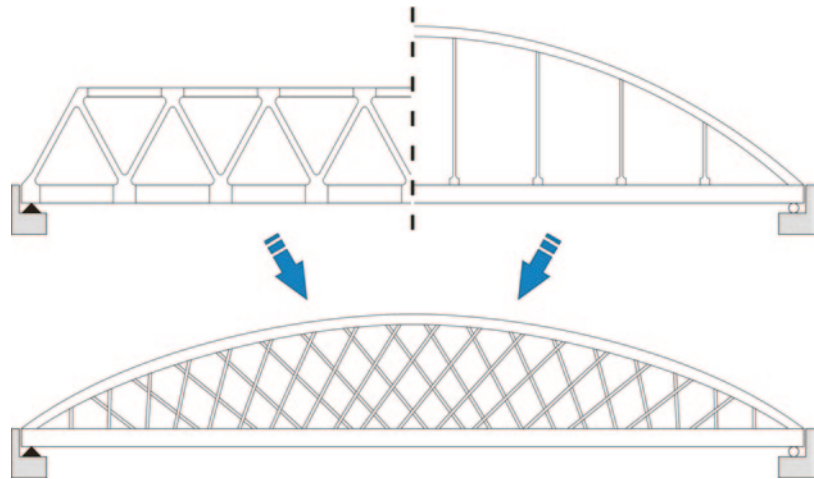
Der Erfahrungsbereich und auch der Anwendungsbereich sowohl der anerkannten Regeln der Technik als auch der Technischen Baubestimmungen wird mit Errichtung semi-integraler Brücken, wie sie als Talbrücken auf der Strecke Nürnberg–Erfurt–Halle/Leipzig gebaut wurden, deutlich verlassen. Der Aufsteller, der Prüfer und der Infrastrukturbetreiber müssen sich deshalb

bereits im frühen Planungsstadium mit den o. g. Fragestellungen beschäftigen.

Die schlanke Bauweise – insbesondere der Unterbauten – gekoppelt mit der starken Abhängigkeit vom E-Modul, der Rissbildung und der Interaktion Bauwerk-Baugrund macht es notwendig, eine besonders sorgfältige Planung, Bemessung und Ausführung durchzuführen. Dabei ist auch ein deutliches Augenmerk auf die besondere Resonanzgefährdung schlanker Bauwerke zu richten. Der Aufwand bei Entwurf und Berechnung sowie die Anforderungen an den Aufsteller steigen. Denn es sind grundsätzlich Berechnungen am Gesamtsystem (Brückentragwerk und Baugrund) erforderlich und die statischen Berechnungen müssen i. d. R. getrennt mit den oberen und unteren charakteristischen Werten für die Nachgiebigkeit der Gründung und deren Veränderung über die Zeit durchgeführt werden.

Den letzten Punkt betreffend, sind für das Ermitteln zutreffender Annahmen Parameterstudien nötig, z. B. zum Einfluss der Unterbausteifigkeiten beim (teilweisen) Übergang in den Zustand II. Konstruktiv stellen jedoch die Rahmenecken (Abb. 7.15) eine besondere Herausforderung an die bauliche Durchbildung und die Auswirkungen aus Temperatur + Kriechen + Schwinden auf die Hinterfüllung dar.

Bei der Beurteilung der Gleichwertigkeit des Bauwerks in semi-integraler Bauweise im Vergleich zum derzeitigen Standard im Eisenbahnbrückenbau muss beachtet werden, dass es sich jeweils um grundverschiedene Konzepte und He-

Abb. 7.16 Netzwerkbogen

rangehensweisen handelt. So hat jede Konzeption ihre spezifischen Vor- und Nachteile. Letzten Endes kommt es darauf an, welche Bedeutung man den einzelnen Kriterien beimisst. Grundsätzlich sind die Bauwerke beider Konzeptionen so zu bemessen und zu konstruieren, dass die normgemäßen Anforderungen hinsichtlich Trag-sicherheit, Dauerhaftigkeit und Gebrauchstauglichkeit aber auch hinsichtlich der Energieeinsparung bei Ausführung, Betrieb und Rückbau sowie der Ansprüche an die nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen erfüllt werden.

Im Gegensatz zu Bauwerken in konventioneller Bauweise liegen hinsichtlich des Instandhaltungsaufwandes semi-integraler Bauwerke derzeit nur unzureichende Erfahrungswerte vor.

7.3.2.2 Netzwerkbogenbrücken

Netzwerkbogenbrücken sind eine Sonderbauform der Stabbogenbrücken. Ihre Bezeichnung leitet sich von der Anordnung und Orientierung der Hänger zwischen Bogen und Versteifungsträger ab. Die Hänger liegen bei dieser Bauform schräg in der Bogenebene und kreuzen einander. So entsteht der typische Netzwerkbogen.

Eigentlich flossen in die Entwicklung des Netzwerkbogens die Überlegungen zu Stabbogenbrücken und Fachwerkbrücken ein. In Kombination der Vorteile entstand dieser als Sonderbauform der Stabbogenbrücken aber auch als Hybrid von Stabbogen- und Fachwerkbrücke (Abb. 7.16).

Durch das statisch optimierte Tragwerk kann bei wesentlich höherer vertikaler Steifigkeit gegenüber einer Stabbogenbrücke i. Allg. eine erhebliche Reduzierung des Stahleinsatzes erreicht werden.

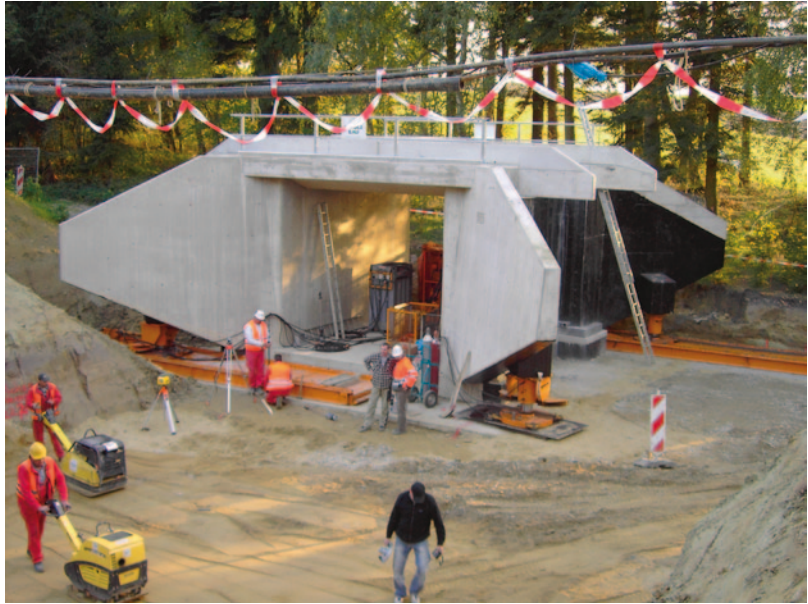
Erstmalig wurde 1963 die Fehmarnsundbrücke als kombinierte Straßen- und Eisenbahnbrücke mit einem Netzwerkbogen in Betrieb genommen. Ihre Hänger wurden anders als bei heutigen Brücken als Stahlseile ausgeführt. Für neuere Netzwerkbogenbrücken werden i. d. R. Flachstahlhänger verwendet.

Neben den bereits genannten Vorteilen gegenüber einer Stabbogenbrücke – geringer Stahleinsatz und hohe vertikale Steifigkeit – bestehen auch einige Nachteile. Die Montage der sehr weichen Hängerstäbe stellt hohe Anforderungen an die Fertigung und Errichtung. Gerade bei einem Verschieben der kompletten Brücke kann es bei gegenüber dem Endzustand verändertem statischen System oder bei einseitigen Laststellungen in Überlagerung mit Temperaturgradienten zum Schlaffwerden und Ausknicken von Hängern kommen. Das Netzwerk ist in der Art zu optimieren, dass das Auftreten von Nullstäben als auch von Drucknormalspannungen in den Hängern ausgeschlossen wird.

Im Weiteren muss beim Einschweißen der Hänger darauf geachtet werden, dass es zu keinen Knicken zwischen den Hängeranschlüssen und dem Hänger selbst kommt.

Da die schrägen Hänger geringe Abmessungen bei gleichzeitig großen Hängerlängen haben,

Abb. 7.17 Rahmen vor dem Einschub



sind sie eher anfällig gegenüber wirbelerregten Querschwingungen. Die Kreuzungen der Hänger bieten jedoch die elegante Möglichkeit, Kopplungen vorzusehen und somit durch Verstärken Schwingungsprobleme weitgehend auszuschließen. Grundsätzlich muss der unplanmäßige gegenseitige Kontakt von sich kreuzenden Hängern aber unbedingt ausgeschlossen werden.

Bei Netzwerkbogenbrücken liegen die Vorteile klar im geringeren Materialeinsatz, dem statisch optimierten Tragverhalten und der höheren ästhetischen Qualität gegenüber herkömmlichen Stabbogenbrücken. Darüber dürfen die höheren Anforderungen an die Herstellung und die Herstellungsqualität sowie ggf. an den höheren Instandhaltungsaufwand jedoch nicht vergessen werden.

7.3.2.3 Rahmenstandardisierung

Standardisierungen spielen im industriellen Herstellungsprozess eine große Rolle, um eine gleichbleibende Qualität über eine große Stückzahl bei gleichzeitig sinkenden Stückpreisen zu gewährleisten.

Die Deutsche Bahn AG errichtet jährlich eine große Anzahl von Brückenbauwerken als Rahmentragwerke im niedrigen Stützweitenbereich (Abb. 7.17), die bisher für jeden Einzelfall bemessen, geplant und ausgeführt wurden. Dabei kam es bei vergleichbaren Bauwerken zu großen

Unterschieden im Bewehrungsgrad. Dies war zunächst nicht erklärbar.

Im Zuge der Anpassung auf die Eurocodes und der Weiterentwicklung auf den Stand der Technik, wurden Rahmenbauwerke im Stützweitenbereich von 2,0 m bis 6,0 m standardisiert, um vor allem eine gleichbleibende Herstellqualität sowie eine Kostenersparnis zu erreichen.

Mit der Standardisierung werden Einsparungen insbesondere bei der Entwurfsplanung (Leistungsphase 3) sowie bei der Genehmigungs- und Ausführungsplanung (Leistungsphase 4 und 5) erzielt. Darüber hinaus können weitere Effekte in der Bauphase realisiert werden. Gelingt zusätzlich noch die Planung und Ausführung mehrerer Maßnahmen in einem Paket, steigert sich dieser Einspareffekt.

Voraussetzung für eine sinnvolle Standardisierung ist, dass Bauteile genügend oft hergestellt werden. Eine Standardisierung bei Bauwerken bedeutet, eine möglichst gleichartige Tragstruktur zu entwickeln, die auf lokale Randbedingungen durch kleine Änderungen angepasst wird. Die Ausstattung und gestalterischen Anforderungen werden individuell umgesetzt.

Aus Sicht der Deutschen Bahn AG können zahlreiche Vorteile angeführt werden:

- Reduzierung der Planungskosten,
- zeitlicher Planungsvorteil,

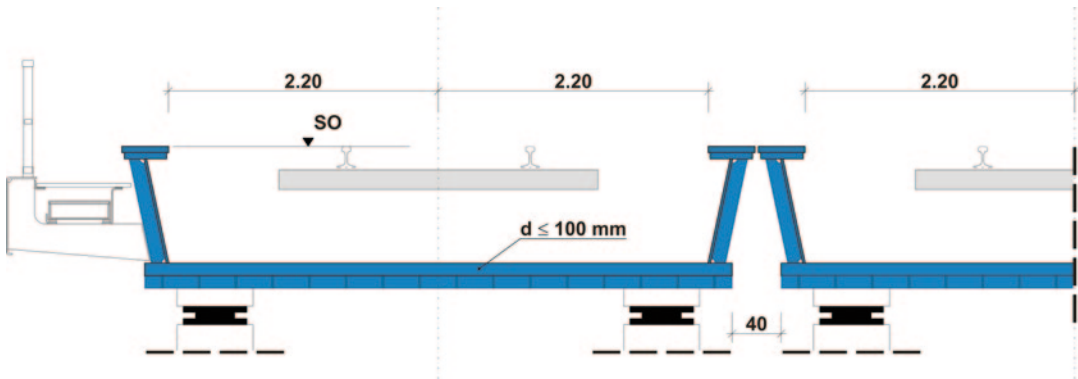


Abb. 7.18 Trogbrücke aus Dickblechen

- Massensicherheit,
- Ausführungssicherheit,
- einheitliche konstruktive Durchbildung,
- Planungssicherheit hinsichtlich Einführung neuer Normen und Richtlinien,
- gleichbleibende Planungsqualität,
- Langlebigkeit/weniger Instandhaltung.

Mit der Standardisierung im Modul 804.9040 werden dem Planer nunmehr eindeutige Hinweise an die Hand gegeben, so dass die relativ einfachen Systeme der Rahmen mit kurzen Stützweiten auf einem einheitlichen Niveau umgesetzt werden können.

Bei den Brückenprüfungen zeigten sich oft gleiche oder ähnliche wiederkehrende Schäden, die durch die Vorgabe von Konstruktionsdetails bzw. durch die Einhaltung bestimmter Werkstoffe zukünftig vermieden werden. Dadurch werden die Qualität der Bauwerke und ihre Zuverlässigkeit noch erheblich gesteigert und die Langlebigkeit erhöht.

7.3.2.4 Trogbrücken aus Dickblechen

Die Entwicklung von Trogbrücken aus Dickblechen (Abb. 7.18) hat sich in jüngerer Zeit deutlich verstärkt. Dieser Brückentyp eignet sich besonders gut als Ersatz für Bestandsbrücken, in denen aufgrund der vorhandenen, geometrischen Randbedingungen andere Brückentypen mit größerer Konstruktionshöhe ausschieden. Diese Brücken sind somit insbesondere geeignet, Brücken mit geringer Bauhöhe zu ersetzen. So sind die Bei-

haltung der Durchfahrtshöhe bei gleichzeitiger Einhaltung der Gradienten möglich.

Durch die statische Nachweisführung der Vergangenheit war es möglich, Brücken mit geringer Bauhöhe zu konstruieren. Diese Bestandsbrücken müssen wegen der gestiegenen Anforderungen an Robustheit und Gebrauchstauglichkeit sukzessive durch neue Brücken ersetzt werden. Um eine Anhebung der Streckenklasse bei Beibehaltung von Durchfahrtshöhe und Gradienten zu gewährleisten, kommt nur der Austausch durch Brücken mit gleicher Bauhöhe infrage. Aufgrund dieser Randbedingungen sind Trogbrücken aus Dickblechen mit Blechdicken bis 100 mm entwickelt worden.

7.3.3 Normen und Regelwerke

Die Europäische Kommission fördert die Entwicklung eines homogenen Eisenbahnbereichs durch die Festlegung von europaweit einheitlichen Anforderungen. Dabei sind zwei wesentliche Ziele zu erkennen. Dies sind die verbesserte Verknüpfung der einzelstaatlichen Netze (Interoperabilität) sowie die Schaffung eines europaweit offenen, wettbewerbsorientierten Marktes.

Um dies zu erreichen, wird einerseits ein grundlegendes, regelwerksbasiertes Sicherheitsniveau festgelegt, andererseits ist eine prozessuale Komponente vorgesehen. Dabei ist ein Aufsichtsregime vorgesehen, bei dem die Prozesse

Abb. 7.19 Übersicht über die Eurocodeteile (Technische Baubestimmungen)



sowohl (bahn-)intern als auch extern zu kontrollieren sind.

Bei der Bemessung von Eisenbahnbrücken sind folglich eine Vielzahl von europäischen und nationalen Normen zu berücksichtigen. Hinzu kommen eisenbahnspezifische Regeln, die der Bemessung und baulichen Durchbildung zusätzlich zugrunde gelegt werden müssen. Mittlerweile ist es so, dass die nationalen Normen mehr und mehr durch europäische Normen ersetzt werden, um die grundlegenden Anforderungen an die Bemessung von Tragwerken aber auch an die Bauprodukte europaweit zu harmonisieren und so einen barrierefreien europäischen Binnenmarkt zu schaffen.

Neben anderen Normen sind für die Bemessung und bauliche Durchbildung im Eisenbahnbrückenbau insbesondere Bemessungs- sowie Produktnormen notwendig. Mit dem Inkrafttreten der europäischen Normung im Bausektor wird eine stringente Trennung der Regelungen von Bauprodukten und der Bemessung von Tragwerken verfolgt.

7.3.3.1 Europäische Bemessungsnormen

Zu den Bemessungsnormen zählen insbesondere die Eurocodes. Diese europäischen Bemessungsnormen der Normenreihe DIN EN 1990 bis 1999 einschließlich ihrer Nationalen Anhänge sind in den wesentlichen Teilen durch das Eisenbahn-Bundesamt bauaufsichtlich eingeführt worden und haben derzeit den Status Technischer Baubestimmungen.

Abweichend zum bisherigen Konzept in Deutschland handelt es sich bei den Eurocodes um ein System von Grundnormen, auf die die sog. Ergänzungsnormen aufbauen. Die Grundnormen sind dabei regelmäßig die Teile 1 der jeweiligen Norm (z. B. DIN EN 1992–1). In den Ergänzungsnormen werden dabei nur abweichende bzw. zusätzliche Inhalte (z. B. für den Brückenbau) dargestellt. Dies bedeutet, dass die Verwendung der Ergänzungsnormen nur in Verbindung mit den Grundnormen möglich ist.

Neben den einheitlichen, europäischen Anforderungen, ist es vorgesehen, dass die Nationalstaaten nationale (nicht europaweite) Vorgaben definieren. Diese finden sich in den nationalen Anhängen, welche im bauaufsichtlichen Verfahren ebenfalls verbindlich anzuwenden sind.

Für die Bemessung von Eisenbahnbrücken finden im Wesentlichen die folgenden Eurocodeteile (Abb. 7.19) einschließlich ihrer nationalen Anhänge Anwendung:

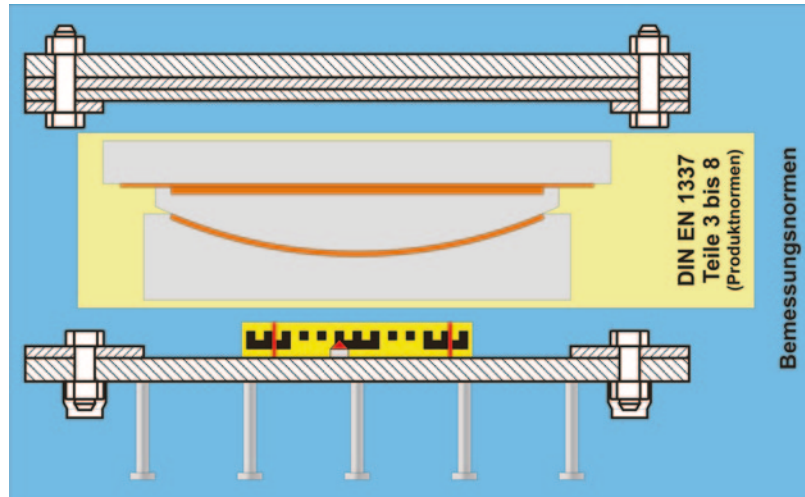
1. DIN EN 1990 (Eurocode 0) – Grundlagen der Tragwerksplanung
2. DIN EN 1991–2 (Eurocode 1, Teil 2) – Verkehrslasten auf Brücken
3. DIN EN 1992–2 (Eurocode 2, Teil 2) – Betonbrücken
4. DIN EN 1993–2 (Eurocode 3, Teil 2) – Stahlbrücken
5. DIN EN 1994–2 (Eurocode 4, Teil 2) – Verbundbrücken
6. DIN EN 1997 (Eurocode 7) – Geotechnische Bemessung

Bei der Anwendung der Teile 2 der Eurocodes 1 bis 4 – also der für den Brückenbau relevanten

Abb. 7.20 Nationale Anpassungsmöglichkeiten zu den Eurocodes



Abb. 7.21 Definition Bemessungs- und Produktnorm anhand des Brückenlagers



Teile wie beispielsweise DIN EN 1993-2 – ist zu beachten, dass die allgemeingültigen Regelungen jeweils im Hochbauteil (entspricht der Grundnorm) – beispielsweise DIN EN 1993-1-x – zu finden sind. Außerdem bieten die Eurocodes dem jeweiligen Nationalstaat für bestimmte Regelungsinhalte eigene festzulegende Parameter. Dies ist bei den Regelungen möglich, für die es in den Eurocodes Öffnungsklauseln gibt. Die Zusammenstellung der national festlegbaren Parameter (NDP – national determined parameter) erfolgt für jeden Teil eines jeden Eurocodes in den Nationalen Anhängen (NA). So ist die Anwendung beispielsweise der Eurocodes für Stahlbrücken DIN EN 1993-2 in Deutschland nur in Verbindung mit dem deutschen Nationalen Anhang DIN EN 1993-2/NA zulässig. Zusätzlich zu den national festlegbaren Parametern enthalten die Nationalen Anhänge auch nicht widersprechende Angaben und Erläuterungen (NCI – non-contradictory complementary information), die ebenfalls zu beachten sind (Abb. 7.20).

7.3.3.2 Harmonisierte Produktnormen

Harmonisierte Normen sind europäische Normen für Produkte und dienen dem freien Verkehr von

Waren und Dienstleistungen innerhalb des europäischen Binnenmarktes. Für den Bereich des Bauwesens regeln diese harmonisierten Produktnormen die grundlegenden Anforderungen an Bauprodukte und deren Deklaration. Zu erkennen sind diese harmonisierten Produktnormen an ihrem Anhang ZA. In diesem Anhang sind unter anderem die CE-Kennzeichnung sowie die Leistungsbewertung sowie -erklärung für das jeweilige Bauprodukt beschrieben. Typische Vertreter harmonisierter Produktnormen sind für warmgewalzte Baustähle die Teile 2 bis 6 der Normenreihe DIN EN 10025 und für Lager im Bauwesen die Teile 3 bis 8 von DIN EN 1337 (Abb. 7.21).

Diese Verknüpfung von Produktnormen auf der einen Seite und Bemessungsnormen auf der anderen Seite soll im folgenden Beispiel anhand der Normung für Brückenlager verdeutlicht werden:

Das Brückenlager an sich nach Norm, ist ein Bauprodukt, das europaweit ohne Hemmnisse gehandelt werden soll. Die Teile 3 bis 8 der Normenreihe DIN EN 1337 regeln somit die grundlegenden Anforderungen an dieses Bauprodukt und den Nachweis, dass diese grundlegenden Anforderungen erfüllt sind. Die Befestigung des

Brückenlagers beispielsweise am Brückenüberbau spielt zunächst keine Rolle. Für diese Befestigung und für alle Komponenten der Brückenlagerausstattung muss der jeweilige Nationalstaat eigene Regelungen so treffen, dass diese Regelungen nicht anderen europäisch harmonisierten Normen und technischen Regeln widersprechen. In Deutschland wird dies insofern umgesetzt, als dass neben den übrigen Teilen der DIN EN 1337 natürlich die entsprechenden Eurocodes und in diesem Zusammenhang weitere Produktnormen, wie die DIN EN 10025 für die stählernen Bauteile der Brückenlagerausstattung aus warmgewalzten Baustählen, sog. Ausstattungszulassungen durch das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) erteilt werden. Diese allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen sind die Voraussetzung für die Verwendung komplett ausgestatteter, CE-gekennzeichneter Brückenlager, also Bauprodukten nach harmonisierten Produktnormen, in Deutschland. In diesen Zulassungen wird alles das geregelt, was für die Ausstattung der Brückenlager notwendig ist. Neben Regelungen zu den Anschlussbauteilen, wie Anker-, Keil- und Futterplatten, finden sich hier Angaben zum Lagerweganzeiger, zur Drei-Punkt-Messebene aber auch zur Notwendigkeit von Verfahrensprüfungen für Schraubenverbindungen, die nicht DIN EN 1090-2 entsprechen.

Harmonisierte Normen werden im Amtsblatt der Europäischen Union einschließlich der Dauer der Koexistenzperiode mit nationalen Vorschriften bekannt gegeben. Alle europäischen harmonisierten Normen müssen als nationale Normen umgesetzt und hierzu im Widerspruch stehende nationale Normen nach Ablauf der Koexistenzperiode zurückgezogen werden. Da eine stringente Trennung in Bemessungs- und Produktnormen in Deutschland nicht üblich war, handelt es sich bei den harmonisierten Produktnormen im Bausektor um neue Normen, wenngleich die Mitgliedsstaaten in den entsprechenden Normungsgremien an der Erarbeitung beteiligt waren und sind.

7.3.3.3 Bauproduktenverordnung (BauPVO)

Für den Warenverkehr in der Europäischen Union sind einheitliche Richtlinien für einen reibungs-

losen Warenverkehr wichtig. Hierzu wurden Richtlinien des Europäischen Rates verfasst, die das CE-Zeichen für Bauprodukte als Leistungserklärung fordern.

Gegenstand der BauPVO ist die Festlegung von Bedingungen für das Inverkehrbringen von Bauprodukten oder ihre Bereitstellung auf dem Markt durch die Aufstellung von harmonisierten Regeln über die Angabe der Leistung von Bauprodukten und die CE-Kennzeichnung.

Die BauPVO muss aufgrund des Charakters europäischer Verordnungen nicht erst in nationales Recht umgesetzt werden. Sie gilt unmittelbar und somit ohne nationale Anpassungen in allen Mitgliedsländern gleich. Damit wird die CE-Kennzeichnung für den europäischen Binnenmarkt konsequent nach einheitlichen Vorgaben erfolgen. Der freie Warenverkehr und die uneingeschränkte Verwendung der Bauprodukte innerhalb dieses Binnenmarktes werden somit weiter vorangetrieben.

Die in der BauPVO aufgeführten „Wesentliche Merkmale“ an Bauprodukte und Bauwerke umfassen folgende Anforderungen:

1. Mechanische Festigkeit und Standsicherheit
2. Brandschutz
3. Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz
4. Schallschutz
5. Energieeinsparung und Wärmeschutz
6. Sicherheit und Barrierefreiheit bei der Nutzung
7. Nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen.

Die Festlegung wesentlicher Merkmale von Bauprodukten erfolgt in harmonisierten technischen Spezifikationen. Dies können harmonisierte Produktnormen (hEN) aber auch europäische technische Bewertungen (ETB) auf der Grundlage von europäischen Bewertungsdokumenten (EAD-European Assessment Document) sein. Die Verwendung eines Bauproduktes wird hierin i. d. R. nicht geregelt.

Die Erfüllung der Anforderungen einer harmonisierten Norm oder einer Europäischen Technischen Bewertung bescheinigt der Hersteller mit einer Leistungserklärung für das Produkt. Damit übernimmt der Hersteller die Verantwortung für die Konformität des Bauproduktes mit der er-

Abb. 7.22 Systeme der Leistungserklärung nach Bauproduktenverordnung (BauPVO)

| | Aufgaben | System | | | | |
|---------------------|----------------------------------|--------|---|----|---|---|
| | | 1+ | 1 | 2+ | 3 | 4 |
| Hersteller | Typprüfung des Bauprodukts | | | | | |
| | werkseigene Produktionskontrolle | | | | | |
| | Prüfung nach Prüfplan | | | | | |
| Notifizierte Stelle | Typprüfung des Bauprodukts | | | | | |
| | Erstüberwachung | | | | | |
| | + Produktprüfung | | | | | |
| | Regelüberwachungen | | | | | |
| | + Produktprüfung | | | | | |
| | Zertifizierung | | | | | |

klärten Leistung. Bauprodukte, für die der Hersteller eine Leistungserklärung erstellt hat, sind mit einer CE-Kennzeichnung zu versehen. Die CE-Kennzeichnung steht für die Konformität des Produktes mit der erklärten Leistung.

Der Nachweis der Anwendbarkeit erfolgt als Bewertung und Überprüfung der Leistungsbeständigkeit hinsichtlich ihrer wesentlichen Merkmale. Dazu sind Systeme wie in Abb. 7.22 vorgegeben, beginnend mit dem System 4 und endend mit dem System 1+, wobei das System 1+ das hochwertigste darstellt. Diese Systeme unterscheiden sich im Überprüfungs- und Überwachungsumfang und in den zu beteiligenden Stellen.

Der Verwendbarkeits- und Anwendbarkeitsnachweis von Bauprodukten nach nationalen Regeln, die nicht mit europäisch harmonisierten Normen konkurrieren, wird weiterhin durch allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) erfolgen. Diese Bauprodukte werden durch eine Übereinstimmungserklärung bzw. ein Übereinstimmungszertifikat gemäß der Musterbauordnung gekennzeichnet.

7.3.3.4 Zusätzliche Technische Normen, Regeln und Empfehlungen

Neben den genannten Normen und Regelwerken können auch Richtlinien anderer Ausschüsse für die Bemessung von Tragwerken relevant werden.

Diese werden z. B. vom Deutschen Ausschuss für Stahlbau (DAST), dem Deutschen Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb) oder auch der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) erarbeitet. Sie können Regeln und Empfehlungen sowohl hinsichtlich von Bauprodukten als hinsichtlich der Bemessung und Ausführung bestimmter Tragwerke enthalten. Aus diesem Grund sind sie in der Bauregelliste A und in der Liste Technischer Baubestimmungen zu finden.

7.3.3.5 Eisenbahnspezifische Technische Baubestimmungen, Normen und Regeln

Eisenbahnspezifisch höhere, aber auch gegenüber dem Straßenbrückenbau veränderte Anforderungen machen es erforderlich, über die Normung des üblichen Hoch- und Brückenbaus hinaus Regeln zu formulieren, um neben den Grundanforderungen (vgl. 7.3.3.3) die öffentliche sowie die Sicherheit des Eisenbahnverkehrs zu gewährleisten.

Dies geschieht unter anderem durch die Erarbeitung von Richtlinien, DB Standards (zumeist Technische Lieferbedingungen) und im Vorgriff auf die Fortschreibung des eisenbahntechnischen Regelwerks durch Technische Mitteilungen. Die bauaufsichtliche Legitimation dieser eisenbahnspezifischen Regeln erfolgt für bauaufsichtlich relevante Richtlinien und DB Standards durch

Tab. 7.1 Aufbau der (eisenbahnspezifischen) Bauregellisten

| Bauprodukte und Bauarten nach Bauregellisten | | | | | | | |
|--|-------------------------|--|---|---------------------------------------|--|----------------|-----------------------|
| | national | | | | | europäisch | |
| | geregelt Bauprodukte | nicht geregelte Bauprodukte und Bauarten | | | sonstige Bauprodukte | geregelt | |
| | | allgemein | keine erheblichen Anforderung an die Sicherheit oder anerkannte Prüfverfahren | untergeordnete Sicherheitsanforderung | Schutzziele werden erreicht: z.B. Bauprodukte der Haustechnik | | |
| | | | | | | BauPVO | andere EU-Richtlinien |
| Abschnitt der Bauregelliste | BRL A, Teil 1 | | BRL A, Teile 2 und 3 | Liste C | Regelwerk besonderer Verbände | BRL B, Teil 1 | BRL B, Teil 2 |
| Verwendbarkeitsnachweis | TB | abZ oder ZIE | abP | | | | |
| | Ü | | | | | CE (+Ü) | CE +Ü |
| Arten des Verwendbarkeitsnachweises TB ... Technische Baubestimmung abZ ... Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung abP ... Allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis ZIE ... Zustimmung im Einzelfall (CSM-Verfahren: Nachweis gleicher Sicherheit) | | | | | | | |

Veröffentlichung in den Eisenbahnspezifischen Listen Technischer Baubestimmungen (ELTB) sowie den Eisenbahnspezifischen Bauregellisten (EBRL).

Den Aufbau und die Systematik der EBRL sowie das Zusammenspiel harmonisierter Produktnormen der Bauregellisten B mit nationalen Normen und Zulassungen zu Bauprodukten, die in den Bauregellisten A geführt werden, zeigt Tab. 7.1.

Die ELTB basiert auf den Musterlisten Technischer Baubestimmungen des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) und umfasst im Wesentlichen die Bemessungsnormen. Sie wird vom Eisenbahn-Bundesamt um die eisenbahntechnischen Baubestimmungen sowie um weitergehende bauaufsichtliche Regelungen ergänzt.

Eine grobe Übersicht über das Zusammenwirken der einzelnen Regeln gibt Abb. 7.23 wieder.

Ähnlich verhält es sich mit der EBRL, nur dass die Produktnormen der Bauregellisten (BRL) des DIBt in diesem Fall um eisenbahn-

spezifische Produktnormen und Regelungen ergänzt werden. Eisenbahnspezifische Bauprodukte, für die die EBRL als Verwendbarkeitsnachweis eine Zulassung fordert, können vom Eisenbahn-Bundesamt zugelassen werden. Statt des Ü-Zeichens wird das eisenbahnspezifische Bauprodukt mit dem U-EBA-Zeichen gekennzeichnet (Abb. 7.24).

Allgemeine Bauprodukte, also Bauprodukte ohne eisenbahnspezifische Anforderungen, werden vom DIBt zugelassen, wenn die Anforderungen nicht bereits nach einer europäischen harmonisierten Produktnorm geregelt sind. In diesen Fällen werden die Zulassungen und Europäischen Technischen Bewertungen des DIBt uneingeschränkt im Bahnsektor akzeptiert.

Um schnell auf veränderte Situationen oder neue Erkenntnisse im Vorgriff auf die Fortschreibung des eisenbahntechnischen Regelwerks reagieren zu können, kann die DB Netz AG Technische Mitteilungen anordnen, die genauso wie Verfügungen des Eisenbahn-Bundesamtes zusätzlich zu beachten sind.

Abb. 7.23 Zusammenwirken von Produkt- und Bemessungsnormen

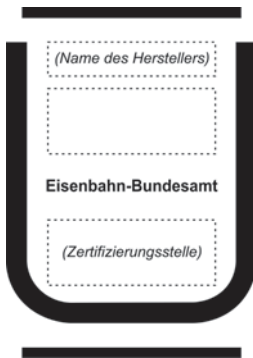
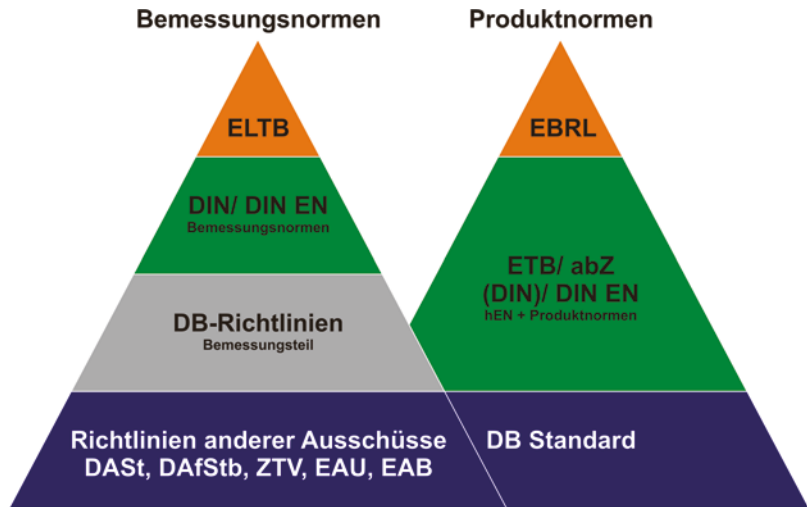


Abb. 7.24 U-EBA-Zeichen nach Anlage 4, VV BAU

7.3.3.6 TEIV und Technische Spezifikationen für die Interoperabilität (TSI)

Die Technischen Spezifikationen für die Interoperabilität (TSI) sind technische Vorschriften, die von der Europäischen Kommission für den europaweit interoperablen Eisenbahnverkehr festgelegt werden und vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung im Einvernehmen mit dem Bundesministerium der Finanzen und dem Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie mit Zustimmung des Bundesrates durch die Transeuropäische Eisenbahn-Interoperabilitätsverordnung (TEIV) in deutsches Recht umgesetzt werden. Die TEIV besitzt demnach Gesetzescharakter und regelt

Anforderungen an strukturelle Teilsysteme des Eisenbahnsystems, um den europaweiten, sicheren und durchgehenden Zugverkehr innerhalb Europas sicherzustellen.

Ziel ist es, den Zugverkehr innerhalb der Europäischen Union mithilfe dieser Verordnung zu harmonisieren und die Wettbewerbs- und Zukunftsfähigkeit des spurgeführten Transports durch den dann barrierefreien grenzüberschreitenden Zugverkehr europaweit zu stärken.

Folgende für den interoperablen Verkehr notwendige strukturelle Teilsysteme sind von ihr erfasst:

- Infrastruktur,
- Energie,
- Fahrzeuge,
- Zugsteuerung, Zugsicherung und Signalgebung,
- Wartung und Betrieb.

Für diese Teilsysteme werden jeweils Technische Spezifikationen für das regelspurige Eisenbahnsystem im Hochgeschwindigkeits- und im konventionellen Verkehr verordnet. Ergänzend werden die Regelungsinhalte, die für Strecken des konventionellen und des Hochgeschwindigkeitsverkehrs gleichermaßen gelten in übergreifenden TSI behandelt. Dies betrifft vor allem die Regelungen für Fahrgäste mit eingeschränkter Mobilität, die Tunnelsicherheit und Telematikanwendungen für den Personenverkehr.

Mittels der TEIV werden die wesentlichen Bedingungen für die Interoperabilität des Eisenbahnsystems in der Europäischen Gemeinschaft nach Maßgabe verschiedener Richtlinien des Europäischen Parlaments und des Rates über die Interoperabilität des Eisenbahnsystems in der Gemeinschaft in Deutschland umgesetzt. Sie gilt für die Bestandteile dieses Systems einschließlich seiner Teilsysteme und umfasst:

1. die Planung,
2. den Bau,
3. die Inbetriebnahme,
4. die Umrüstung,
5. die Erneuerung,
6. den Betrieb und
7. die Instandhaltung.

Die Gültigkeit erstreckt sich über das Transeuropäische Eisenbahnnetz (TEN). Sie ist nicht anzuwenden für sog. Inselnetze; also für Netze wie reine S-Bahn-Netze (z. B. S-Bahn Berlin) oder auch Eisenbahninfrastrukturen und Fahrzeuge, die ausschließlich für historische oder touristische Zwecke genutzt werden.

In den folgenden Listen sind die maßgeblichen Technischen Spezifikationen der einzelnen strukturellen Teilsysteme aufgeführt. Der jeweils aktuelle Stand sowie deren Gültigkeit kann z. B. im Internetauftritt des Eisenbahn-Bundesamtes nachgelesen werden.

Für den transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsverkehr (HGV) mit Fahrgeschwindigkeiten ab 200 km/h sind folgende Verordnungen zu beachten:

| Teilsystem | Abkürzung (engl.) |
|---|---------------------------|
| Infrastruktur | INS INS Rev |
| Energie | ENE ENE Rev |
| Zugsteuerung, Zugsicherung und Signalgebung | CCS CCS Rev CCS Änd |
| Fahrzeuge | RST RST Rev |
| Betrieb | OPE OPE Rev |
| Instandhaltung | MAI |

Der konventionelle Eisenbahnverkehr ist in den folgenden Verordnungen geregelt:

| Teilsystem | Abkürzung (engl.) |
|---|-------------------|
| Zugsteuerung, Zugsicherung und Signalgebung | CCS |
| Fahrzeuge – Lärm | NOI |
| Fahrzeuge – Güterwagen | WAG |
| Verkehrsbetrieb und Verkehrssteuerung | OPE |
| Telematikanwendungen für den Güterverkehr | TAF |

Verordnungen, die für Strecken des konventionellen und des Hochgeschwindigkeitsverkehrs gleichermaßen gelten, sind die Folgenden:

| Teilsystem | Abkürzung (engl.) |
|--|-------------------|
| Personen mit eingeschränkter Mobilität | PRM |
| Tunnelsicherheit | SRT |
| Telematikanwendungen für den Personenverkehr | TAP |

Als Grundlage der Prüferklärung und der Inbetriebnahmegenehmigung für neue, umgerüstete oder erneuerte Teilsysteme ist eine EG-Prüfbescheinigung, ausgestellt durch eine Benannte Stelle (Notified Body). Dazu wird ein EG-Konformitätsbewertungsverfahren durchgeführt, das in der jeweiligen Spezifikation beschrieben ist. Nach dem die hierin beschriebenen Nachweise erbracht worden sind, kann die EG-Prüfbescheinigung ausgestellt werden.

Für das Inverkehrbringen von Interoperabilitätskomponenten, also von Bauteilen, Bauteilgruppen, Unterbaugruppen oder komplette Materialbaugruppen, die in ein Teilsystem eingebaut sind oder eingebaut werden, ist ein entsprechendes Verfahren zur Erstellung einer EG-Konformitäts- und Gebrauchstauglichkeitserklärung vorgeschrieben.

Teilsysteme, die durch keine Technische Spezifikation reglementiert werden, müssen in den einzelnen Nationalstaaten zugelassen und genehmigt werden.

Europaweit sind mehrere Benannte Stellen notifiziert. Die bei einer Benannten Stelle erworbenen Zertifikate sind europaweit gültig.

7.3.3.7 Richtlinie 804

Die für den Eisenbahnbrückenbau wichtigste Richtlinie der DB Netz AG ist die Richtlinie 804 „Eisenbahnbrücken (und sonstige Ingenieurbauwerke) planen, bauen und instand halten“. Sie ergänzt die Eurocodes um eisenbahnspezifische Regeln und Anforderungen. Im Wesentlichen sind dies:

- Modul 804.1101 – Entwurfsgrundlagen
- Modul 804.2101 – Einwirkungen
- Modul 804.3101 – Nachweise unabhängig von der Bauart, allgemein
- Modul 804.3201 – Ermittlung der Belastbarkeitswerte
- Modul 804.3301 – Dynamische Effekte bei Resonanzrisiko
- Modul 804.3401 – Längskraftabtragung
- Modul 804.4101 – Stahlbrücken
- Module 804.4110 und 4111 – Hilfsbrücken
- Modul 804.4201 – Betonbrücken
- Modul 804.4301 – Verbundbrücken
- Modul 804.4302 – Verbundbrücken mit einbetonierten Stahlträgern
- Modul 804.5101 – Eisenbahnbrückenlager
- Modul 804.5301 – Führungen und Fangvorrichtungen
- Modul 804.5501 – Lärmschutzanlagen an Eisenbahnstrecken

Zusätzlich sind für eisenbahnspezifische Anforderungen an Bauprodukte, Bauweisen, Bautenschutz sowie die Instandhaltung auch noch die folgenden Richtlinienmodule zu beachten:

- Modul 804.5201 – Fugenkonstruktionen
- Modul 804.5202 – Ausgleichsplatten als Fahrbahnübergangskonstruktionen
- Modul 804.5601 – Befestigungen und Verankerungen in Beton
- Modul 804.6101 – Abdichtung massiver Eisenbahnbrücken
- Modul 804.6102 – Vergelungsmaßnahmen
- Modul 804.800x – Inspektion von Ingenieurbauwerken

7.3.4 Anforderungen an Eisenbahnbrücken

Zwar ähneln sich die Probleme aus den Pionierzeiten der Eisenbahn mit den heutigen, weil die Errichtung von Bauwerken traditionell einem Sparzwang unterworfen ist, jedoch werden heute noch weit höhere Anforderungen an den Ingenieurbau gestellt. Neben der Stand-, Betriebs- und Verkehrssicherheit, Gebrauchstauglichkeit können dies Anforderungen aus dem Brand-, Umwelt- und Schallschutz sein. Die Eisenbahnbrücken müssen zudem den Ansprüchen der Energieeinsparung bei Ausführung, Betrieb und Rückbau sowie den Ansprüchen an die nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen als auch ggf. an die Barrierefreiheit während der Nutzungszeit genügen.

7.3.4.1 Anforderungen an die Tragfähigkeit und Standsicherheit

Eisenbahnbrücken unterliegen Beanspruchungen aus immer höher werdenden Geschwindigkeiten. In diesem Zusammenhang und der Tendenz hin zu schlanken Tragwerken spielt die Dynamik für das Tragwerk als auch für die Fahrzeug-Gleis-Interaktion eine immer größer werdende Rolle. Bereits beim Brückenentwurf müssen diese Aspekte beachtet werden.

7.3.4.2 Anforderung an die Instandhaltung

Im Hinblick auf die Dauerhaftigkeit der Bauwerke, die nachhaltige Nutzung der Ressourcen und die Betrachtung der Lebenszykluskosten von der Erstellung über die Nutzung bis zum restlosen Rückbau spielt die Instandhaltung eine entscheidende Rolle. Eisenbahnbrücken sind für eine Nutzungsdauer von 100 Jahren auszulegen. Deshalb sind bereits im Entwurfsstadium Konzepte in Abhängigkeit von der geplanten Nutzungsdauer und der Bedeutung des Tragwerkes im Netz zu erarbeiten. Es gibt viele Eisenbahnbrücken in Deutschland, die bereits wesentlich älter sind. Die wesentlichen Grundsätze für ein gutes Bauwerk können auf die folgenden zwei Punkte reduziert werden:

1. Das Bauwerk muss in der „Waage“ sein, d. h. die Statik muss stimmen.
2. Das Wasser muss weg. Das heißt: Die Entwässerung und Abdichtung spielen eine entscheidende Rolle.

Derzeit scheinen diese grundsätzlichen Voraussetzungen in den Hintergrund getreten zu sein. Gerade bei Entwässerung und Abdichtung wird in Planung und Ausführung sehr oft gespart. Deshalb muss der Grundsatz für nachhaltige und instandhaltungsarme Bauwerke immer sein, dass sie neben den ästhetischen Anforderungen vor allem mit dem Ziel geplant und errichtet werden müssen, dass sie funktionieren. Diesem Ziel ist zunächst alles unterzuordnen.

Weitere wesentliche Anforderungen zum Erreichen dieses Zieles gerade auch hinsichtlich der Instandhaltung sind:

1. Ausreichende Zufahrts- und Zugangswege müssen eingeplant werden.
2. Eine zweckmäßige bauliche Durchbildung der Brücke, wie ausreichende Lichtabstände und -räume, insbesondere im Bereich von Lagern und Fugen muss bereits in der Entwurfsplanung berücksichtigt werden.
3. Zugänge (Durchstiege zu Hohlräumen, feste Zusatzeinrichtungen wie Besichtigungsstege, Leitern usw.) müssen sinnvoll angeordnet werden.
4. Haltevorrichtungen für Hängegerüste, Lastbeförderungen und Besichtigungseinrichtungen müssen ebenfalls von Beginn an geplant werden.
5. Fahrschienen für bauwerksverbundene Besichtigungswagen, beweglichen, bauwerksverbundene oder ortsveränderliche Besichtigungseinrichtungen wie Besichtigungsfahrzeuge müssen berücksichtigt werden.

Die Bauwerksunterhaltung mit den periodisch wiederkehrenden Begutachtungen, Untersuchungen, Beobachtungen, Prüfungen und Instandsetzungen werden im Regelfall von anderen Organisationseinheiten durchgeführt, als die mit der Errichtung der Bauwerke betrauten. Für die Eisenbahninfrastrukturunternehmen (EIU) ist es dabei wichtig, die erforderliche Sicherheit mit möglichst geringem, finanziellen Aufwand zu

erreichen, da diese aus Eigenmitteln der EIU zu bestreiten sind.

Es ist durch das EIU sicherzustellen, dass es aus der Aufteilung in die Bereiche Erstellung und Betrieb (Unterhaltung) zu keinen negativen Auswirkungen bezüglich der Verwendbarkeit über die Nutzungsdauer kommt.

Der Übergang von der Erstellung zur Unterhaltung der Brücke beginnt mit der ersten Hauptprüfung nach Abschluss der Bauarbeiten. Später werden durch laufende Beobachtungen und turnusmäßige Brückenprüfungen Veränderungen registriert, Schäden und Mängel festgestellt und instand gesetzt.

7.3.4.3 Inspektion

Für die Inspektionen und Begutachtungen von Eisenbahnbrücken und sonstigen Ingenieurbauwerken gilt die Modulgruppe 8001 ff der Richtlinie 804. Hierin sind neben der Qualifikation der Beteiligten auch Fristen und Anforderungen an das inspektionsgerechte Konstruieren genannt.

Die leichte Zugänglichkeit zu allen Bauteilen der Brücke ist Voraussetzung für die Wirtschaftlichkeit der Inspektion. Günstige Bedingungen für Inspektion und Wartung von Eisenbahnbrücken sind durch folgende Maßnahmen gegeben:

- Die Brücke ist leicht erreichbar.
- Geh- und Arbeitsflächen auf den Randkappen bieten Zugang zur Streckenausrüstung auf dem Brückendeck.
- Bei Talbrücken sind die Widerlagerkammern und Hohlkästen des Überbaus mit Kleingeräten befahrbar.
- Die Pfeiler von Talbrücken sind vom Überbau aus zugänglich.

Zur Rationalisierung dieser Unterhaltungsarbeiten werden Brückenbesichtigungsgeräte (Abb. 7.25) eingesetzt.

Für hohe Talbrücken wird ein speziell dafür konzipiertes Brückenbesichtigungsfahrzeug verwendet. Dieses wird von der Straße über die Zufahrt zu einem Widerlager der Brücke transportiert und mit Hilfe von Hebeegeräten vor dem Widerlager auf dem Überbau der Brücke aufgebaut.

Abb. 7.25 Brückenbe-
sichtigungsfahrzeug



7.3.4.4 Anforderungen an den Oberbau

Der Oberbau auf Brücken musste in den Jahren ebenfalls an die veränderten Anforderungen angepasst werden. Die horizontal und vertikal deutlich weicheren, verformungsfähigen Brücken sowie die höheren Erregerfrequenzen infolge des Hochgeschwindigkeitsverkehrs können zu ungünstigen Fahrzeug-Oberbau-Interaktionen als auch zu Unverträglichkeiten hinsichtlich der zulässigen Schienenspannungen und Schienenstützpunktabstände sowie -kräfte an den Trennfugen zwischen Überbauten als auch zwischen Überbau und Dammbereich führen. Im Weiteren stellt die Planung einer direkten Schienenbefestigung oder einer Festen Fahrbahn besondere Herausforderungen für die Planung der Brücke dar. Die vorgenannten Anforderungen resultierend aus den „Grenzparametern“ des Oberbaus müssen aus diesen Gründen bereits bei der Planung der Brücke berücksichtigt werden.

7.3.4.5 Anforderungen an die Umwelt und an den Lärmschutz

Ebenfalls spielen bei der gesamten Trassen- und Brückenplanung die Anforderungen an die Umwelt und speziell an den Lärmschutz eine immer größer werdende Rolle.

7.3.5 Entwurfsgrundlagen

Das Konstruieren und Bemessen einer Eisenbahnbrücke oder eines Ingenieurbauwerks beginnt beim Entwurf. Das Wissen um grundlegende Konstruktions- und Bemessungsregeln und die Beachtung dieser hilft, einen guten, gelungenen Entwurf zustande zu bringen.

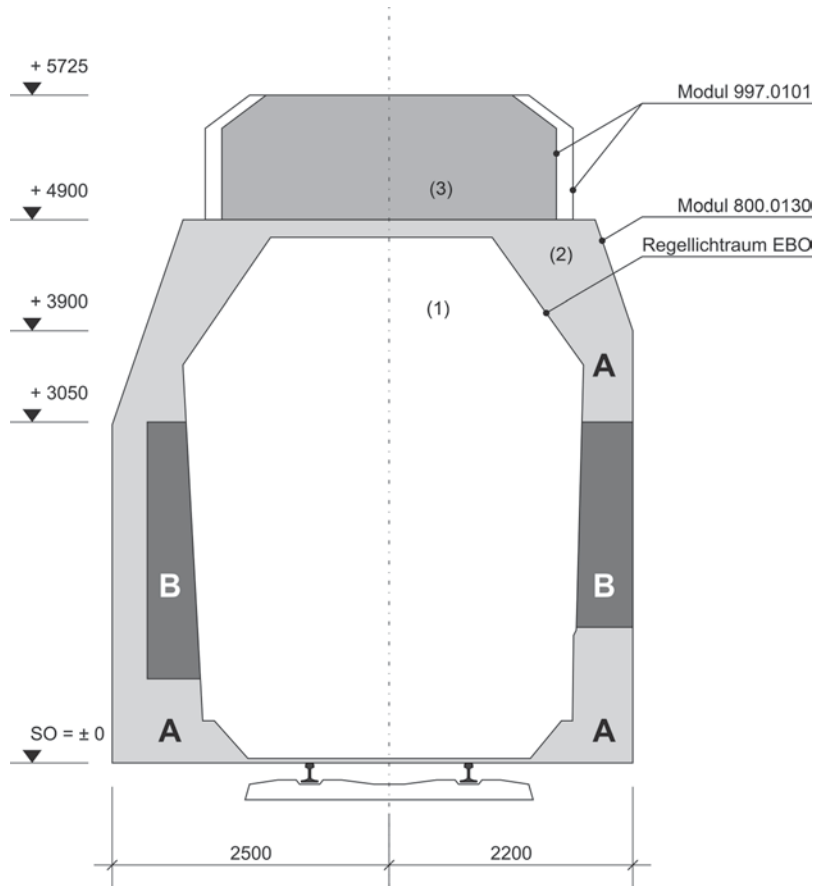
7.3.5.1 Erfordernisse nach Richtlinie 804.1101

Das Modul 804.1101 (Entwurfsgrundlagen) fasst die wichtigsten Grundsätze für einen gelungenen Entwurf zusammen.

Bauwerke sind so zu entwerfen, zu konstruieren und herzustellen, dass sie insbesondere folgende Anforderungen erfüllen:

- Tragsicherheit entsprechend den anerkannten Regeln der Technik sowie der öffentlichen Sicherheit und Ordnung,
- Gebrauchstauglichkeit entsprechend dem Nutzungszweck während der gesamten Nutzungszeit,
- Wirtschaftlichkeit über die ganze Zeit von der Herstellung und Errichtung über die Instandhaltung bis zum Abbruch,
- Erfüllen der gesetzlichen Auflagen zum Umweltschutz (Schall- und Erschütterungsschutz usw.), Unfallverhütungsvorschriften

Abb. 7.26 Lichtraumprofil GC



und erfüllen der Auflagen zum Notfallrettungskonzept,

- ansprechende Gestaltung und Einfügung in die Umgebung,
- Nachhaltigkeit bei der Nutzung der natürlichen Ressourcen.

Bauverfahren sind so zu wählen, dass sie folgende Anforderungen erfüllen:

- Gewährleistung der Sicherheit des Eisenbahnbetriebes,
- geringe Störung des Eisenbahnbetriebes,
- Wirtschaftlichkeit,
- Umweltauflagen (z. B. zu Lärmemissionen).

Die wichtigsten Entwurfsgrundlagen sind:

- Die Brückenenden sollen rechtwinklig zur Gleisachse ausgebildet werden.
- Schotterauflockerungen und unzulässige Beanspruchungen der Schienenbefestigungen sind zu vermeiden.

- Gleisverbindungen (Weichen) sollen auf Brücken vermieden werden.
- Längsfugen zwischen benachbarten Tragwerken sollen jeweils mittig zwischen den Gleisachsen angeordnet werden.
- Über Längsfugen darf kein Gleis verlegt werden.
- Schienen sind i. d. R. lückenlos über Brücken hinwegzuführen.
- Das Schotterbett ist i. d. R. durch Schotterhaltungen zu begrenzen.
- Der Abstand zur Gleisachse muss mindestens 2,20 m betragen.

Regellichträume und Querschnitte (Abb. 7.26)

- Bereich (1): Lichtraumprofil nach EBO
- Bereich (2): Lichtraumprofil nach M 800.0130
- Bereich (3): Lichtraumprofil für Oberleitung nach M 997.0101

Die Fahrbahnhöhe spielt für den Entwurf einer Eisenbahnbrücke eine wesentliche Rolle. Dabei

Tab. 7.2 Fahrbahnhöhe bei Schotteroberbau

| Entwurfsgeschwindigkeit v_e in km/h | Fahrbahnhöhe |
|--|---|
| $v_e < 160$ | 0,70 m für Hauptgleise 0,60 m für Nebengleise (in Bahnhöfen und in Gleisanschlüssen) |
| $160 \leq v_e \leq 230$ | 0,75 m |
| $v_e > 230$ | 0,80 m |

unterscheiden sich die Fahrbahnhöhen für Schotteroberbau (Tab. 7.2) von denen mit Fester Fahrbahn.

Für die Feste Fahrbahn beträgt die Fahrbahnhöhe, je nach gewählter Bauart ca. 0,5 m bis 0,8 m zwischen Schienenoberkante (SO)- und OK-Abdichtung.

Bei Brücken über Bundesfernstraßen ist eine lichte Höhe von $\geq 4,50$ m sicherzustellen. Randwege sind 0,80 m breit und 2,20 m hoch auszubilden. Ferner müssen alle Brückenbauwerke vor Anprall geschützt werden sowie einen Erdungs- und Blitzschutz aufweisen.

7.3.5.2 Längskraftabtragung

Ein wichtiges Thema bei der Planung und Bemessung von Eisenbahnbrücken stellt die Abtragung der Längskräfte aus Schienenverkehr und Temperaturbeanspruchungen auf Schienen und Überbau dar. Längskräfte entstehen aus:

- Anfahr- und Bremswirkungen,
- Temperaturbeanspruchungen,
- Durchbiegung infolge von Vertikallasten und anderen Einwirkungen (z. B. Kriechen und Schwinden).

Mit der Einführung der lückenlos verschweißten Schiene entfällt die früher übliche Trennung zwischen Oberbau und den Unterbauten. Die auftretenden Beanspruchungen müssen von den Schienen aufgenommen und über das Bauwerk sicher abgeleitet werden. Dabei werden bereits wesentliche Teile der Beanspruchung von den Schienen selbst aufgenommen und in die angrenzenden Dammbereiche eingeleitet.

7.3.5.3 Schienenspannung, Schienenauszüge

Schienen sind i. d. R. lückenlos über Bauwerke hinwegzuführen. Die Schienen müssen jedoch

die Verformungen des Tragwerks ohne nachteilige Auswirkungen auf die Gleislage aufnehmen können. Werden diese Verformungen und damit die Schienenspannungen zu groß, werden Schienenauszüge erforderlich. Es handelt sich dabei um sog. gerade Weichen ohne Ablenkung von der Gleisachse, jedoch mit Zunge und Backenschiene. Diese können sich infolge Temperaturverformungen entlang der Schienenlängsachse bewegen. Grundsätzliche Regelungen für den Einbau von Schienenauszügen und die Befestigungsart der Schienen sind im Modul 820.2230 angegeben.

Ohne genaueren Nachweis brauchen keine Schienenauszüge vorgesehen zu werden, wenn folgende Punkte erfüllt sind:

- Ohne Nachweis bei Beton- und Verbundbrücken bis zu einer Ausgleichlänge von mehr als 90 m. Bei genauer Nachweisführung können Ausgleichlängen bis zu 120 m erreicht werden.
- Bei Stahlbrücken sind Schienenauszüge bis zu einer Ausgleichlänge von 60 m nicht erforderlich.

Die genauen Voraussetzungen hierfür sind in DIN EN 1991-2 sowie im zugehörigen Nationalen Anhang (NA) aufgeführt. Die Nachweise für das Zusammenwirken von Oberbau und Brücke sowie die zulässigen zusätzlichen Schienenspannungen sind ebenfalls in DIN EN 1991-2 und DIN EN 1991-2/NA geregelt.

7.3.5.4 Brückensysteme

Der größte Teil aller vorhandenen Eisenbahnbrücken sind Eisenbahnbrücken bis zu einer Stützweite bis 10 m. Diese Eisenbahnbrücken werden in Brückenlängsrichtung überwiegend als – bezogen auf die Längsrichtung – statisch bestimmte Systeme ausgebildet. Dies bedeutet, dass die in der einen Lagerachse als allseits sowie längs festes Lager und in der anderen Lagerachse als quer festes sowie allseits bewegliches Lager (Abb. 7.27) ausgebildet wird. Bei den geringen Stützweiten bietet es sich jedoch an, die Bauwerke als Rahmen auszubilden, was in den letzten Jahren vermehrt praktiziert wird und sich in der Standardisierung dieser Bauwerke (siehe Abschnitt 7.3.2.3) widerspiegelt.

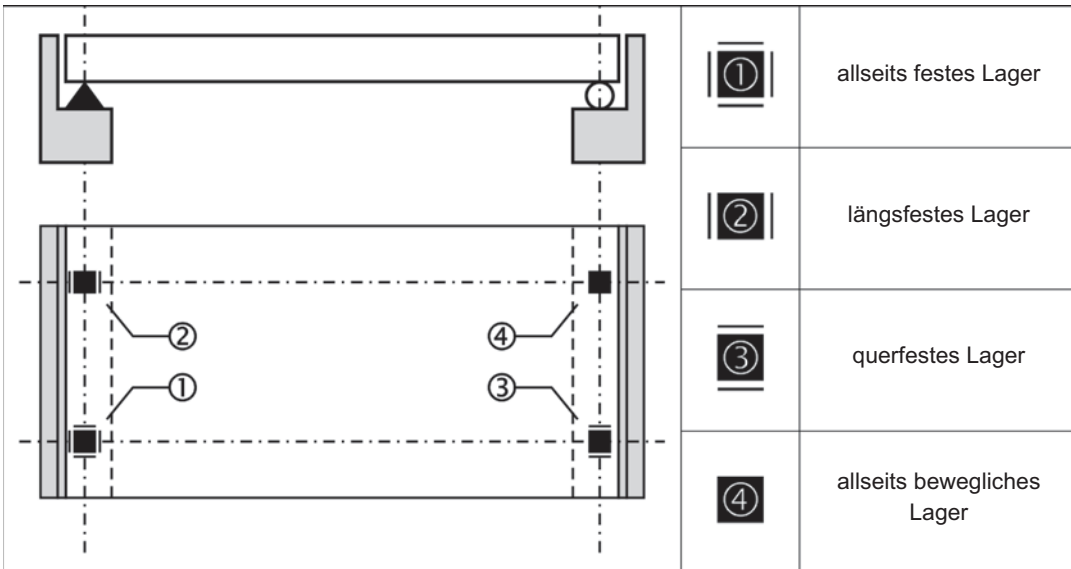


Abb. 7.27 Statisch bestimmte Lagerung

Die Örtlichkeiten und geometrischen Randbedingungen haben einen großen Einfluss auf das statische System (Abb. 7.28) der Brücke. So können die Eisenbahnbrücken als einteilige oder mehrteilige Überbauten und als Einfeld- oder Durchlaufträger mit verschiedenen Lagerarten ausgebildet werden.

Je größer die Stützweiten werden, desto größer ist die Rolle des statischen Systems für Eisenbahnbrücken. Bei zunehmender Brückenlänge spielt auch der Oberbau eine wesentliche Rolle bei der Wahl des richtigen Brückensystems. So sind Schienenauszüge auf ein Minimum zu reduzieren.

Im Gegensatz zu Straßenbrücken reicht es bei Eisenbahnbrücken nicht aus, die Abtragung der Brems- und Anfahrlasten ohne Berücksichtigung der dabei auftretenden Verformungen der Unterbauten (Pfeiler und Gründung) zu gewährleisten. Vielmehr muss am Gesamtsystem die mittragende Wirkung der Schiene in Brückenlängsrichtung, die Auswirkung von Temperaturschwankungen im Überbau aufgrund der durch das Schotterbett oder Feste Fahrbahn vorhandenen Kopplung zwischen Überbau und Gleis sowie die Steifigkeit der Unterbauten berücksichtigt werden. Die entstehenden Zusatzbeanspruchungen in der Schiene dürfen dabei bestimmte Grenzwerte nicht überschreiten. Bis zum heutigen Zeitpunkt gilt dabei für:

Druckspannungen:

- Schotteroberbau 72 N/mm²
- Feste Fahrbahn 92 N/mm²

Zugspannungen 92 N/mm².

Die Einhaltung dieser Forderung bestimmt ganz wesentlich das für die Abtragung der Längskräfte notwendige Brückensystem.

7.3.5.5 Einwirkungen

Grundsätzlich werden Eisenbahnbrücken für Einwirkungen nach der Normenreihe DIN EN 1991 bemessen. Für die vertikalen Lasten infolge des Eisenbahnverkehrs werden in DIN EN 1991 die Lastmodelle LM 71 und SW/0, SW/2 definiert (Abb. 7.29). Das Lastmodell LM 71 stellt vereinfacht die umhüllende Schnittkraftfunktion für alle Triebwagen dar. Alle weiteren Waggons des Lastzuges werden als verteilte Linienlasten mit unbegrenzter Länge erfasst. Die im Lastmodell enthaltenen Einzellasten von 250 kN gelten für Regelfahrzeuge mit einer Radsatzlast von 22,5 t. Für artreinen S-Bahn-Verkehr oder Verkehre mit Achslasten von 25 t kann das Lastmodell mit Hilfe des Lastklassenbeiwerts α in seiner Größenordnung angepasst werden. Das Lastmodell LM 71 wurde als Lastbild UIC 71 in den 80-er Jahren des 20. Jahrhunderts für die damalige DS 804 eingeführt.

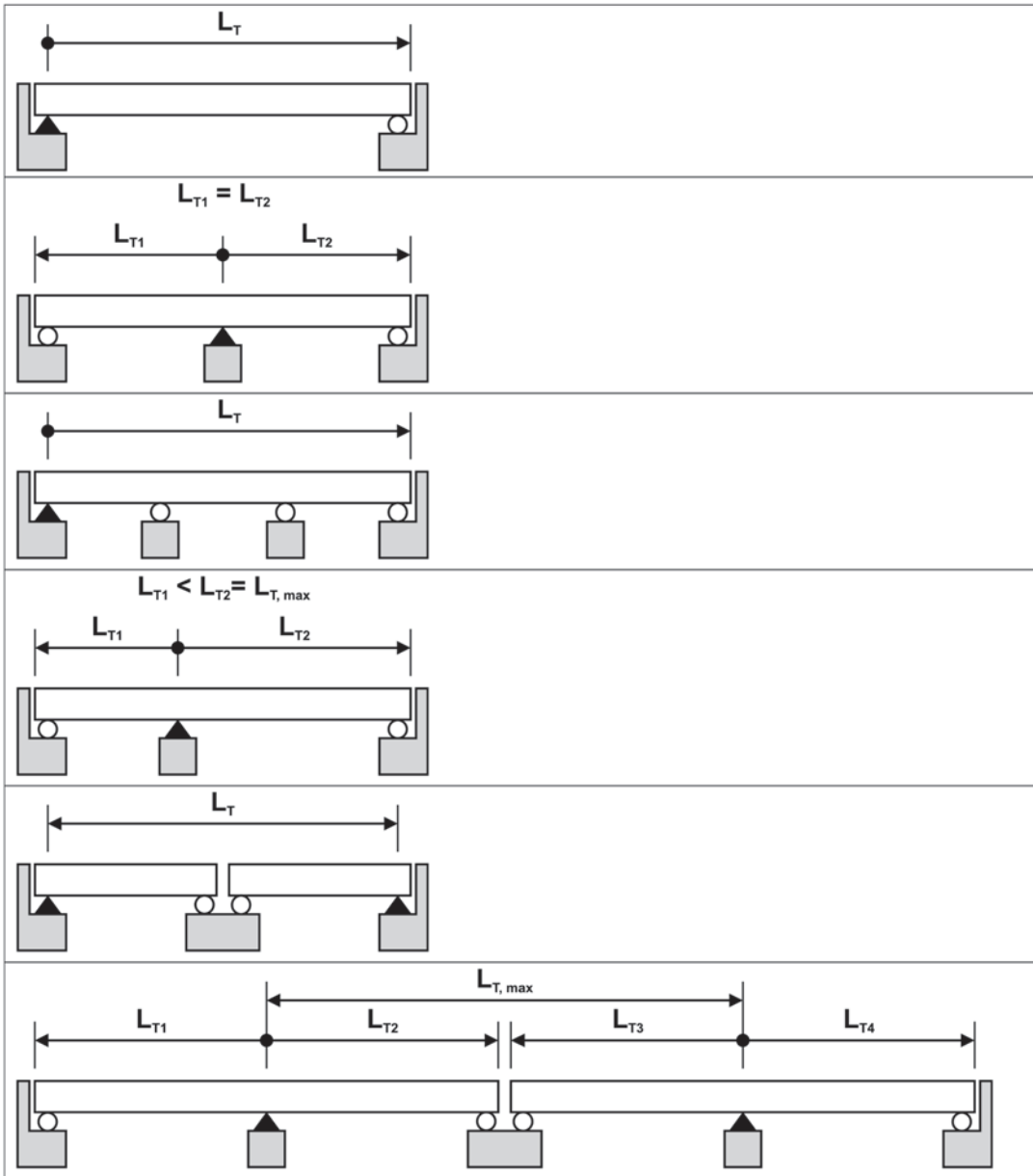


Abb. 7.28 Typische Lagerungssysteme

Das Lastmodell SW/0 stellt den statischen Anteil der Verkehrslast des Regelverkehrs auf Durchlaufträgerbrücken dar. Über das Lastmodell SW/2 wird hingegen der statische Anteil des Schwerlastverkehrs erfasst. Charakteristische Werte der Vertikallasten der Lastmodelle SW/0 und SW/2 sind in Tab. 7.3. zusammengefasst.

Weitere zu berücksichtigende Einwirkungen können sich aus Ausrüstungsteilen, Instandhaltungsmaßnahmen und Anpralllasten ergeben. Diese Einwirkungen sind im Modul 804.2101 sowie 804.5301 geregelt.

Hierin sind zusätzliche Regelungen für folgende Ausrüstungselemente zu finden:

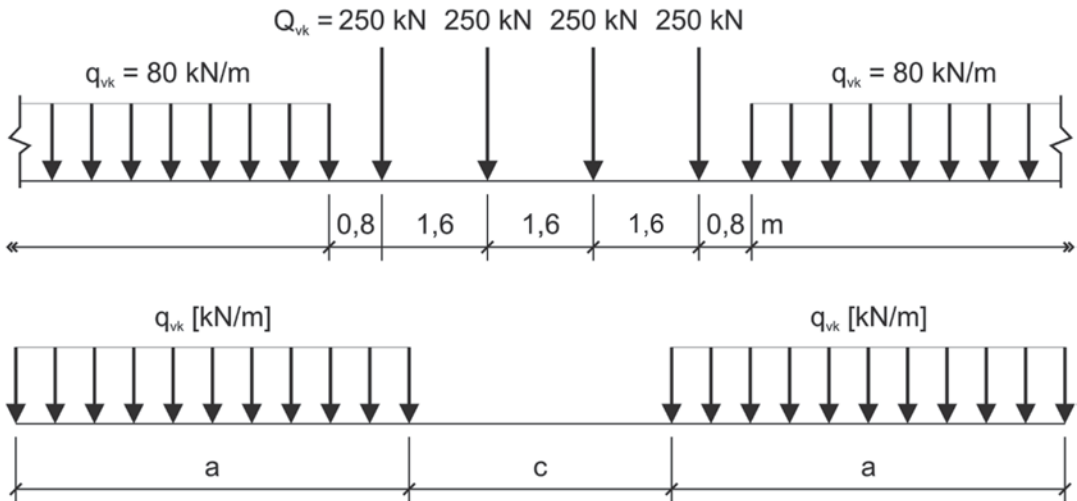


Abb. 7.29 Eisenbahnverkehrslastmodell nach DIN EN 1991

Tab. 7.3 Charakteristische Werte der Vertikallasten der Lastmodelle SW/0 und SW/2

| Lastmodell | q_{vk} [kN/m] | a [m] | c [m] |
|------------|--------------------|----------|----------|
| SW/0 | 133 | 15,0 | 5,3 |
| SW/2 | 150 | 25,0 | 7,0 |

- Lärmschutzanlagen,
- Oberleitungsmaste,
- Signalmaste,
- Ansetzen der Fahrbahn (Oberbau),
- Einwirkungen aus Instandhaltungsmaßnahmen (Fahrzeugeinwirkungen, Besichtigungseinrichtungen),
- Anprall durch Straßenfahrzeuge an Überbauungen,
- weitere außergewöhnliche Einwirkungen.

Eisenbahnverkehrslasten für dynamische Berechnungen Eisenbahnbrücken werden durch Züge dynamisch angeregt. Die Anregung wird durch die vergleichsweise hohen Achslasten und Geschwindigkeiten begünstigt. Letztere führen in Verbindung mit den typischen Wagenkastenlängen zu Anregungsfrequenzen, die im Bereich der Eigenfrequenzen typischer Brückentypen liegen können.

Zur Berechnung der dynamischen Auswirkung von Zugüberfahrten auf Eisenbahnbrücken ist die Angabe der zu untersuchenden Zugkonfigurationen (Achslasten und deren Abstände)

und des zu untersuchenden Geschwindigkeitsbereichs erforderlich. Dabei wird, wie auch bei den Einwirkungen für statische Berechnungen, in Lastmodelle und Betriebslastzüge unterschieden.

Für Hochgeschwindigkeitsstrecken des TEN-Netzes ist das Lastmodell HSLM (High Speed Load Model) anzusetzen, das im Sinne einer Umhüllenden die dynamischen Auswirkungen einiger, zur Zeit seiner Entwicklung auf dem Markt befindlichen Hochgeschwindigkeitszüge erfasst.

Auf anderen Strecken, oder wenn die vorgesehenen Züge nicht durch das Lastmodell HSLM abgedeckt werden, sind die Eisenbahnbrücken für die vorgesehenen Betriebslastzüge, also die Achslasten und Achslabstände realer Züge, zu untersuchen.

Die Achslasten der Betriebslastzüge für dynamische Berechnungen sind mit den Massedefinitionen für die Auslegungsmasse mit normaler Zuladung der DIN EN 15663 zu ermitteln. Hierbei ist im Vorgriff auf die Überarbeitung der DIN EN 15528 bei Hochgeschwindigkeitszügen ohne Reservierungssystem für Stehflächen eine zusätzliche Flächenlast von 160 kg/m^2 anzusetzen. Diese Achslasten sind auch bei der Prüfung, ob ein Zug durch das Lastmodell HSLM abgedeckt ist, anzusetzen.

Betriebslastzüge können grundsätzlich ohne Einschränkungen hinsichtlich der Spannweite der Brücken (0 bis $\infty \text{ m}$), der Bauart (Rahmen, Einfeld-, Zweifeldträger,...) oder der Bauweise

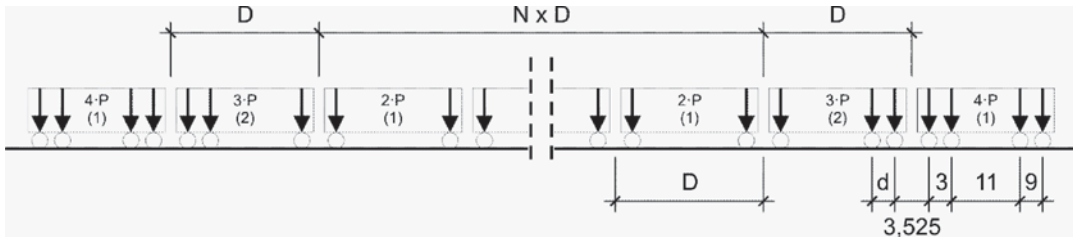
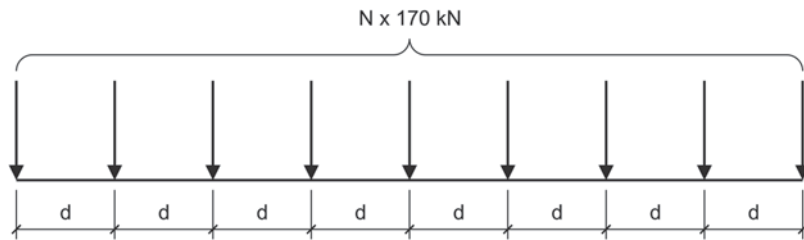


Tabelle 6.3 — HSLM-A (DIN EN 1991-2)

| Modellzug | Anzahl der Mittelwagen | Wagenlänge D [m] | Drehgestellachsenabstand d [m] | Einzellast P [kN] |
|-----------|------------------------|------------------|--------------------------------|-------------------|
| A1 | 18 | 18 | 2,0 | 170 |
| A2 | 17 | 19 | 3,5 | 200 |
| A3 | 16 | 20 | 2,0 | 180 |
| A4 | 15 | 21 | 3,0 | 190 |
| A5 | 14 | 22 | 2,0 | 170 |
| A6 | 13 | 23 | 2,0 | 180 |
| A7 | 13 | 24 | 2,0 | 190 |
| A8 | 12 | 25 | 2,5 | 190 |
| A9 | 11 | 26 | 2,0 | 210 |
| A10 | 11 | 27 | 2,0 | 210 |

Abb. 7.30 HSLM-A

Abb. 7.31 HSLM-B



(Stahl, Beton, Stahlbeton, Verbundbrücken, ...) eingesetzt werden. Beim Lastmodell HSLM ist für Einfeldträger mit einer Spannweite unter 7 m das Lastmodell HSLM-B, in den übrigen Fällen das Lastmodell HSLM-A zu verwenden.

Dynamische Berechnungen, die eine Interaktion zwischen Fahrzeug und Tragwerk berücksichtigen, können mit Lastmodellen und Betriebslastzügen die nur Achslasten und Achslastabstände umfassen nicht durchgeführt werden. Für solche Untersuchungen sind umfangreichere Daten tatsächlicher Betriebslastzüge wie Geometrie, Massenbelegungen, Federkennwerte,

Dämpfungswerte und die Kenndaten des Oberbaus wie Steifigkeit und Dämpfung erforderlich.

HSLM; Lastmodelle des Hochgeschwindigkeitsverkehrs nach DIN EN 1991-2

Die in DIN EN 1991-2 vorgegebenen Modellzüge HSLM-A und HSLM-B (Abb. 7.29, 7.30 und 7.31) decken im Sinne einer Einhüllenden mit ihren Einwirkungen die dynamischen Auswirkungen der Betriebslastzüge ab, die die in Anhang E.1 der DIN EN 1991-2 definierten Kriterien erfüllen. Züge die diese Kriterien nicht erfüllen sind als Betriebslastzüge gesondert zu untersuchen.

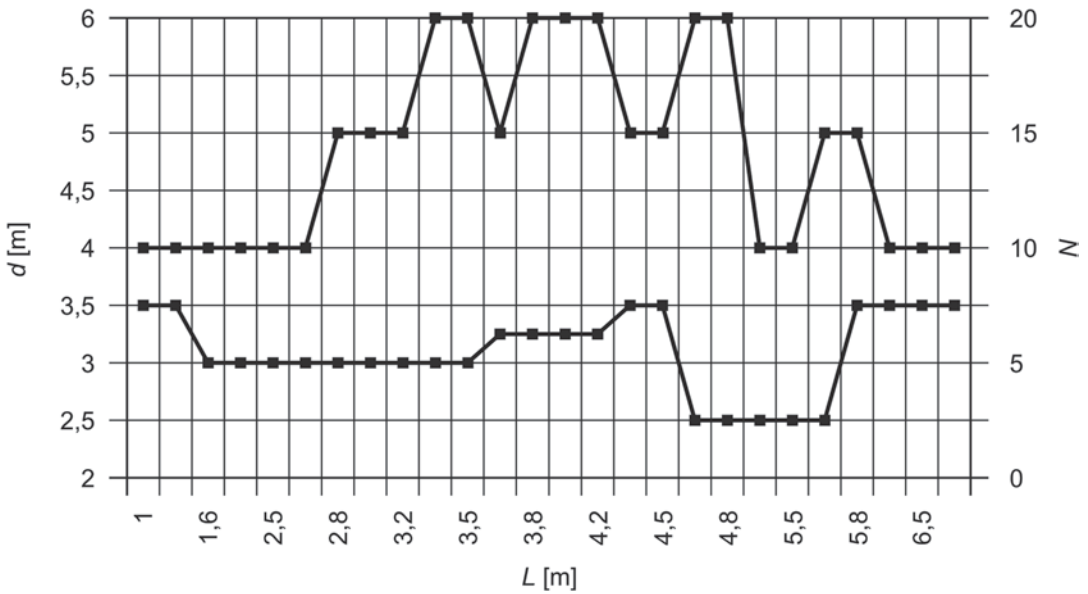


Abb. 7.32 HSLM B, Achsabstand

Die Modellzüge HSLM sind auf allen Strecken, bei denen die Interoperabilitätskriterien anzuwenden sind, zwingend anzusetzen. Bei allen anderen Strecken wird ein Ansatz im Sinne vergleichbarer und aussagekräftiger Ergebnisse ebenfalls empfohlen.

HSLM-A

Das Lastmodell HSLM-A umfasst zehn Modellzüge und ist immer in vollem Umfang anzusetzen. Die allgemeine Konfiguration der Modellzüge entspricht Abb. 7.30. Die einzelnen Parameter – Anzahl N der Mittelwagen, Wagenlänge D , Abstand d im Drehgestell und die jeweils konstante Achslast P – sind der Tabelle in Abb. 7.30 zu entnehmen.

HSLM-B

Für Einfeldträger mit einer Stützweite L unter 7 m ist das Lastmodell HSLM-B anzusetzen, das gemäß Abb. 7.31 aus einem Modellzug mit äquidistanten Achsen besteht. Die Anzahl N der einzelnen Achsen und deren Abstand d ist Abb. 7.32 zu entnehmen. Die Achslast beträgt konstant 170 kN.

Sofern eine eindeutige Zuordenbarkeit zu einer Stützweite L möglich ist, darf ein einzelnes Lastmodell HSLM-B verwendet werden, wobei die Festlegung der Parameter N (obere

Diagrammlinie) und d (untere Diagrammlinie) gemäß Abb. 7.32 zu erfolgen hat.

Betriebslastzüge

Betriebslastzüge bilden die Achslasten und Achsabstände realer Züge ab. Dies können die Typen 1 bis 12 nach Anhang D.3, DIN EN 1991-2 sein, es kann allerdings auch jeder andere existierende Zug verwendet werden.

7.3.5.6 Erforderliche Nachweise

Das Modul 804.3101 (Nachweise allgemein) gibt einen Überblick über die erforderlichen notwendigen Nachweise (Abb. 7.33):

- Eisenbahnbrücken sind für die in DIN EN 1991 und Modul 804.2101 angegebenen Einwirkungen zu bemessen und in Abhängigkeit von den Bau- und Werkstoffen nach den Regeln der DIN EN 1992 bis 1994 nachzuweisen.
- Zusätzliche Nachweise, Anforderungen und Bedingungen sind in Abhängigkeit von der Bauart in eigenen Modulen geregelt.
- Die maximale Gleisverwindung über eine Länge von 3,0 m darf bei einer Geschwindigkeit von 200 km/h einen Höchstwert von 3,0 mm nicht überschreiten (DIN EN 1991).

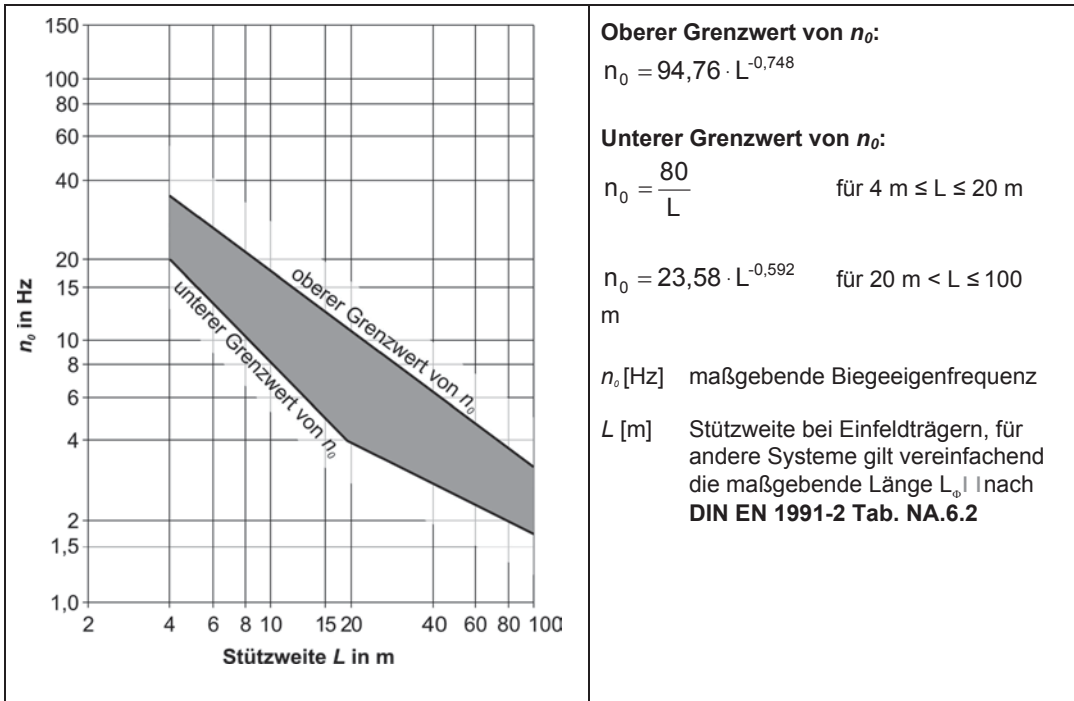
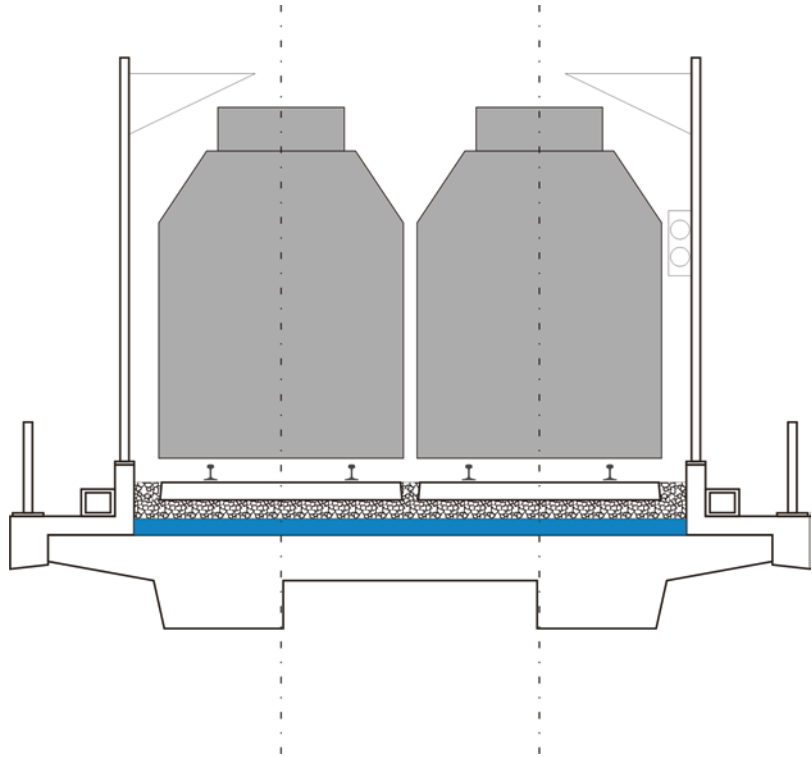


Abb. 7.33 Modul 804.3101, Bild: Grenzwerte für die maßgebende Biegeeigenfrequenz

- Der Endtangentialwinkel des Überbaus ist für eingleisige Brücken auf einen Wert von $6,5 \cdot 10^{-3}$ rad und für einen zweigleisigen Überbau auf $3,5 \cdot 10^{-3}$ rad begrenzt.
- Auf eine dynamische Berechnung darf verzichtet werden, wenn eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist:
 - bei S-Bahnen
 - bei Hilfsbrücken mit einer örtlich zulässigen Geschwindigkeit $v \leq 120$ km/h
 - bei einer örtlich zulässigen Geschwindigkeit $v \leq 90$ km/h
 - bei einer örtlich zulässigen Geschwindigkeit $v \leq 160$ km/h, wenn gleichzeitig für die Radsatzlasten Q_{RSL} und die Linienlast m' die Bedingungen $Q_{RSL} \leq 225$ kN und $m' \leq 80$ kN/m erfüllt werden
 - bei überschütteten Tragwerken mit Überschüttungshöhen $h_{\bar{u}} \geq 1,5$ m
 - bei einfeldrigen Rahmentragwerken mit wandartigen Stielen in Stahlbetonbauart bis zu einer lichten Weite von 25 m, einer Biegeschlankheit $L/d \leq 15$ und einer Mindestdicke der Deckenplatte von 0,45 m,
- wenn zusätzlich entweder die Schiefe α , d. h. der durch Auflager- und Brückenachse eingeschlossene Winkel, gering ist, d. h. $90 \text{ gon} \leq \alpha \leq 110 \text{ gon}$ oder bei größerer Schiefe $50 \text{ gon} \leq \alpha \leq 90 \text{ gon}$ oder $110 \text{ gon} \leq \alpha \leq 150 \text{ gon}$ die erste Eigenfrequenz der Biegeschwingung n_0 sich nicht um mehr als $\pm 10\%$ von der ersten Eigenfrequenz des Rahmens mit $\alpha = 100$ gon und sonst gleichen Abmessungen unterscheidet
- bei Durchlaufträgern mit einer örtlich zulässigen Geschwindigkeit $v \leq 200$ km/h
- Außerdem darf auf eine dynamische Berechnung durch die vereinfachte Überprüfung des Resonanzrisikos verzichtet werden, wenn für ein Tragwerk die erste Eigenfrequenz der Biegeschwingung n_0 innerhalb des oberen und unteren Grenzwertes von n_0 liegt und zusätzlich eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist:
 - Die örtlich zulässige Geschwindigkeit beträgt $v_0 \leq 200$ km/h bei S-Bahnen
 - Das Tragwerk ist ein balkenartiger Einfeldträger mit einer Stützweite $L \geq 40$ m

Abb. 7.34 Deckbrücke

- Das Tragwerk ist ein balkenartiger Durchlaufträger in Betonbauart mit einer kleinsten Stützweite $L \geq 40$ m und einer größten Stützweite $\max L \leq 1,5$ min L

Einige Nachweise sind in getrennten Modulen geregelt, z. B. ist

- die Ermittlung der Belastbarkeitswerte in Modul 804.3201 enthalten,
- die Überprüfung des Resonanzrisikos durch eine dynamische Berechnung ist in Modul 804.3301 enthalten.
- Alle tragenden Bauteile liegen witterungsgeschützt unter der abgedichteten Fahrbahnplatte.
- Die Gleislage kann in gewissen Grenzen nachträglich verändert werden.
- Das gleichbleibend durchlaufende Schotterbett ermöglicht die kontinuierliche, rationelle Durcharbeitung des Gleises mit Oberbaumaschinen.
- Die Tragkonstruktion ist gut gegen Beschädigungen durch entgleiste Schienenfahrzeuge geschützt.

7.3.6 Entwurfsgrundsätze

7.3.6.1 Brückentypen

Eisenbahnbrücken werden i. d. R. als Deckbrücken (Abb. 7.34) ausgeführt. Dabei liegt die Tragkonstruktion unter dem Oberbau (Gleis mit Schotter oder Fester Fahrbahn). Die Vorteile der Deckbrücke sind dabei im Wesentlichen:

- Die Eisenbahnlasten werden auf kürzestem Weg in die Lager geleitet.

Das Prinzip der Deckbrücke mit Schotterbett beinhaltet auch, dass im Brückenbereich die gleichen Anforderungen wie im sonstigen Bereich der Strecke erfüllt werden können. So trägt das Brückendeck alle für den Fahrweg der Eisenbahn erforderlichen Einrichtungen, wie Schienen, Schwellen, Schotter, Kabeltroge, Randweg und ggf. Lärmschutzwände.

Ausnahmen bilden dabei verschiedene Bauformen von Stahlbrücken, z. B. Stabbogenbrücken oder Fachwerkbrücken. Diese haben eine unten liegende Fahrbahn.

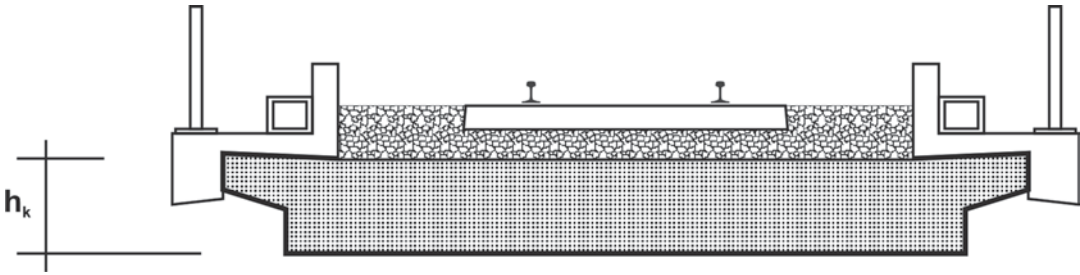


Abb. 7.35 Vollplatte

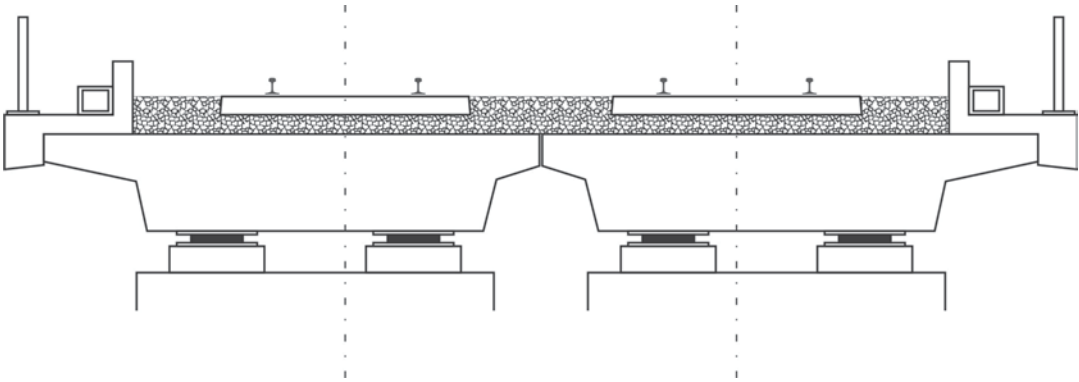


Abb. 7.36 Breiter Balken

Querschnittsformen für Deckbrücken:

Vollquerschnitte in Beton: – Vollplatte
– Breiter Balken

Vollquerschnitte in Verbund: – Walzträger in
Beton

Gegliederte Querschnitte: – Plattenbalken
– Hohlkasten

Stahlbrücken:

- Trägerrost
- Vollwandtragwerk
- Stahl-Hohlkasten

- für mehrgleisige Überbauten (z. B. unter Weichenverbindungen),
- bei geometrisch nicht rechtwinkligen Grundrissen (z. B. schiefe Kreuzungen).

Vorteile:

- einfache Schalung,
- i. Allg. leichtes Bewehren und Betonieren,
- Bemessung auch für die Querbiegemomente eines mehrgleisigen Tragwerks i. d. R. problemlos.

Nachteile:

- schlechte Vorspannung.

Vollplatte

Bei der Vollplatte (Abb. 7.35) handelt es sich um die häufigste Querschnittsform bei Betonbrücken.

für Stützweiten $l < 25$ m
mit Schlankheiten $l/h_k < 22$.

Geeignet

- für eingleisige Überbauten mit $h_k > 1$ m bei knapper Bauhöhe,

Breiter Balken

Der Brückentyp Breiter Balken (Abb. 7.36) ist geeignet

- für eingleisige Überbauten mit $h_k > 1$ m.

Vorteile:

- einfache Schalung,
- i. Allg. leichtes Bewehren und Betonieren,
- Im Falle einer Vorspannung ist bei ausgeprägten Kragarmen des Tragquerschnitts für die

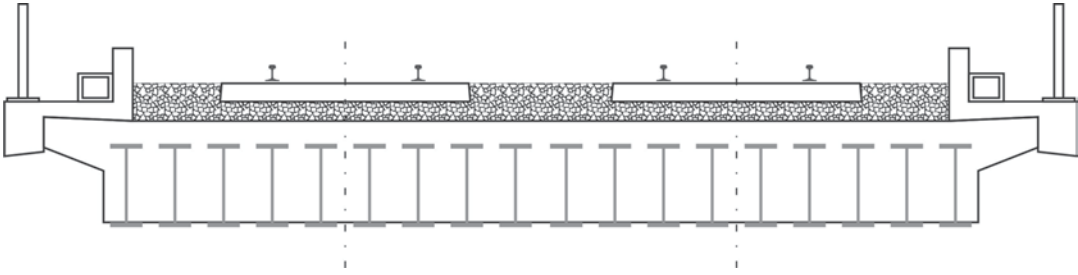


Abb. 7.37 Verbundbrücke mit einbetonierten Stahlträgern

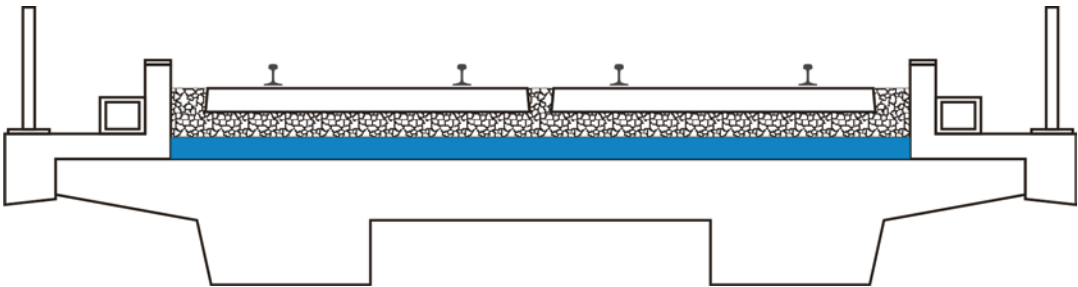


Abb. 7.38 Plattenbalkenbrücke

Spanngliedlagen ein größerer innerer Hebelarm möglich als bei einer Vollplatte, so dass für die Bedingung der Dekompression weniger Spannkraft erforderlich werden. (im Gegensatz zum Plattenbalken).

Nachteile:

- Wenn die Unterschiede in den Dickenabmessungen zwischen den Kragarmen und dem Balken zu groß werden, können beim Abfließen der Hydratationswärme erhebliche Zugeigenspannungen mit unerwünschten Rissbildungen in den Kragarmen entstehen. Die Grundsätze für das Entwerfen von gegliederten Querschnitten sind zu beachten

- bei knapper Bauhöhe,
- für mehrgleisige Überbauten (z. B. unter Weichenverbindungen).

Vorteile:

- einfaches Bauverfahren, denn die Einrüstung kann entfallen und der Schalungsaufwand ist gering
- einfache Berechnung und Bemessung.

Nachteile:

- Bei langen Brücken ist für Durchlauftragwerke ein Vollstoß der Walzträger nach besonderen Bestimmungen herzustellen.
- Bei mehrgleisigen Tragwerken mit großen Querbiegemomenten sind für die untere Querbewehrung viele Bohrungen in den Stegen der Walzträger vorzusehen.

Verbundbrücke mit einbetonierten Stahlträgern

Verbundbrücken mit einbetonierten Stahlträgern (Abb. 7.37) sind geeignet

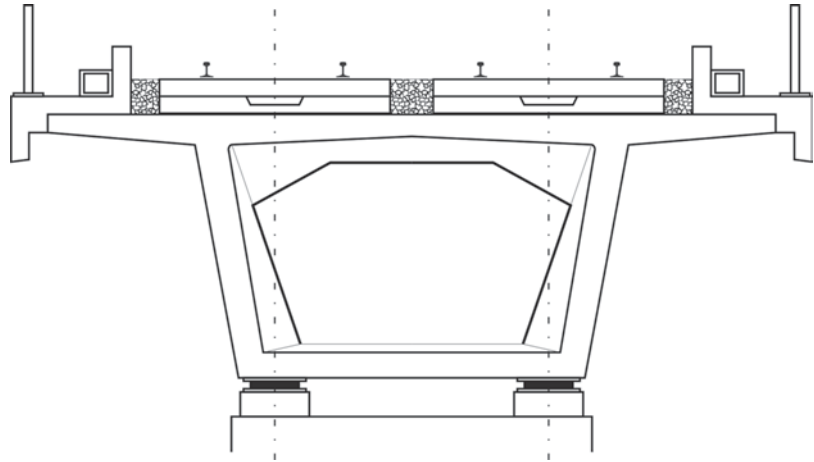
- für Stützweiten $15\text{ m} < l < 25\text{ m}$, mit Schlankheiten $l/h_k < 25$,
- für Baustoffe C25/30 und S 235, $l/h_k < 30$,
- für Baustoffe C30/37 und S 355.
- als Einfeldtragwerk,

Beton-Plattenbalken

Beton-Plattenbalken (Abb. 7.38) eignen sich

- für Stützweiten $15\text{ m} < l < 30\text{ m}$, mit Schlankheiten $l/h_k < 15$.
- für Einfeldträger, wenn eine ausreichend große Bauhöhe zur Verfügung steht und die lotrechten Verkehrslasten nicht zu stark exzentrisch wirken.

Abb. 7.39 Betonhohlkastenbrücke



Vorteile:

- wirtschaftliche Querschnittsform durch sparsamen Betonverbrauch besonders für Einfeldträger, denn die Betonmengen werden optimal eingesetzt,
- geringer Spannstahlbedarf da die Schwerlinie im Querschnitt weit oben liegt.

Nachteile:

- ungünstige Querschnittsform für Durchlaufträger,
- wegen der notwendig großen Konstruktionshöhe h_k ist diese Querschnittsform nur anwendbar, wenn von Schienenoberkante bis zum Lichtraumprofil des unterführten Verkehrsweges genügend Bauhöhe zur Verfügung steht,
- bei exzentrisch wirkenden lotrechten Verkehrslasten erhalten die Stege verschieden große Beanspruchungen.

Betonhohlkasten

Betonhohlkästen (Abb. 7.39) eignen sich

- für Stützweiten $25\text{ m} < l < 60\text{ m}$, mit Schlankheiten $18 > l/h_k < 20$.
- für Durchlaufträger mit großen Stützweiten,
- bei großer exzentrischer Wirkung der lotrechten Verkehrslasten,
- für 2-gleisige Tragwerke.

Vorteile:

- nur geringe Verformungen unter Verkehrslast,
- günstige Querschnittsform auch im Stützenbereich von Durchlaufträgern, da die Bodenplatte einen breiten Druckgurt anbietet,

- über den begehbaren Kastenträger können bei Brückeninspektionen alle Auflager erreicht werden.

Nachteile:

- durch die Innenschalung entsteht hoher Schalungsaufwand,
- schwieriges Betonieren der Bodenplatte am Anschluss der aufgehenden Stege,
- bei unterschiedlichen Dickenabmessungen können beim Abfließen der Hydratationswärme erhebliche Zugeigenspannungen mit unerwünschten Rissbildungen in der Bodenplatte entstehen.

Trägerrost

Trägerroste (Abb. 7.40) sind geeignet

- für Stützweiten $10\text{ m} < l < 20\text{ m}$, mit Schlankheiten $30 > l/h_k < 25$.
- bei knapper Bauhöhe (wegen sehr geringer Konstruktionshöhe des Tragwerks),
- bei Erneuerung eines alten Brückenüberbaus „unter dem rollenden Rad“ ist der Trägerrost wegen seines leichten Gewichts in kurzen Sperrpausen schnell einhebbar.

Vorteile:

- geringes Gewicht,
- sehr niedrige Konstruktionshöhe.

Nachteile:

- hoher Fertigungsaufwand,
- erhöhter Korrosionsschutzaufwand wegen starker Gliederung der Konstruktion,
- stark gegliederte offene Untersicht anfällig gegen Schmutzecken und Salzsprühnebel aus dem unterführten Straßenverkehr,

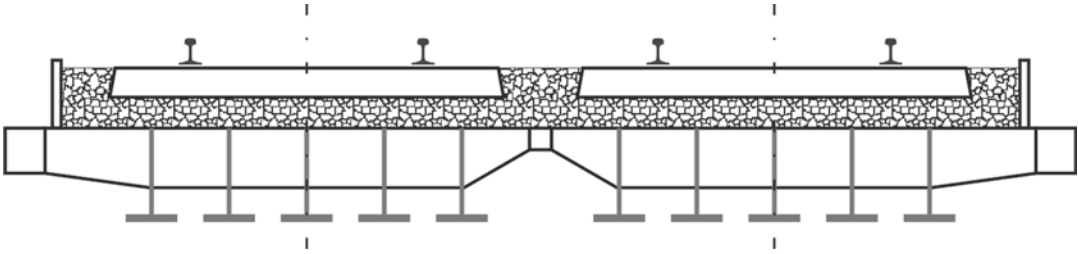


Abb. 7.40 Trägerrostbrücke

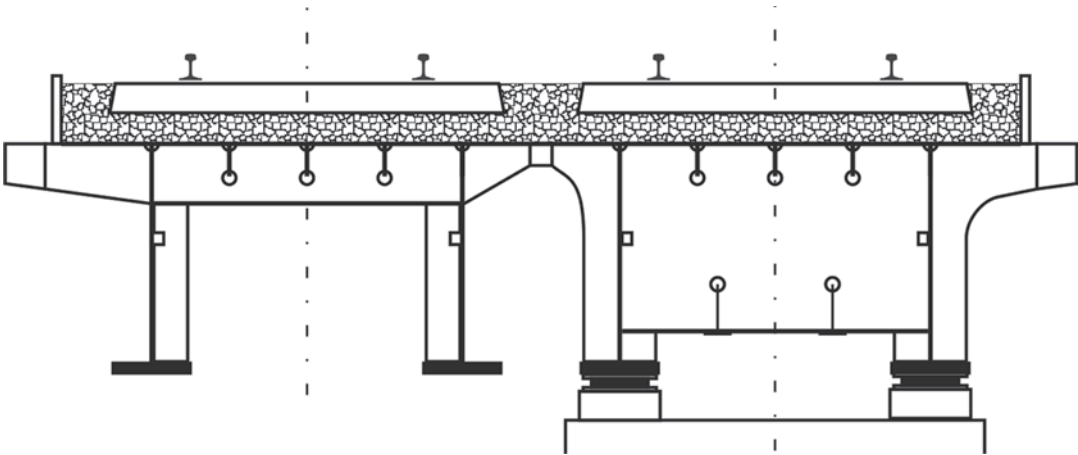


Abb. 7.41 Vollwandträgerbrücke

- bei Anprallschäden Gefahr einer erheblichen Minderung der Tragfähigkeit.

Vollwandträger

Vollwandträger (Abb. 7.41) sind geeignet

- für Stützweiten $10\text{ m} < l < 30\text{ m}$, mit Schlankheiten $15 > l/h_k < 20$.
- für Einfeldträger, wenn eine ausreichend große Bauhöhe zur Verfügung steht und die lotrechten Verkehrslasten nicht zu stark exzentrisch wirken,
- wegen seines leichten Gewichts ist der „Hutquerschnitt“ bei Erneuerung eines alten Brückenüberbaus „unter dem rollenden Rad“ in kurzen Sperrpausen schnell einhebbar.

Vorteile:

- geringes Gewicht mit positiver Auswirkung auf die Unterbauten und Gründungen, damit

kann auf alte Unterbauten abgesetzt werden, die ggf. eine geringere Tragfähigkeit haben.

Nachteile:

- bei Zugüberfahrten Schallabstrahlungen durch die hohen Stegbleche zu erwarten (Umweltverträglichkeit besonders bei Lage der Brücke in Siedlungsgebieten),
- bei Anprallschäden Gefahr einer erheblichen Minderung der Tragfähigkeit.

Stahlhohlkasten

Stahlhohlkästen (Abb. 7.42) sind geeignet

- für Stützweiten etwa $15\text{ m} < l < 45\text{ m}$, mit Schlankheiten etwa $20 < l/h_k < 24$ bei Einfeldträgern, etwa $22 < l/h_k$ bei Durchlaufträgern.
- für Durchlaufträger,

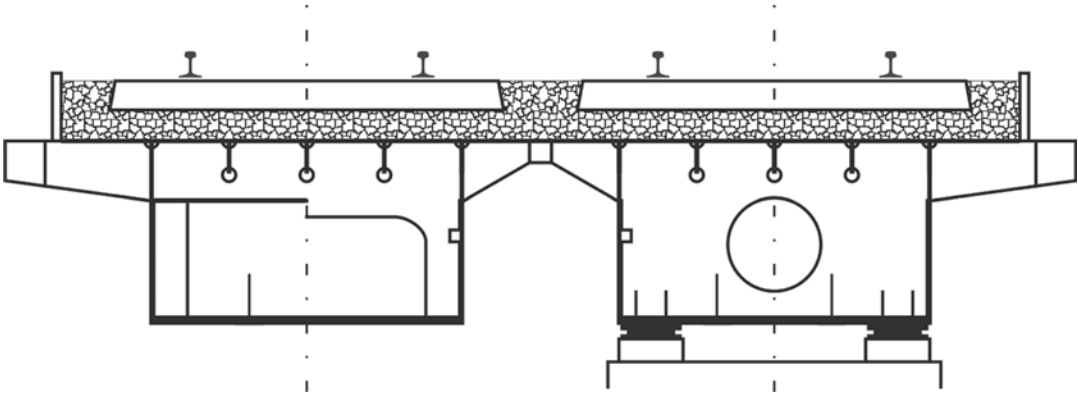


Abb. 7.42 Stahlhohlkastenbrücke

- bei großer exzentrischer Wirkung der lotrechten Verkehrslasten,
- für 2-gleisige Tragwerke.

Vorteile:

- geringes Gewicht, somit geringere Beanspruchung der Unterbauten,
- Als Einfeldträger ist der Hohlkasten bei Erneuerung eines alten Brückenüberbaus „unter dem rollenden Rad“ wegen des geringen Gewichts in kurzen Sperrpausen schnell einhebbar

Nachteile:

- bei Anprallschäden kaum Reparaturmöglichkeiten für die Bodenplatte als Untergurt,
- bei Zugüberfahrten starke Schallabstrahlungen durch den Stahlkasten zu erwarten (Umweltverträglichkeit besonders bei Lage der Brücke in Siedlungsgebieten).

7.3.6.2 Widerlager und Pfeiler

Widerlager

Grundsätzlich gibt es zwei verschiedene Bauformen der Widerlager, welche einen erheblichen Einfluss auf die Planung haben. Die Widerlager werden dabei im Wesentlichen als „Vollwiderlager“ bzw. als „Kammerwand“ ausgebildet. Zusätzlich zu den Widerlagern spielt die Wahl der Flügelwände ebenfalls eine Rolle und hat Einfluss auf die Planung. Hier wird zwischen Parallelflügeln, welche parallel zur Gleisachse angeordnet sind und Schrägflügel, welche schräg zur Fahrbahn angeordnet sind, unterschieden. Die Wahl der Widerlager und der Flügel hängt im

Wesentlichen von den örtlichen Gegebenheiten und Randbedingungen ab.

Die Hauptunterscheidungsmerkmale sind dabei

- das niedrige in die Böschung zurückgesetzte Widerlager (Abb. 7.43) und
- das hohe nach vorn gesetzte Widerlager (Abb. 7.44).

Der Vorteil bei zurückgesetzten Widerlagern (Abb. 7.43) besteht darin, dass diese relativ klein ausgebildet werden können und die Brücke durch die schräge Böschung nicht so „störend“ empfunden wird. Der Nachteil ist dabei, dass die Überbauten länger werden. Bei einem nach vorne gesetzten Widerlager (Abb. 7.44), muss dieses sehr hoch ausgebildet werden. Dadurch erscheinen das Widerlager und das Bauwerk sehr dominant. Der Vorteil ist dabei, dass die Überbauten kürzer ausfallen und dass die Baugrube nicht so groß wird.

Eine Ausnahme zu den beschriebenen Widerlagern bildet das Hohlwiderlager, welches bei großen Brückenlängen eingesetzt wird. Das Hohlwiderlager hat dabei nicht nur die Funktion, die Überbauten aufzulagern, sondern auch einen Zugang in das „Innere“ der Brücke sowie Lager- und Arbeitsräume zu gewährleisten.

Für die Ausbildung der Widerlager hat die konstruktive Gestaltung am Brückenende zusätzlich großen Einfluss auf die Instandhaltungskosten und auf den Eisenbahnbetrieb, deshalb müssen von den Planern insbesondere folgende Punkte beachtet werden:

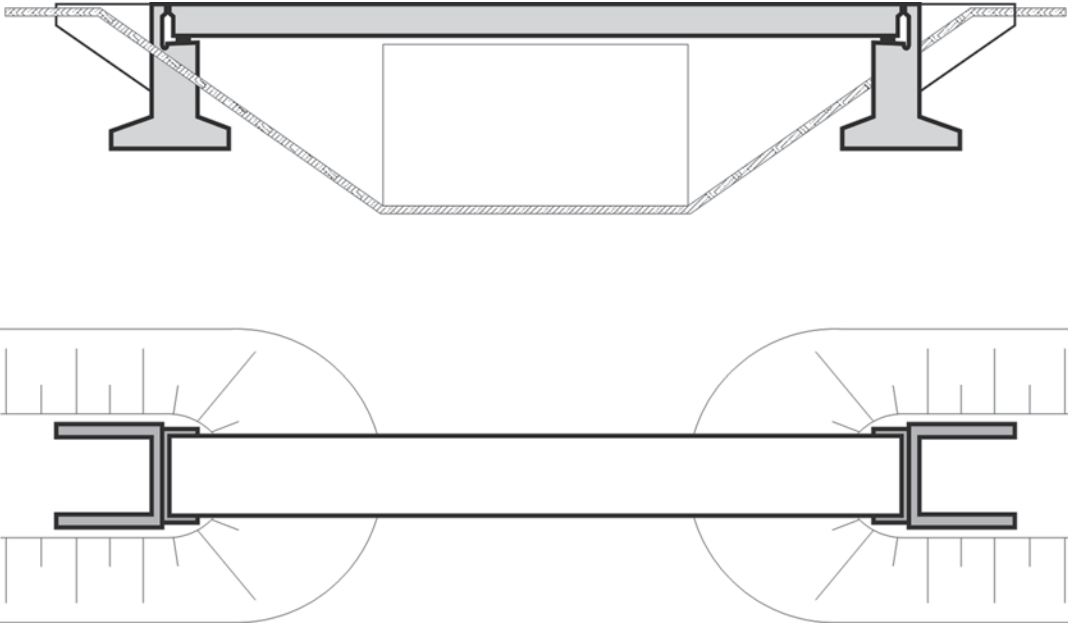


Abb. 7.43 Zurückgesetztes Widerlager

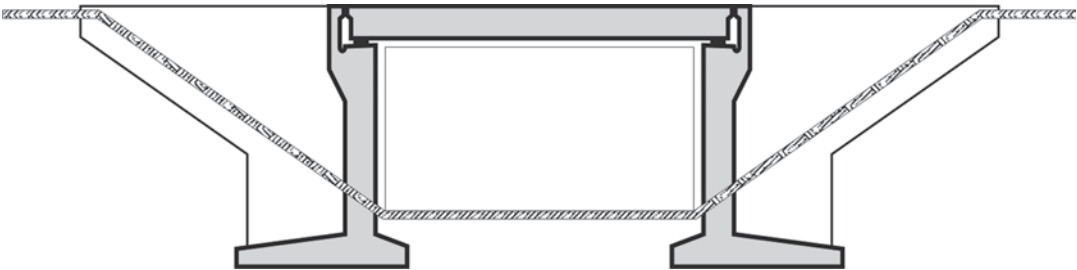


Abb. 7.44 Nach vorn gesetztes Widerlager

- Wirkungen des beweglichen Brückendes gegen die Hinterfüllung,
- Auswirkung des Endtangentialwinkels aus der Durchbiegung auf das Gleis,
- Abführung des Oberflächenwassers der Fahrbahnplatte,
- Zugänglichkeit der Auflagerung für Inspektion und Wartung,
- Art der Fahrbahn (Schotter oder Feste Fahrbahn).

In Abb. 7.45 werden die verschiedenen Widerlagerausbildungen dargestellt.

Pfeiler

Pfeiler spielen bei Brücken mit größerer Stützweite eine Rolle hinsichtlich des statischen Ge-

samtsystems und der Gestaltung. Grundsätzlich wird zwischen zwei Pfeilertypen unterschieden, welche dabei in verschiedenen Variationen ausgebildet sein können:

- Vollpfeiler werden von außen gewartet,
- Hohlpfeiler werden von innen gewartet und inspiziert.

Die Pfeiler unterliegen verschiedenen Randbedingungen und haben Einfluss auf die konstruktive Gestaltung. Die Höhe der Brücke ist entscheidend für den Einsatz verschiedener Brückenbesichtigungsgeräte. Brücken mit Höhen bis ca. 14 m über Gelände können vom Boden aus inspiziert werden, demnach kommen hier Vollpfeiler zum Einsatz. Pfeiler über 14 m Höhe werden i.d.R. von innen inspiziert. Hier kommen

| | |
|---|--|
| | <p>Überbauende stößt in voller Höhe gegen Filtersteine und Hinterfüllung. Brückendurchbiegung hat direkten Einfluss auf Filtersteine und Hinterfüllbereiche</p> |
| | <p>Die Kammerwand wird zur Hälfte der Überbauhöhe hochgezogen. Dadurch verringert sich die Auswirkung der Brückendurchbiegung auf Filtersteine und Hinterfüllbereiche.</p> |
| | <p>Betonbrücke: Die Kammerwand bildet den Abschluss zu Filtersteinen und Hinterfüllbereich. Entkopplung des Einflusses der Brückendurchbiegung von den Einwirkungen auf Filtersteine und Hinterfüllbereiche. Ausführung mit geschlossener Fugenkonstruktion</p> |
| | <p>Stahlbrücke: Die Kammerwand bildet den Abschluss zu Filtersteinen und Hinterfüllbereich. Entkopplung des Einflusses der Brückendurchbiegung von den Einwirkungen auf Filtersteine und Hinterfüllbereiche. Ausführung mit geschlossener Fugenkonstruktion</p> |
| | <p>Die Kammerwand bildet den Abschluss zu Filtersteinen und Hinterfüllbereich. Entkopplung des Einflusses der Brückendurchbiegung von den Einwirkungen auf Filtersteine und Hinterfüllbereiche. Ausführung mit geschlossener Fugenkonstruktion. Wartungsgang ermöglicht einfache Wartung und Instandhaltung.</p> |
| | <p>Ausführungsvariante für Talbrücken; Hohlwiderlager mit Zugangsmöglichkeit des Hohlkastens</p> |
| <p>Legende Filtersteine</p> | |

Abb. 7.45 Bauweisen für Widerlager

Hohl Pfeiler zum Einsatz. Zusätzlich ist auch entscheidend, ob die Überbauten als Durchlaufträger oder Einfeldträger ausgebildet werden. Pfeiler für Durchlaufträger werden i. d. R. schlanker ausgebildet, da hier konstruktiv keine „Stöße“ der Überbauten berücksichtigt werden müssen. Außerdem müssen nur eine Lagerachse auf dem Pfeilerkopf untergebracht werden. Pfeiler für Einfeldträgersysteme haben größere Abmessungen, da hier jeweils die Enden der Überbauten „gestoßen“ werden und auch die Pfeilerköpfe zwei Lagerachsen aufnehmen müssen.

7.3.7 Ausrüstungselemente für Eisenbahnbrücken

7.3.7.1 Entwässerung

Die Entwässerung ist das gezielte Abführen von Wasser durch künstliche Einrichtungen. Dabei wird unterschieden in Offene Entwässerung (z. B. Rinnen, Gräben) und Geschlossene Entwässerung (z. B. Rohre).

Das rasche und wirkungsvolle Abführen des Oberflächenwassers dient

- der Sicherheit des Verkehrs,
- einer langen Lebensdauer und
- einem geringen Unterhaltungsaufwand des Ingenieurbauwerks.

Das Oberflächenwasser der Fahrbahn muss vom Gleis weg und auf kurzem Weg zu Einläufen/Abläufen geführt werden. Dafür muss die Oberfläche des Brückendecks ein Quer- und ggf. ein Längsgefälle erhalten. Durch das Gefälle weg vom Gleis soll vermieden werden, dass sich unter den Gleisen Restwasser sammelt und Schmutz anreichert, was den Untergrund der Gleisbettung verschlammten und damit das Strukturverhalten des Schottergerüsts stören würde.

Es wird unterschieden in

- kurze Brücken bis 30 m Länge und
- lange Brücken über 30 m.

In Längsrichtung muss i. Allg. kein besonderes Gefälle ausgebildet werden. Brücken mit Längen bis etwa 30 m – auch solche ohne Längsneigung – dürfen ohne besondere Entwässerungseinläufe im Überbau über die Sickerwände an den Widerlagern entwässert werden. Zur Vermeidung von Wassersackbildung und zur Sicherstellung der

Entwässerung bei Gleisgradienten ohne Längsneigung sollte auch bei Stützweiten ≤ 15 m die Überhöhung in der Oberfläche der Fahrbahnplatte vorgesehen werden.

7.3.7.2 Abdichtung

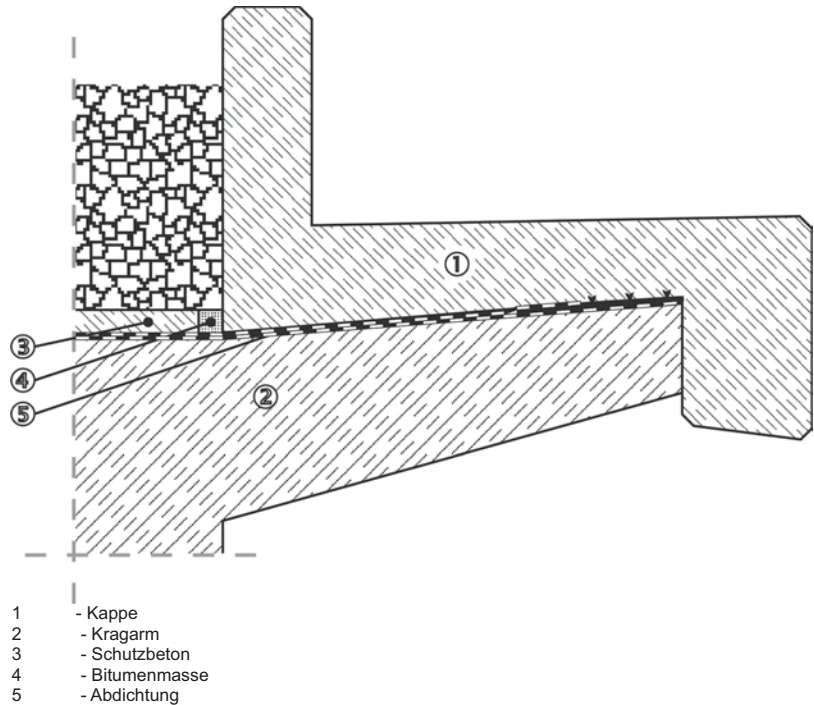
Eine Bauwerksabdichtung hat die Aufgabe, Bauwerke vor den schädigenden Einflüssen des im Boden befindlichen Wassers zu schützen, z. B.:

- Frost-Tau-Wechsel-Gefährdung mancher Baustoffe,
- verringerte Festigkeit mancher Baustoffe im feuchten Zustand,
- Korrosion von Baustoffen bei aggressivem Wasser,
- Nutzungseinschränkungen bei durchfeuchteten Wänden,
- Eindringen von Wasser in ein Bauwerk.

Bauwerksabdichtungen sind dadurch gekennzeichnet, dass sie i. d. R. weder gewartet noch nachgebessert werden können, so dass sie für die Lebensdauer des abzudichtenden Bauwerks funktionsfähig sein müssen. Die Sanierung fehlerhafter Abdichtungen verursacht enorme Kosten, deren Verhältnismäßigkeit in Abhängigkeit der Nutzungsdauer geprüft werden muss. Jede Abdichtungsmaßnahme muss geplant werden. Mit der Planung muss ein fachkundiger Ingenieur beauftragt werden, der entsprechend der vorhandenen Beanspruchung, eine Abdichtungsplanung erstellt. Besondere Aufmerksamkeit ist dabei Anschlüssen und Übergängen zu widmen.

7.3.7.3 Randkappen

Das Brückendeck setzt sich aus der Fahrbahn und den Randkappen zusammen. Die Randkappe begrenzt seitlich die Fahrbahn. Sie trägt alle Ausrüstungselemente, die für den Eisenbahnbetrieb und für die Instandhaltung der Brücke notwendig sind und besteht im Allgemeinen aus Gesims, Randweg, Ausrüstungsbalken, Kabeltrog und Schotterbegrenzungsbalken. Die Randkappe ist auf der Fahrbahnplatte aufgelegt. Sie ist unter bestimmten Voraussetzungen auswechselbar und kann ggf. den veränderten Anforderungen an das Brückendeck jederzeit angepasst werden und soll daher bei der Ermittlung des Tragverhalten des Brückenüberbaus nicht angesetzt werden.

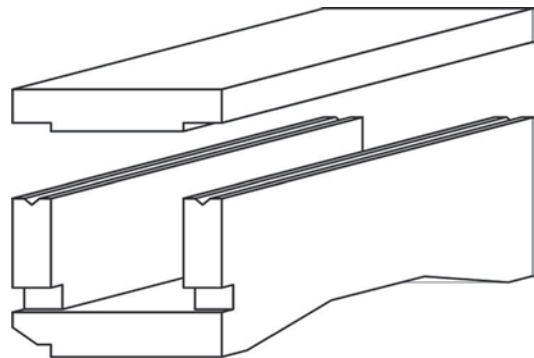
Abb. 7.46 Randkappe

Da die Randkappe (Abb. 7.46) wie eine Flachgründung für den Oberleitungsmast wirkt, kann sich die Fugenfläche zwischen Randkappe und Kragarm unter der Einwirkung von Seitenkräften auf den Oberleitungsmast abwechselnd leicht öffnen und wieder schließen, so dass Wasser, das von der Brückenfahrbahn in diese Fuge eingesickert ist, nach außen zum Gesims hin gepumpt werden kann. Aus diesem Grund wurde ein spezielles Dichtungsband entwickelt, welches dem Effekt des Pumpens mittels Sperren entgegenwirkt. Das Dichtungsband soll ein Austreten dieses Wassers am Gesims verhindern. Weiterhin eignen sich aus diesem Grund keine Fertigteilrandkappen, da hier kein Dichtungsband eingelegt werden kann.

1. - Kappe
2. - Kragarm
3. - Schutzbeton
4. - Bitumenmasse
5. - Abdichtung

7.3.7.4 Kabeltrog

Kabeltröge (Abb. 7.47) sind mechanische Schutzsysteme für die Verlegung elektrischer Kabel. Sie

**Abb. 7.47** Kabeltrog

dienen dem Schutz und der mechanischen Entlastung der Kabel. Der Kabeltrog ist zum Einbau als aufgesetzter Kabeltrog auf massiven Eisenbahnbrücken bestimmt. Er besitzt spezielle Vorkehrungen zur Längs- und Querentwässerung. In den Wangen ist ein V-förmiger Ausschnitt vorzusehen, um einen Dichtungsstreifen (Teerstrick) aufzunehmen. Kabeltröge sind in festgelegten Einheitsgrößen verfügbar. Der Querschnitt entspricht den überwiegend erforderlichen Querschnitten auf Eisenbahnbrücken.

Im Bahnhofsbereich bzw. in näherer Umgebung zu einem Bahnhof kann es jedoch zu einer Bündelung von Kabeln unterschiedlichster Fachdienste kommen, so dass entweder eine beidseitige Anordnung von Kabelkanälen vorgesehen wird oder sogar zwei Kabelkanalfertigteile der Größe II nebeneinander auf einer Seite angeordnet werden. In diesem Fall muss die Breite der Randkappe entsprechend dimensioniert werden ggf. auch die des Überbaus.

7.3.7.5 Schotterhaltung

Die Schotterhaltung begrenzt wie die Randkappe seitlich die Fahrbahn. Schotterhaltungen werden nach konstruktiven Gesichtspunkten entweder aus Blechen oder Stahlbeton ausgebildet.

7.3.7.6 Geländer

Geländer dienen als Schutzausrüstung, d. h. als

- Schutz vor dem Herabstürzen von Personen sowie das Hindurchrutschen von gestürzten Personen,
- Schutz vor dem Herabfallen von Gegenständen auf (ggf. unterführte Verkehrswege) darunter liegende Verkehrswege, besonders bei elektrifizierten Strecken.

Sie sind daher in erster Linie entsprechend den Vorgaben der Unfallverhütungsvorschriften (UVV) und den Anforderungen von Richtlinie **804.1101** auszubilden.

Folgende Konstruktionsarten werden unterschieden:

- Holmgeländer mit einem oder zwei Zwischenholmen
- Füllstabgeländer
- Geländer mit Welldrahtgitterrahmen

7.3.7.7 Brückenlager

Als Lager (7.21) bezeichnet man Bauelemente, die die Kräfte aus dem Brückenüberbau konzentrieren und möglichst zwängungsfrei in die Unterbauten übertragen und/oder gleichzeitig Bewegungen und Verformungen des Bauwerks ermöglichen. Für den Brückenneubau der Deutschen Bahn AG kommen nach Modul 5101 der Richtlinie 804 wegen der hohen eisenbahnspezifischen Anforderungen nur Kalotten- und Elastomerlager zur Ausführung. Topf-, Rollen- und Linienkipplager sind nicht zulässig.

Kalotten- und Elastomerlager können mit Gleiteinrichtungen nach DIN EN 1337-2 sowie mit Festhaltungen und Festhaltekonstruktion nach DIN EN 1337-8 als auch nach DIN 4141-13 kombiniert werden, so dass je nach Aufgabenstellung das technisch sinnvollste Lager verfügbar ist.

Wie bereits ausgeführt, wurden die Regelungen für Ausstattungselemente national durch Zulassungen ergänzt. Die eisenbahnspezifisch höheren Anforderungen und die damit verbundenen Regelungen finden sich im Modul 5101 der Richtlinie 804.

7.3.7.8 Fugen- und Übergangskonstruktion

Grundsätzlich haben Fugen- und Übergangskonstruktionen die Aufgabe der Überbrückung von Bewegungen zwischen zwei Tragelementen. Um zwängungsfreie Bewegungen zwischen zwei gegeneinander verschieblich angeordneten Tragelementen zu ermöglichen, werden zur Verbindung bzw. zur Überbrückung der Bewegungsfugen, Fugen- und Übergangskonstruktionen vorgesehen.

Fugen- und Übergangskonstruktionen werden unterschieden in Festhaltungen mit Formschluss und Festhaltungen mit Kraftschluss. Bei Fugenkonstruktionen mit außenliegenden Klemmprofilen handelt es sich um Festhaltungen mit Kraftschluss. Diese müssen im Gegensatz zu Festhaltungen mit Formschluss zusätzlich durch Bauschutzmatten geschützt werden.

Fugenübergangskonstruktionen müssen geeignet sein Verkehrslasten aufzunehmen. Hierbei ist zu beachten, dass z. B. Schwellen auf den Fugen- und Übergangskonstruktionen liegen können. Steifigkeitssprünge zwischen Überbau – Widerlager und Übergangskonstruktion müssen klein gehalten werden.

Eine weitere wichtige Aufgabe ist das gezielte Abführen des Wassers auf der Brücke. dies kann mittels offenen oder geschlossenen (wasserdichten) Fugen- und Übergangskonstruktionen erfolgen. Das im Bereich der Trennfuge anfallende Oberflächenwasser des Brückendecks soll gezielt gesammelt und planmäßig zu den Fallrohren

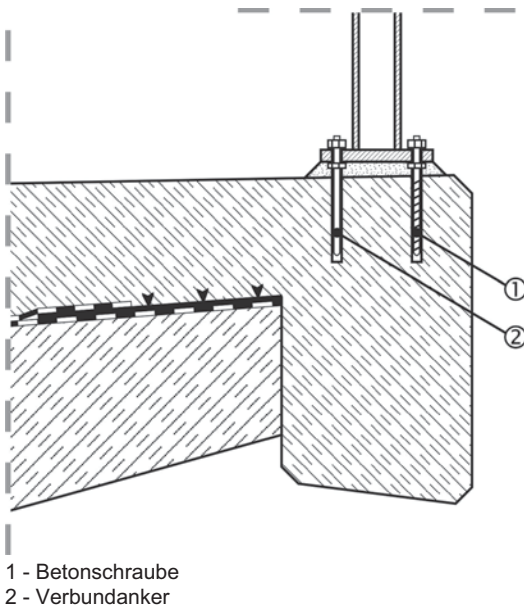


Abb. 7.48 Befestigungsvarianten

in den Widerlagern, Pfeilern oder auf den Übergangsbereich abgeführt werden.

Man unterscheidet zwischen

- bituminös eingeklebten Längsfugenbändern, die bis zu einer Brückendurchbiegung von 25 mm eingebaut werden können. Bituminös eingeklebte Längsfugenbänder sind für schwimmende Lagerung und Spannbetonüberbauten nicht zulässig.

und

- Fugen- und Übergangskonstruktionen, die über das o. g. Durchbiegungsmaß hinaus und/oder bei anderen Bewegungen des Bauwerks sowohl in Brückenlängs- als auch in Brückenquerrichtung eingebaut werden können.

7.3.7.9 Befestigungen und Verankerungen

Befestigungen und Verankerungen (Abb. 7.48) haben die Aufgabe, alle nachträglich anzubringenden Ausrüstungselemente wie

- Geländer,
- Lärmschutzwände
- Oberleitungs- und Signalmasten,
- Signalausleger und Signalbrücken,
- und sonstige wie Fernsprecher, KVZ-Schränke oder Windmessgeräte,

auf den Eisenbahnbrücken zu befestigen.



Abb. 7.49 Ausrüstungsbalken

Bei Befestigungen werden z. B. Dübel oder Betonschrauben in Verbindung mit Bohrtechnik und ggf. Injektionsmaterial nachträglich am Bauteil montiert. Bei Verankerungen handelt es sich um Einlegeteile, z. B. Ankerkörbe mit Gewindehülsen bzw. Gewindebolzen, Ankerplatten mit Kopfbolzen, Ankerschienen, die vor der Betontage eines Bauteils positioniert werden müssen.

1. Betonschraube
2. Verbundanker

7.3.7.10 Ausrüstungsbalken

Auf dem Ausrüstungsbalken (Abb. 7.49) sind die Befestigungsmittel aller Systemkomponenten der Oberleitung sowie der Leit- und Sicherungstechnik angeordnet. Die Oberkante des Ausrüstungsbalkens beträgt i. d. R. $\pm 0,00$ m zur Schienoberkante (SO).

7.3.7.11 Oberleitungsmaste

Oberleitungsmasten sind für die Montage der Oberleitung einer elektrifizierten Eisenbahn. Oberleitungsmasten für die Eisenbahn werden i. d. R. aus Stahl oder Stahlbeton gefertigt. Bei Neu- und Ausbaustrecken werden meist Schleu-

derbetonmaste verwendet. Bei modernen Oberleitungsmasten hängt der Oberleitungsfahrdrabt meist an einem N-förmigen Ausleger, während früher auch andere Bauarten üblich waren. Da der Fahrdrabt stets straff gespannt sein muss, erfolgt die Abspannung des Fahrdrabts stets über eine Rolle, an der ein Seil mit einem Gewicht hängt.

7.3.7.12 Signalmaste

Eisenbahnsignale an Signalmasten signalisieren grundsätzlich, ob und in welcher Geschwindigkeit Streckenabschnitte befahren werden dürfen. Dazu existieren verschiedene Signalarten, die sich grob in Haupt- (Hp) und Vor- (Vr) sowie Zusatzsignale (Zs) gliedern lassen. Auf Eisenbahnbrücken vermeidet man weitgehend die Anbringung von Signalmasten.

7.3.7.13 Führungen und Fangvorrichtungen

Bei Gleisen auf Eisenbahnbrücken sind Führungen – i. d. R. mit einem Abstand zur Fahrschiene von 180 mm und auf 5 m Länge über die Überbauenden hinaus – und zusätzlich zugehörigen unverkürzten Fangvorrichtungen mit 6 m Länge einzubauen, und zwar:

- bei Brücken mit tragenden Konstruktionsteilen oberhalb des Gleises, die durch Anprall entgleister Fahrzeuge beschädigt oder zerstört werden können,
- bei Brücken, die entgleiste Fahrzeuge nicht vor dem Absturz schützen können und
- bei Brücken mit Gleisbögen oder im Anschluss an Gleisbögen (auch mit Übergangsbögen) mit Radien $R < 300$ m.

7.3.8 Hilfsbrücken und Baubehelfe

Hilfsbrücken, Baubehelfe und temporäre Bauwerke haben die Aufgabe, permanente Brücken, die aufgrund ihres Alters, möglicher Beschädigungen oder auch wegen Sanierungsmaßnahmen nicht befahrbar sind, vorübergehend durch schnell und einfach zu errichtende Tragkonstruktionen zu ersetzen. Mithilfe von Hilfsbrücken, Baubehelfen und temporäre Bauwerke ist es möglich, Instandsetzungsmaßnahmen ohne



Abb. 7.50 SKB-Brücke

größere Probleme und ohne größere Betriebseinschränkungen durchzuführen.

Hilfsbrücken müssen leicht sowie schnell montier- und demontierbar sein und zusätzlich, wenn auch mit Einschränkungen der Gebrauchstauglichkeit, den Anforderungen an Eisenbahnbrücken genügen. Diese Brückenüberbauten sind zumeist mehrfach einsetzbare stählerne Tragkonstruktionen, die für den o. g. Verwendungszweck sowie für den Katastrophenfall in großen Stückzahlen vorgehalten werden.

7.3.8.1 Geschichtlicher Überblick

Hilfsbrücken und temporäre Bauwerke haben durch die in militärischen Einsätzen gewonnenen Erfahrungen und Erkenntnisse auch im zivilen Bereich an Bedeutung gewonnen. Bereits während des 1. Weltkriegs wurden diese von den Pionieren des Militärs eingesetzt um die Versorgung an der Front sicherzustellen und schnellen Nachschub und die Truppenbeweglichkeit zu gewährleisten. Gerade zwischen den beiden Weltkriegen hat die Entwicklung von Brückensystemen ihren Höhepunkt erreicht. Große Hilfsbrückensysteme konnte der Laie kaum von permanenten Brücken unterscheiden. Diese ähnelten Fachwerkbrücken und überspannten bis zu mehreren hundert Metern. Wesentliche Großhilfsbrückensysteme waren dabei:

- SKR 6-Brücke (Schaper-Krupp-Reichsbahn mit 6 m Feldweite)
- SE-Brücke (Straßen-Eisenbahn-Brücke)
- SKB-Brücke (Schaper-Krupp-Bundesbahn) (Abb. 7.50).

Nach dem 2. Weltkrieg sind Hilfsbrücken auch zunehmend im zivilen Bereich eingesetzt worden. Ohne die Entwicklung verschiedenster Hilfsbrückentypen zur Wiederherstellung der Verkehrswege wäre der Wiederaufbau Deutschlands nicht denkbar gewesen. In dieser Zeit wurden die Hilfsbrücken auch auf die Eisenbahnspezifischen Anforderungen angepasst, da die Versorgung überwiegend über die Schiene abgewickelt wurde.

In den 50-er Jahren verlagerte sich der Verkehr dann wieder zunehmend auf die Straße. Während dieser Zeit veränderten sich die Anforderungen von Hilfsbrücken komplett, da die Hilfsbrücken für den Verteidigungsfall noch schneller aufbaubar sein mussten.

In jüngerer Vergangenheit werden die Anforderungen immer größer, da die Geschwindigkeiten zunehmen, mit denen über die Hilfsbrücken gefahren wird. Deswegen wurden die Hilfsbrücken typisiert.

7.3.8.2 Schutz vor Katastrophen und höherer Gewalt

Die Philosophie von Hilfsbrücken spielt nach dem 2. Weltkrieg bis heute eine wesentliche Rolle, da diese für den Katastrophenschutz seitens des Bundes vorgehalten werden. Speziell SKB-Brücken wurden während des „kalten Krieges“ für den Verteidigungsfall geplant und vorgesehen. Sie durften nur in begrenzter Stückzahl und nur für eine kurze Dauer ‚verliehen‘ werden. Daher wurden SKB-Brücken relativ selten eingebaut. Brücken unterliegen dem „Einzelplan 12“, welcher die Bereitstellung von Brücken für den Katastrophenfall zur Aufgabe hat. Diese Bestimmung gilt bis heute.

Beim großen Elbehochwasser 2002 konnte, mittels der im Hilfsbrückenlager Konz bei Trier befindlichen Hilfsbrücken für Katastrophenfälle, die eingestürzten Eisenbahnbrücken bei Riesa innerhalb kürzester Zeit ersetzt und der Fahrbetrieb wieder aufgenommen werden.

7.3.8.3 Aktuell eingesetzte Hilfsbrücken und Hilfsstützen

Im Laufe der Jahrzehnte kristallisierten sich bestimmte Hilfsbrückensysteme und Hilfsstützen

heraus. Dabei haben sich im Wesentlichen drei Systeme für typische Einsätze herausgebildet.

Zum einen waren dies die klassischen Zwillingsträgerhilfsbrücken zum Überbrücken von Einschnitten. Diese Zwillingsträgerhilfsbrücken werden wie permanente Brücken aufgelagert, wobei sich die Lagerungssysteme von Hilfsbrücken bezüglich Unterstopfung und Nachstellbarkeit von denen permanenter Brücken unterscheiden.

Zum anderen wurden Kleinhilfsbrücken mit sehr geringen Bauhöhen entwickelt, um einen Einsatz direkt im Gleis für Gleissicherungen oder für Gleisabfangung kleiner Überbrückungen zu gewährleisten. Die geringe Bauhöhe der Kleinhilfsbrücken ist deshalb erforderlich, da diese von der Seite in das Gleis eingeschoben werden.

Zwillingsträgerhilfsbrücken und Kleinhilfsbrücken bestehen aus vier Längsträgern. Zwischen jeweils zwei Längsträgern wird dabei eine Schiene auf den Querträgern befestigt. Die Längsträger sind relativ breit, da auf deren Unterseite Lager angeordnet werden. Manche Hilfsbrücken haben auch aufgeschweißte Gurtlamellen als zusätzliche Verstärkungen.

Als drittes System haben sich Hilfsstützen als sinnvolle Ergänzung temporärer Bauwerke erwiesen.

Zwillingsträger-Hilfsbrücken

Die gebräuchlichsten Hilfsbrücken für den Bau unter dem rollenden Rad sind Zwillingsträger-Hilfsbrücken. Hierbei wird unterschieden in Zwillingsträger-Hilfsbrücken des Altbestandes (ZHa) (Abb. 7.51) und neuen Zwillingsträger-Hilfsbrücken (ZH) (Abb. 7.52 und 7.53).

Zwillingsträgerhilfsbrücken müssen wie permanente Brücken eine ausreichende Tragfähigkeit unter Einhaltung der Verformungsgrenzwerte gewährleisten. Sie müssen robust und für den Baustelleneinsatz geschaffen sein. Außerdem müssen Hilfsbrücken einfach, schnell und leicht montierbar sein und dabei noch ein möglichst geringes Gewicht haben.

Der Hilfsbrückentyp (ZHa) wurde Anfang der 1970er Jahre entwickelt und 1976 als Systemhilfsbrücke eingeführt. Dieser Typ wurde permanent weiterentwickelt, was letztendlich in den 1990er Jahren zum Zwillingsträgerhilfsbrückentyp (ZH) führte. Zwillingsträgerhilfsbrücken des

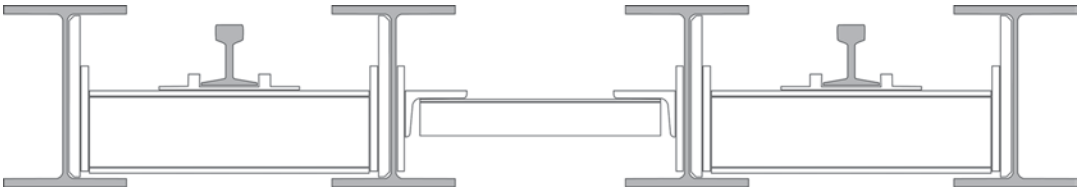


Abb. 7.51 Zwillingssträger-Hilfsbrücke des Altbestandes

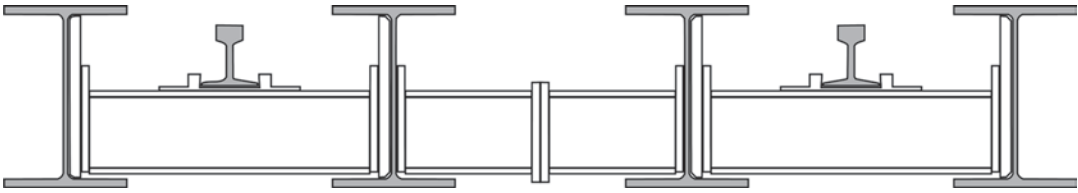


Abb. 7.52 Endquerträger ZH

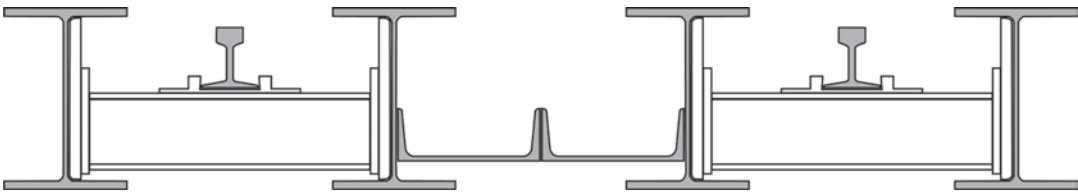


Abb. 7.53 Bremsverband ZH

Altbestandes werden heute nicht mehr gefertigt. Es werden lediglich beschädigte Konstruktionsteile erneuert.

Zwillingssträger-Hilfsbrücken nach Richtzeichnung ZHa (Zwillingssträgerbrücken alter Bauform), gibt es in den Stützweiten $L=7,20$ m bis $L=24,00$ m in Stützweitenrastern von 2,40 m. Zwillingssträger-Hilfsbrücken nach Richtzeichnung ZH, in den Stützweiten $L=7,20$ m bis $L=26,40$ m in Stützweitenrastern von 2,40 m.

Technische Besonderheiten (ZHa):

- Stahlwinkel-Diagonal-Verband zwischen beiden Hauptträgerpaaren,
- der Auflagerpunkt enthält vier Bohrungen $\varnothing 25$ mm für ggf. anzuschraubende Auflagerplatten oder -konstruktionsteile,
- asymmetrisch angeordnete Langlöcher zum Anschluss der Schienenauflegerplatten Rph,
- Transport-Anschlagpunkte (Anhängertraversen) außen an den äußeren Hauptträgern,
- Gehwegkonsolen und Geländerelementen werden eingehängt.

Technische Besonderheiten (ZH):

- Zwillingssträger-Hilfsbrücken Typ ZH können im Bereich der Endauflager bis zu 1,20 m verkürzt und/oder schief aufgelagert werden.
- U-Eisen als Verbandes zwischen beiden Hauptträgerpaaren,
- der Auflagerpunkt enthält vier Bohrungen $\varnothing 25$ mm für ggf. anzuschraubende Auflagerplatten oder -konstruktionsteile,
- asymmetrisch angeordnete Langlöcher zum Anschluss der Schienenauflegerplatten Rph,
- Transport-Anschlagpunkte (Anhängertraversen) innen an den äußeren Hauptträgern. Dadurch kann die Hilfsbrücke leichter eingehoben werden und eine Schädigung beim Anschlagen wird damit vermieden
- Beim Typ ZH werden die Gehwegkonsolen überwiegend fest montiert, horizontal drehbar gelagert und durch einen Sicherungsbolzen selbsttätig gesichert. Zum Transport müssen die Gehwegkonsolträger um 90° eingeschwenkt werden, so dass sie an den Längsträgern anliegen.

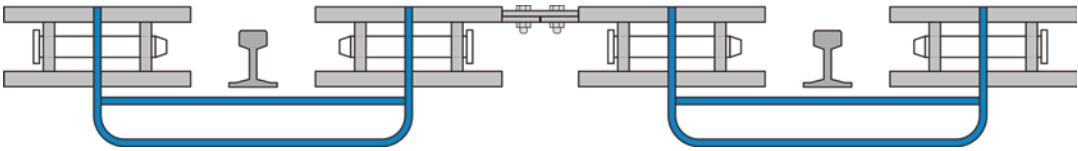


Abb. 7.54 Klein Hilfsbrücke

Klein Hilfsbrücken

Klein Hilfsbrücken (Abb. 7.54) besitzen eine sehr geringe Bauhöhe und können dadurch auch bei entsprechenden Baumaßnahmen wie kleineren Gleisabfängerungen und als Gleissicherung eingesetzt werden, wo wenig Bauhöhe zur Verfügung steht. Sie zeichnen sich konstruktiv dadurch aus, dass sie einen gerundeten Träger haben, der bei Gleissicherungen ein Einschieben von der Seite her ermöglicht.

Bekannte und seit vielen Jahrzehnten eingesetzte Bauarten sind:

- Klein Hilfsbrücken KHB, in den Längen $L=6,00$ m und $L=12,00$ m,
- verstärkte Klein Hilfsbrücke KHBv, in den Längen $L=9,31$ m und $L=12,51$ m.

Aufgrund der Erfordernisse an Klein Hilfsbrückensysteme wurden diese in den letzten Jahren weiterentwickelt und an Lagerhaltung und Montage angepasst. Dabei entwickelte die DB Netz AG ein modulares System, welches identische Querträger und Verbindungsbolzen sowie zwei verschiedene Längsträger hat.

Das modulare System unterscheidet dabei zwei unterschiedliche Klein Hilfsbrücken, wobei sich im Wesentlichen nur die Längsträger unterscheiden:

- KHB-K und KW in der Länge $L=8,46$ m,
- KHB-M in der Länge $L=7,26$ m.

Querschnitt Klein Hilfsbrücke (KHB):

Technische Besonderheiten Klein Hilfsbrücken:

- Klein Hilfsbrücken sind nicht verwindungssteif und daher nicht für schiefe Auflagerung geeignet,
- Klein Hilfsbrücken sind für den Einbau in Gleisen mit Holz- und Betonschwellen (B 70) geeignet,

- Klein Hilfsbrücken können im geraden Gleis und in Bögen ($R \geq 300$ m) verwendet werden (KHB mit 6 m Länge in Bögen $R \geq 150$ m),
- Gleissicherungen ohne besonders herzurichtende Auflager können i. d. R. ohne Einschränkung an die örtlich zulässige Geschwindigkeit eingesetzt werden.
- bei der Gleissicherung sind zulässige Stützweiten einzuhalten. Es ist darauf zu achten, dass die Hauptträger auf allen Gleisschwellen auflagen,
- Gleisabfängerungen mit besonders herzurichtenden Auflagern sind einzubauen bei Baugruben unter dem Gleis sowie bei Baugruben neben dem Gleis mit einem Abstand kleiner als 2,00 m von der Gleisachse.

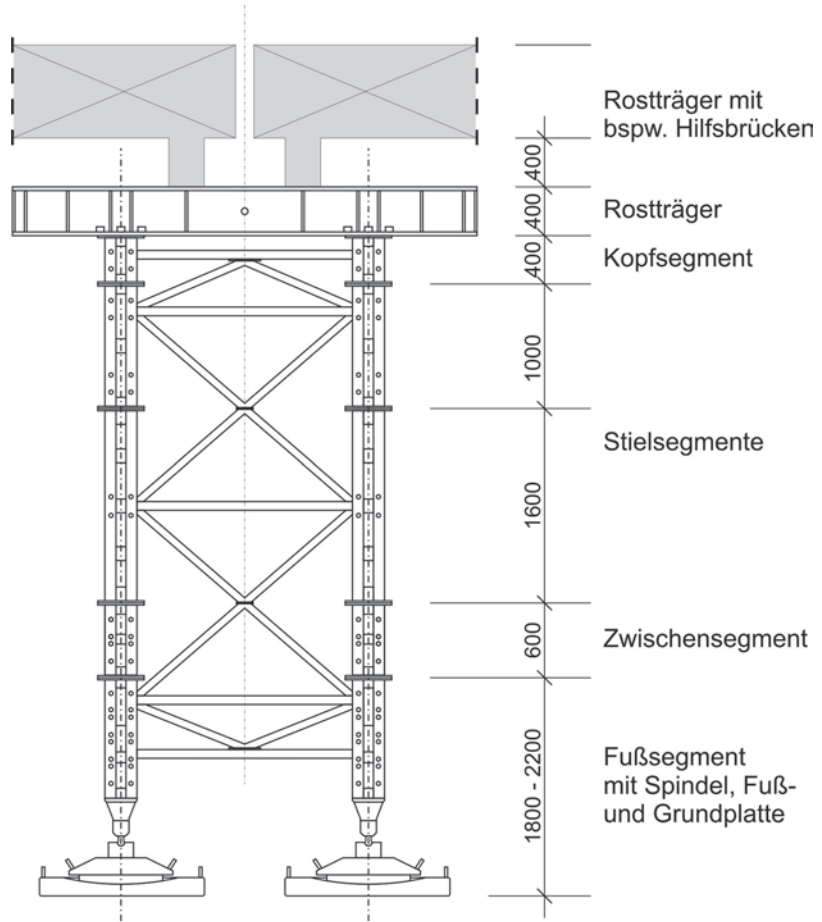
Hilfsstützensysteme

Um Baumaßnahmen temporär zu gewährleisten, wurden neben Zwillingsträger-Hilfsbrücken und Klein Hilfsbrücken über Jahrzehnte auch Hilfsstützen geschaffen und weiterentwickelt. Hilfsstützen werden im Wesentlichen zur Unterstützung von Hilfsbrücken und bei der Montage von Brücken bspw. als Traggerüst verwendet. Sie werden aber auch für Brücken eingesetzt, deren Tragfähigkeit durch Beschädigung vermindert ist. Außerdem finden sie Verwendung als Arbeitsgerüst. Bei den Hilfsstützen werden zwei Systeme unterschieden:

- Trestle-Stützen,
- Pizmo-Stützen.

Die Trestle-Stütze stammt aus dem britischen militärischen Eisenbahnbrückenbau und wird als Hilfsstütze bei diversen Brückenbaumaßnahmen zur Abstützung von Hilfsbrücken, als Notstütze bei beschädigten Brücken und als Arbeitsbühne verwendet.

Die Pizmo-Stütze (Abb. 7.55) ist eine tschechoslowakische Entwicklung und ähnelt sehr stark der englischen Trestle-Stütze. Allerdings

Abb. 7.55 Pizmo-Stütze

hat die Pizmo-Stütze einige Vorteile. Es wurde ein Auslegerkran entwickelt, der mit dem Bau der Stütze mitklettert und zur Montage der Stütze einschließlich der Stützenköpfe dient. Zusätzlich wurden die Stützen optimiert, indem Stielfüße für das Aufstellen in tiefem Wasser und Schwimmkästen geschaffen wurden. Ein weiterer sehr großer Vorteil ist das verstellbare Kugelgelenk an den Stielfüßen, damit lassen sich diese an jede Neigung des Untergrundes anpassen. Da die Pizmo-Stütze in der Handhabung wesentlich durchdachter ist als die Trestle-Stütze, wird diese auch häufig zum Abstützen von Bauwerken und Hilfsbrücken eingesetzt.

7.3.8.4 Baubehelfe

Die Definition eines Baubehelfes lautet: „Ein Baubehelf ist ein Hilfsmittel im Zusammenhang mit der Herstellung eines Bauwerkes. Ein Bau-

behelf wird aber gleichzeitig nicht Bestandteil dieses Bauwerkes. Baubehelfe sind auch keine Werkzeuge, Geräte oder Maschinen“.

Dementsprechend sind Hilfsbrücken, Kleinhilfsbrücken, Hilfsstützen und sämtliche Verbauarten oder Stützwände Baubehelfe.

7.4 Tunnel und Trogbauwerke

Zur Sicherung der Marktfähigkeit des Schienenverkehrs, der Akzeptanz in der Bevölkerung und der Konkurrenzfähigkeit gegenüber dem Luftverkehr setzt die Deutsche Bahn AG bei Aus- und Neubau verstärkt auf Hochgeschwindigkeitsstrecken, die vom ICE und anderen interoperablen Zügen mit Geschwindigkeiten von 160 bis 200 km/h bzw. 200 bis 300 km/h befahren werden können. Derart hohe Geschwindig-

keiten setzen eine möglichst steigungsarme und niveaugleiche Trassierung voraus. Daher ist eine möglichst siedlungsferne Streckenführung bei der Verbindung von Ballungszentren zu bevorzugen, um einerseits die Lärmbelästigung gering zu halten und andererseits die Anzahl an Zwangspunkten, z. B. niveaugleiche Kreuzungen von Verkehrswegen, zu vermindern. Sowohl wegen topografischer als auch trassierungstechnischer Randbedingungen können deshalb neben Straßen- und Eisenbahnüberführungen insbesondere Tunnel und Trogbauwerke erforderlich werden.

Darüber hinaus kommt dem Lärm- und Umweltschutz eine stetig wachsende Bedeutung zu. Tunnel und Trogbauwerke können den daraus erwachsenden Anforderungen sowohl bei wohngebietsnaher Trassenführung als auch in sensiblen Bereichen von Naturschutzgebieten gerecht werden. Durch Tunnel können zudem die Eingriffe in die Natur minimiert werden, da große linienförmige Einschnitte (Trennwirkung) in die Landschaft vermieden werden. Tunnel werden hinsichtlich der Bauweise als auch hinsichtlich ihrer Erstellung als Tunnel in geschlossener und in offener Bauweise unterteilt. Im Netzbereich der Deutschen Bahn AG überwiegt dabei der Anteil der Tunnel in geschlossener Bauweise mit ca. 80%. Per Definition handelt es sich bei der Herstellung untertage, also der geschlossenen Bauweise, bereits ab dem ersten Meter um einen Tunnel, während Tunnel in offener Bauweise erst ab einer Länge von über 250 m als solche bezeichnet werden. Die geschlossene Bauweise wird im Weiteren in den bergmännischen Vortrieb und den Schildvortrieb untergliedert.

Trogbauwerke bestehen aus seitlichen Stützwänden und einer geschlossenen Sohle. Dabei wird die Sohle i. d. R. als Rampe ausgebildet. Der Verkehrsweg wird auf der Rampe geführt.

7.4.1 Geschichte der Tunnel und Eisenbahntunnel in Deutschland

Bis zur Mitte des 17. Jahrhunderts kannte man im Tunnelbau einzig und allein den Handausbruch. Spitzhacken, Spaten und Schaufeln waren die Werkzeuge der Zeit. Außerdem war es ge-

bräuchlich, allein die Eigenspannungen infolge einer Temperaturgradienten zu nutzen. Dazu wurde die herauszubrechende Oberfläche durch ein Feuer stark erhitzt. Zum anderen bestand die Möglichkeit – bei genügend tiefen Temperaturen – Wasser in Klüfte und Spalte zu füllen und die Vergrößerung des Eisvolumens auszunutzen, um den Fels zu sprengen. Dann hielt das Schwarzpulver Einzug im Tunnelbau und sorgte für einen gewaltigen Umbruch in der Herstellungstechnologie, denn auf einmal reichte es, Sprenglöcher in ausreichender Anzahl und Tiefe in das Gestein zu treiben. Den Rest übernahm die eingebrachte Sprengladung. Mit der beginnenden Industrialisierung Deutschlands und den technischen Entwicklungen dieser Zeitperiode wurde der Baufortschritt im Tunnelbau durch den Einsatz von Schlagbohrmaschinen und besseren Sprengstoffen zum einen weiter beschleunigt aber auch sicherer für die Mineure.

Mit dem Siegeszug der Eisenbahn erlebte der Tunnelbau als Verkehrswegebau weiteren Auftrieb. 1836 wurde der erste Eisenbahntunnel mit einer Länge von 133 m in Betrieb genommen. Die Spurweite betrug 585 mm. Der Oberauer Tunnel, auf der Strecke Leipzig–Dresden, war der erste Eisenbahntunnel einer Vollbahn in Deutschland und wurde 1839 in Betrieb genommen. Zwischen 1860 und 1880 wurden in Deutschland analog den Eisenbahnbrücken auch Eisenbahntunnel in größerer Anzahl in den Fels getrieben. Von den heute über 900 Eisenbahntunneln in Deutschland stammen knapp zwei Drittel aus dieser Zeit.

Anfangs wurden Tunnel nur trassiert, wo die Beschaffenheit eine längere Standzeit des Gebirges sicherstellte. Bis zur industriellen Revolution konnte man nur den Baustoff Holz als Stütz- und Sicherungsmaterial. Außerdem bauten die damaligen Bauleute Tunnel, aufgrund der unzureichenden Geologiekenntnisse nur durch festes Gestein in entsprechender Tiefe. Oberflächennahe Tunnel und Tunnel in verwittertem Gestein wurden damals nicht gebaut.

Eisenbahntunnel durchliefen genauso wie Eisenbahnbrücken im Laufe der Jahre eine technische Evolution. So wurden die Querschnittsflächen der Eisenbahntunnel immer größer. Im Dampflokalzeitalter war für zweigleisige Eisen-

bahntunnel in Deutschland eine Regelquerschnittsfläche von 46 m^2 vorgesehen. Dagegen haben die Eisenbahntunnel für Hochgeschwindigkeitsstrecken bei 300 km/h eine Regelquerschnittsfläche von 92 m^2 . Aufgrund der Erfahrungen und den Erkenntnissen, die aus der Auswertung von zum Teil katastrophalen Ereignissen gewonnen wurden, werden alle seit 1998 für den Mischverkehr geplanten Tunnel als zwei parallele, eingleisige Röhren ausgeführt.

Im Zuge der Hochgeschwindigkeitsstrecken Hannover–Würzburg, Mannheim–Stuttgart und Köln–Rhein/Main werden in Deutschland seit Ende der 1970-er Jahre wieder verstärkt Tunnel gebaut. Die aufsummierte Länge aller Tunnel auf diesen Strecken liegt bei beachtlichen 197 km . Die Hochgeschwindigkeitsstrecke Nürnberg–Ingolstadt wurde mit neun, insgesamt 27 km langen Eisenbahntunneln gebaut. Bei der sich im Bau befindlichen Hochgeschwindigkeitsstrecke Nürnberg–Erfurt, Erfurt–Halle/Leipzig sowie Wendlingen–Ulm und im Weiteren Stuttgart 21 werden ebenfalls zahlreiche Eisenbahntunnel aufgeföhren.

7.4.2 Aktuelle Entwicklungen im Eisenbahntunnelbau

Im Zuge des nun wieder verstärkt betriebenen Tunnelbaus auf Hochgeschwindigkeitsstrecken wurde in diesem Bereich in den letzten Jahren viel Entwicklungsarbeit geleistet. Zum einen wurden die Sicherheitsvorschriften weiter optimiert, zum anderen erkannten Firmen auch Potenziale von Tunneln, die eigentlich nichts mit dem eigentlichen Verkehrsweg zu tun haben; nämlich die Geothermie.

In Bezug auf die Sicherheit für neugebaute Eisenbahntunnel ist heute in Deutschland die Richtlinie des Eisenbahn-Bundesamtes „Anforderungen des Brand- und Katastrophenschutzes an den Bau und Betrieb von Eisenbahntunneln“ maßgebend. Darin werden unter anderem die Zufahrten zu den Tunnelportalen sowie die Größe, Lage und Erreichbarkeit von Rettungsplätzen an den Portalen, eine auskömmliche Beleuchtung

und die Kennzeichnung der Fluchtwege und natürlich der Abstand von Rettungsstollen geregelt.

Doch Eisenbahntunnel können noch mehr. Durch die sich stetig vergrößemde Anzahl von Eisenbahntunneln und den hohen Grad der Technisierung gerade im Bereich der Fertigung von Tübbingem als Betonfertigteile in Kombination mit ständig steigenden Energiepreisen ist es lukrativ, die Geothermie auszunutzen und die Tunnel in Geothermiekraftwerke zu verwandeln. Dabei soll die Erdwärme, welche eine erneuerbare und nachhaltige Energiequelle darstellt, neben der Klimatisierung des Tunnels selbst zur Energiegewinnung genutzt werden. In einer Tiefe von 15 m Tiefe beträgt die Temperatur konstante 10°C . Erdwärme kann das ganze Jahr über genutzt werden bietet signifikante Reduktion der Kohlendioxid-Emissionen und Energiekosten.

Durch die Installation von Absorberrohren im inneren des Tunnels ist es möglich, Energie aus dem umgebenden Erdreich zu extrahieren und überschüssige Wärme im Inneren des Tunnels, beispielsweise verursacht durch die Abwärme von Triebwagen, zu gewinnen. Die typische Energiegewinnung reicht von 10 bis 30 W pro m^2 Tunneloberfläche. Diese extrahierte Energie kann für die Erwärmung oberirdischer Gebäude verwendet werden. Der Tunnel wird gleichzeitig klimatisiert.

7.4.3 Normen und Regelwerke

Grundlage für die Planung und den Bau von Eisenbahntunneln ist die Richtlinie 853 „Eisenbahntunnel planen, bauen und instand halten“ der Deutschen Bahn AG. Sie ist wie folgt untergliedert:

- Modul 853.0101: Allgemeine Bestimmungen
- Modul 853.1001: Entwurfsgrundlagen: Allgemeine Regelungen
- Modul 853.1002: Entwurfsgrundlagen: Entwurfsgrundlagen: Eisenbahntunnel (ausgenommen S-Bahn-Tunnel)
- Modul 853.1003: Entwurfsgrundlagen: Entwurfsgrundlagen: S-Bahn-Tunnel
- Modul 853.1101: Geotechnische Grundlagen

- Modul 853.1201: Anforderungen an den Beton
- Modul 853.2001: Standsicherheitsuntersuchungen
- Modul 853.4001: Allgemeine Grundsätze für Vortrieb, Sicherung und Ausbau
- Modul 853.4002: Ausbaubögen als vorübergehende oder dauernde Sicherung
- Modul 853.4003: Ausbau mit Spritzbeton
- Modul 853.4004: Ausbau mit Ortbeton
- Modul 853.4005: Tübbingausbau
- Modul 853.4101: Abdichtung und Entwässerung
- Modul 853.4201: Tunnel in offener Bauweise – Gewölbte Tunnel aus Stahlbeton
- Modul 853.4202: Tunnel in offener Bauweise – Rechteckrahmen
- Modul 853.5001: Ergänzende Bestimmungen für Bauprodukte und Tunneleinbauten.
- Modul 853.6001: Baudurchführung, bautechnische Unterlagen und Dokumentation
- Modul 853.8001: Inspektion im EDV-System SAP
- Modul 853.6001: Wartung, Instandsetzung und sonstige Baumaßnahmen an bestehenden Tunneln.

Die Umstellung der Richtlinie auf die Eurocodes wurde mittels der bauaufsichtlichen Einführung zum 01.05.2013 als siebte, überarbeitete Auflage vollzogen. Sie regelt die technischen Anforderungen für die Planung und den Neubau sowie die Instandhaltung bestehender Eisenbahntunnel in Untertagebauweise auf Strecken, die mit Geschwindigkeiten von bis zu 300 km/h befahren werden. Gleichmaßen beinhaltet sie in der Modulgruppe 853.42xx die Anforderungen an Tunnelbauwerke in offener Bauweise. Ergänzt wird diese Vorschrift durch den Leitfaden zur Richtlinie 853 „Kommentare und Planungshilfen zur 853.0101“ sowie insbesondere durch die TSI SRT und die EBA-Tunnel-Richtlinie „Anforderungen des Brand- und Katastrophenschutzes an den Bau und Betrieb von Eisenbahntunneln“.

Zusätzlich sind für die Geotechnischen Untersuchungen bzw. Standsicherheitsuntersuchungen die DIN EN 1997-2 in Verbindung mit DIN 1054 und DIN 4020 zu beachten. Zusätzlich sind die

Regelungen der Eisenbahnspezifischen Liste Technischer Baubestimmungen einzuhalten. Hierbei müssen für die Planung und den Bau von Tunneln die Beschaffenheit des Gebirges und die Grundwasserverhältnisse ausreichend bekannt sein. Dies wird in einem geotechnischen Bericht festgehalten.

Der geotechnische Bericht nach DIN 4020 muss konkrete Angaben zu Entwurf, Ausschreibung und Ausführung des Tunnels enthalten, und zwar:

- geologische Beschreibung,
- Eigenschaften des Gesteins,
- Trennflächengefüge,
- Bergwasserverhältnisse,
- Gebirgskenngrößen,
- primärer Spannungszustand,
- begründete Empfehlung zweckmäßiger Vortriebs- und Ausbauverfahren.

7.4.4 Anforderungen an Eisenbahntunnel

Grundsätzlich ähneln die Anforderungen an Eisenbahntunnel denen von Eisenbahnbrücken. Neben der Stand-, Betriebs- und Verkehrssicherheit sowie Gebrauchstauglichkeit können dies Anforderungen aus dem Brand-, Umwelt- und Schallschutz sein. Die Eisenbahntunnel müssen zudem den Ansprüchen der Energieeinsparung bei Ausführung, Betrieb und Rückbau sowie dem Ansprüchen an die nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen genügen.

Die wesentlichen Anforderungen an Eisenbahntunnel sind:

- Anforderungen an Tragfähigkeit und Standsicherheit. Eisenbahntunnel unterliegen Beanspruchungen aus immer höher werdenden Geschwindigkeiten,
- Anforderungen an die Instandhaltung,
- Anforderungen an den Oberbau,
- Anforderungen an die Umwelt und an den Lärmschutz,
- Anforderungen des Brand- und Katastrophenschutzes an den Bau und Betrieb von Eisenbahntunneln.

7.4.5 Entwurfsgrundlagen

Die Gründe für das Erfordernis eines Tunnels sind vielfältig. In den meisten Fällen erfolgt die Planung von Tunneln aus Gründen der Berücksichtigung von Zwangspunkten (Trassierung der Strecke, vorhandene Bauwerke), geologischen Anforderungen, der Umweltschutzaspekte sowie des Schallschutzes. Tunnelabschnitte unter Bebauungsgebieten und Tunnel mit geringer Überdeckung sind mit einem Geländestreifen von 15 m beiderseits der Tunnelachse abzusichern. Eisenbahntunnel sind ebenso geeignet niveaugleiche Kreuzungen mit anderen Verkehrswegen zu vermeiden. Um die Bau- und Unterhaltungskosten so gering wie möglich zu halten, sollen Eisenbahntunnel möglichst kurz sein.

Aus Gründen des Brand- und Katastrophenschutzes sind Tunnel gemäß Modul 853.1001 grundsätzlich eingleisig zu planen. In Ausnahmefällen ist eine zweigleisige Ausführung möglich. Jedoch sind in diesem Fall die erhöhten Anforderungen entsprechend der einschlägigen Richtlinien (TSI-SRT, EBA-Tunnelrichtlinie) zu berücksichtigen.

Gemäß Richtlinie 853 „Eisenbahntunnel planen, bauen und instand halten“ werden Eisenbahntunnel folgendermaßen unterschieden:

- Eisenbahntunnel für den Hochgeschwindigkeitsverkehr ≤ 300 km/h,
- Eisenbahntunnel für den Schnellverkehr ≤ 230 km/h,
- Eisenbahntunnel für den Personen-/Güterverkehr ≤ 160 km/h,
- Eisenbahntunnel für den S-Bahn-Verkehr ≤ 120 km/h.

Tunnel auf den Schnellfahrstrecken Hannover–Würzburg und Mannheim–Stuttgart haben einen Tunnelquerschnitt über SO im Normalbereich von 82 m^2 (in der Geraden) bzw. 87 m^2 (im Bogen). Neue zweigleisige Tunnel für den Hochgeschwindigkeitsverkehr haben einen Tunnelquerschnitt von 92 m^2 , eingleisige Tunnel ca. 60 m^2 . Die Vergrößerung des Querschnitts basiert auf der Berücksichtigung der aerodynamischen Verhältnisse und resultiert im Wesentlichen aus der Einhaltung des europäischen Druckwechselkriteriums.

7.4.5.1 Querschnittsgestaltung

Für die Festlegung des erforderlichen Mindestquerschnitts des Tunnels enthalten die Module 853.1002 (Eisenbahntunnel, ausgenommen S-Bahn-Tunnel) und 853.1003 (S-Bahn-Tunnel) eine Zusammenstellung aller einzuhaltenden Vorgaben und Randbedingungen. Alternativ bieten die Richtzeichnungen des Moduls 853.9001 verschiedene Regelquerschnitte an. Diese Regelquerschnitte sind für folgende Abhängigkeiten verfügbar:

- in Abhängigkeit von der Verkehrsart: Hochgeschwindigkeits-, Schnell-, Personen-/Güter-, S-Bahn-Verkehr,
- in Abhängigkeit vom Querschnitt: Kreis-, Korbbogen-, Rechteckquerschnitt,
- in Abhängigkeit von der Anzahl der Gleise pro Röhre: ein- bzw. zweigleisiger Querschnitt.

Die geotechnischen Verhältnisse können einen wesentlichen Einfluss auf die erforderliche Bauweise und somit indirekt auch für die Querschnittsgestaltung haben. Aus Gründen des Brand- und Katastrophenschutzes (Befahrbarkeit) kommt bei neuen Tunneln verstärkt die Feste Fahrbahn zum Einsatz (Abb. 7.56, 7.57, 7.58, 7.59, 7.60 und 7.61).

Außerhalb des Sicherheitsraums und des Rettungswegs ist bei neuen Tunneln ein bautechnischer Nutzraum mit einer Breite von 0,30 m Breite vorzusehen. Der Nutzraum beträgt bei offener Bauweise mit senkrechten Seitenwänden 0,10 m. Die Nutzräume dienen als Raum für Einrüstungen und evtl. nachträglichen Verstärkungen im Falle eines Tunnelausbaus.

Die in den letzten Jahrzehnten gesammelten Erfahrungen mit Eisenbahntunneln haben zur Entwicklung des derzeit vorliegenden Regelwerks einschließlich der daraus resultierenden Anforderungen bezüglich des Arbeitsschutzes geführt. Die derzeit geltende Unfallverhütungsvorschrift (GUV) der EUK definiert einen einzuhaltenden Sicherheitsraum.

Bei der Planung und beim Einbau der Tunnelausrüstung (Oberleitung, Signale, Beleuchtung, Handläufe) einschließlich der jeweils notwendigen Befestigungen sind einerseits die besonderen Anforderungen aus der Dynamik zu berücksichtigen und andererseits die Anforderungen des Brand- und Katastrophenschutzes – hierbei ins-

Eingleisige Tunnel Maschinenvortrieb

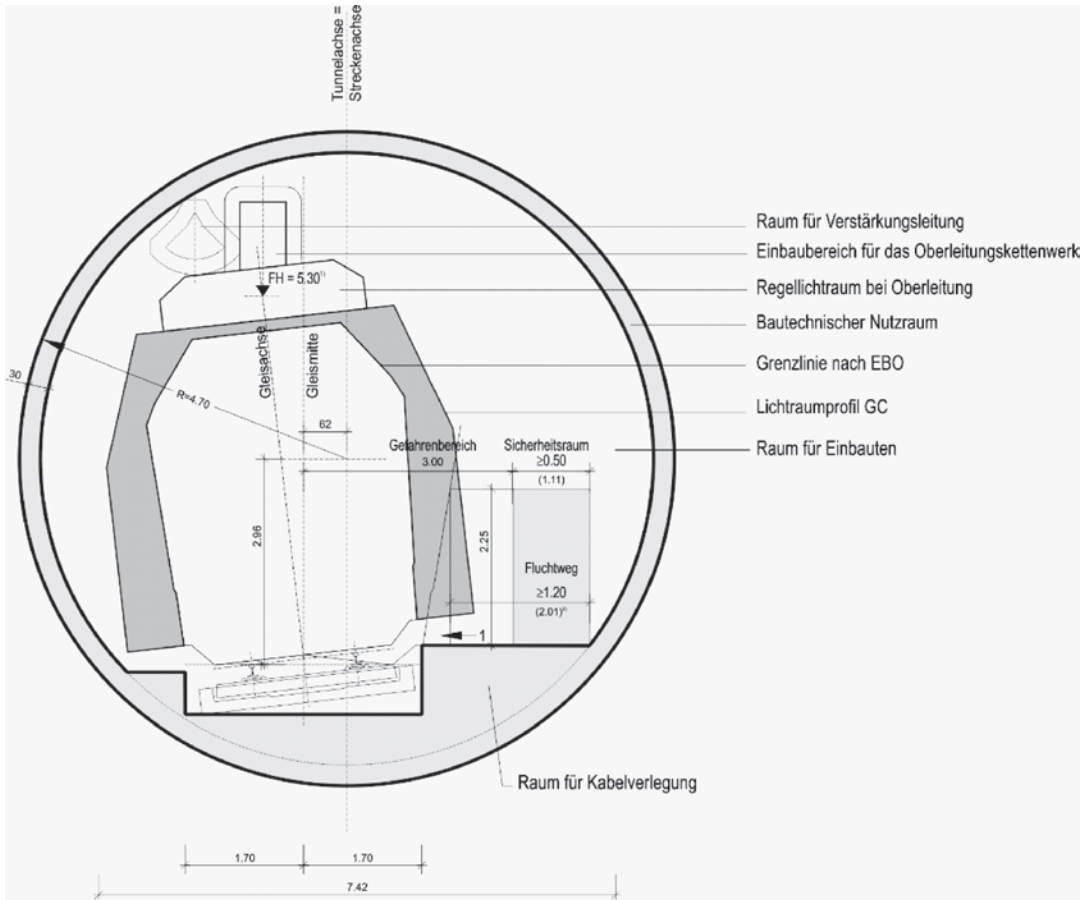


Abb. 7.56 Kreisquerschnitt für Strecken mit Fester Fahrbahn

besondere an die Nichtbrennbarkeit der verwendeten Materialien – zu berücksichtigen.

7.4.5.2 Bemessung von Tunneln

Bei Planung und Neubau von Eisenbahntunneln sind diese gemäß den bauaufsichtlichen Vorgaben (ELTB, EBRL) und insbesondere nach Richtlinie 853.2001 zu bemessen. Dabei sind Standsicherheit für den Endzustand und alle Bauzustände zu untersuchen. Dies gilt auch, wenn wesentliche Änderungen an bestehenden Tunneln vorgenommen werden sollen. Die Standsicherheit ist während der Bauzeit und im Endzustand mittels geeigneter Messungen zu überprüfen.

Einwirkungen werden unterschieden in:

- a. ständige Einwirkungen
 - Eigengewichte des Tunnelausbaus bzw. der Tunnelkonstruktion und aller übrigen eingebrachten Bauteile,
 - Eigengewichte aus der Fahrbahn,
 - Einzellasten aus Oberleitungsanlagen,
 - Einwirkungen aus dem Gebirge,
 - Wasserdruck,
 - Einwirkungen aus Vorspannmaßnahmen,
 - Einwirkungen aus Schwinden und Kriechen,
 - dauernd wirkende Lasten auf der Geländeoberfläche und Einflüsse aus benachbarten Hohlräumen, die im Regelvortrieb auf den Ausbau wirkenden Pressenkräfte von Tunnelvortriebsmaschinen (TVM).

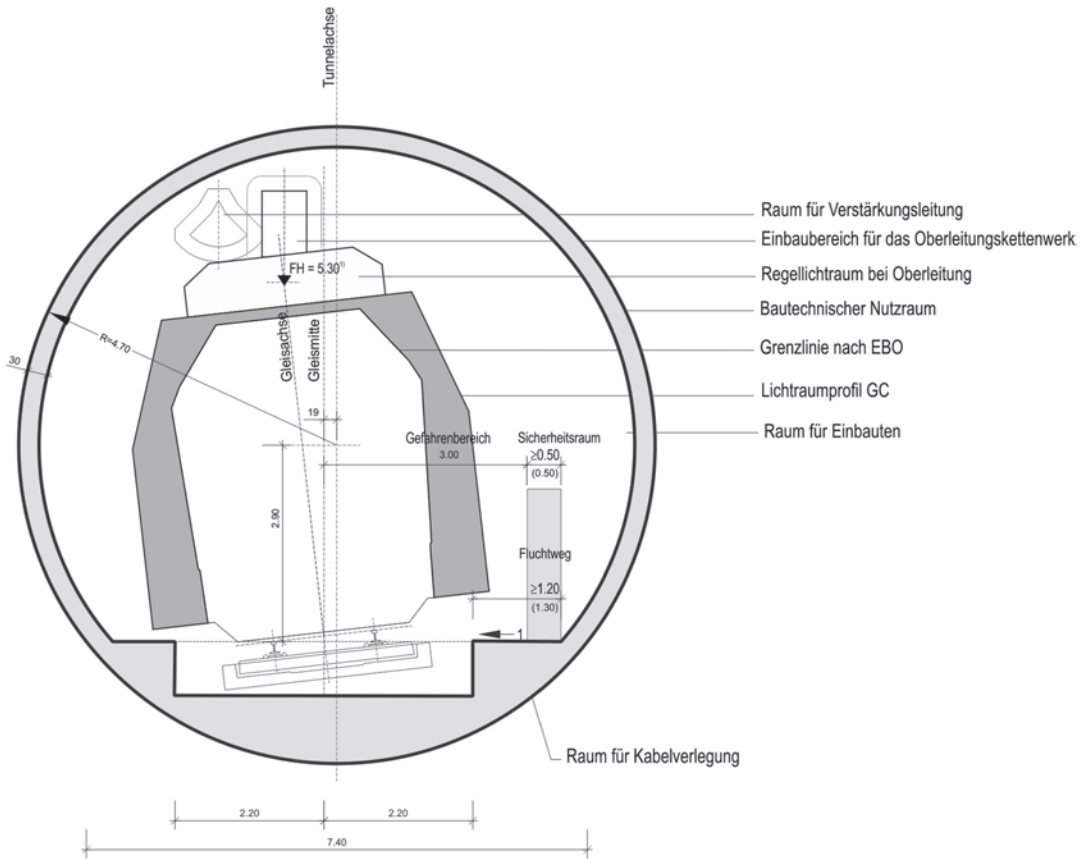


Abb. 7.57 Kreisquerschnitt für Strecken mit Schotteroberbau

- b. regelmäßige auftretende veränderliche Einwirkungen
- charakteristische Einwirkungen für Eisenbahnverkehr im Tunnel und Verkehrswege über dem Tunnel,
 - durch Zugfahrten verursachte aerodynamische Einwirkungen nach Anhang 853.2001A01,
 - Temperaturänderungen (besondere Festlegungen für die Sicherheitsnachweise),
 - Verkehrslast für Zwischendecken, Treppen, Bahnsteigplatten und Fluchtwege mindestens 5 kN/m^2 . Für Decken unter Betriebsräumen Ansatz der tatsächlichen Lasten.
- c. selten auftretende Verkehrslasten
- Einflüsse aus zivilen oder militärischen Fahrzeugen an der Geländeoberfläche außerhalb von Verkehrswegen.
- d. Vorübergehende Einwirkungen während der Bauzeit
- zeitweilig wirkende Lasten aus Vortriebsmaschinen (z. B. maximal für den Vortrieb installierte Pressendrucke auf den Ausbau), Baugeräten, Rüstungen, Baustoffen, Bauwerksteilen,
 - Einpressdruck bei Einpressungen,
 - Einwirkungen aus Druckluft, soweit diese ungünstig wirken,
 - vorübergehend wirkende Einwirkungen an der Geländeoberfläche und aus benachbarten Hohlräumen, soweit nicht als ständige Einwirkungen eingestuft
- e. außergewöhnliche Einwirkungen
- Anpralllasten,
 - Bruch der Oberleitung und anderer mitgeführter Leitungen,
 - Erdbebeneinwirkungen auf Einbauten,

Bergmännischer Vortrieb (Spritzbetonbauweise)

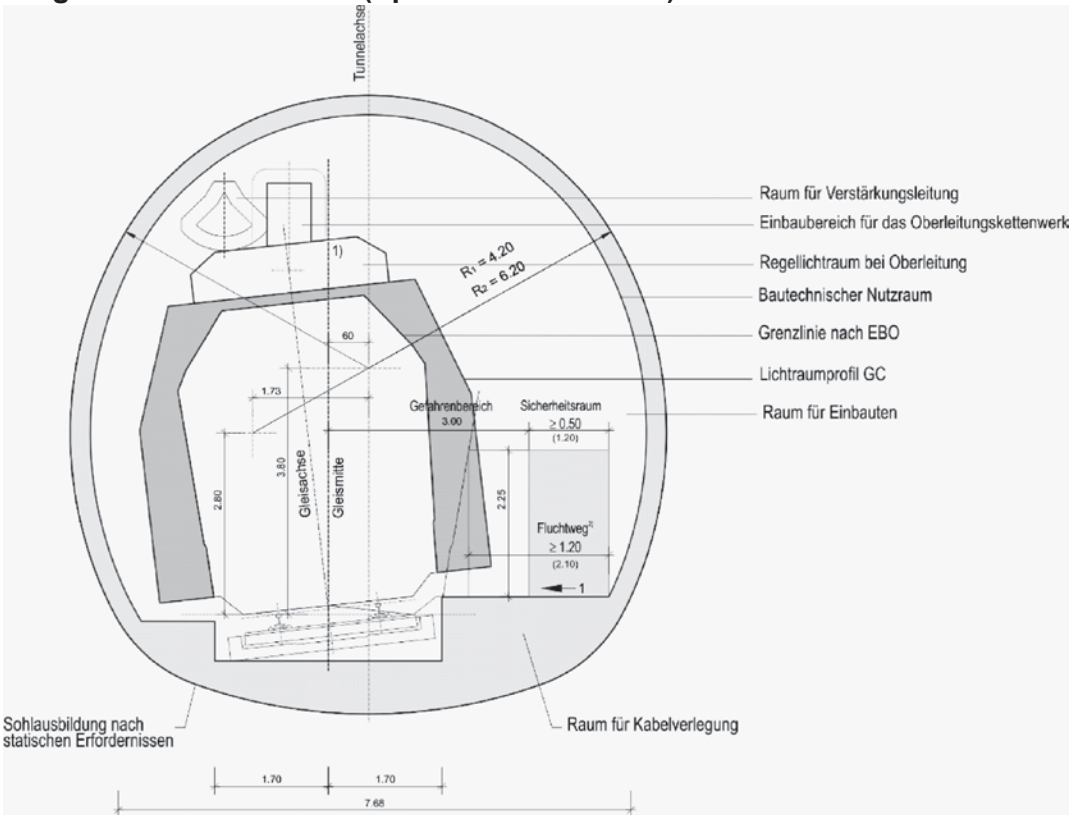


Abb. 7.58 Korbbogenquerschnitt für Strecken mit Fester Fahrbahn

- Einwirkungen aus zukünftigen möglichen Subrosionserscheinungen,
- Temperatureinwirkungen im Brandfall nach Modul 853.1001.

7.4.5.3 Anforderungen des Brand- und Katastrophenschutzes

Die vorliegenden Anforderungen bezüglich des Brand- und Katastrophenschutzes resultieren aus den vorliegenden internationalen und nationalen Erfahrungen aus der Nutzung von Straßen- und Eisenbahntunneln. Die wesentlichen Anforderungen für Eisenbahntunnel finden sich in der TSI SRT sowie in der EBA-Tunnelrichtlinie. Beim Neubau von Tunneln erfolgt die Festlegung der maßgeblichen Anforderungen im Zuge des Planrechtsverfahrens (Planfeststellung).

Die Definition der Anforderungen dient dabei nicht dem Schutz des Bauwerks, sondern soll die Selbst- und Fremdrettung im Ereignisfall ermöglichen.

Ergänzend besteht das Erfordernis für jeden Tunnel ein Rettungskonzept zu erstellen und mit den Fremdrettungskräften abzustimmen.

7.4.5.4 Umweltschutzaspekte

Die Bewertung der Umweltauswirkungen von Tunneln erfolgt im Regelfall im Zuge der Umweltverträglichkeitsprüfung im Rahmen des Planrechtsverfahrens.

Aus Sicht des Umweltschutzes bieten Tunnel Vorteile, da im Regelfall die Auswirkungen für die Umwelt geringer sind als bei anderen Bauweisen. Insbesondere die Lärmschutzaspekte und verkehrliche Vorteile – es sind keine höhen-gleichen Kreuzungen erforderlich – sind hierbei zu nennen. Mögliche nachteilige Auswirkungen (z. B. Absenkung, Absperrung oder Umleitung von Grundwasser) werden innerhalb des Planrechtsverfahrens ebenfalls betrachtet und abgewogen.

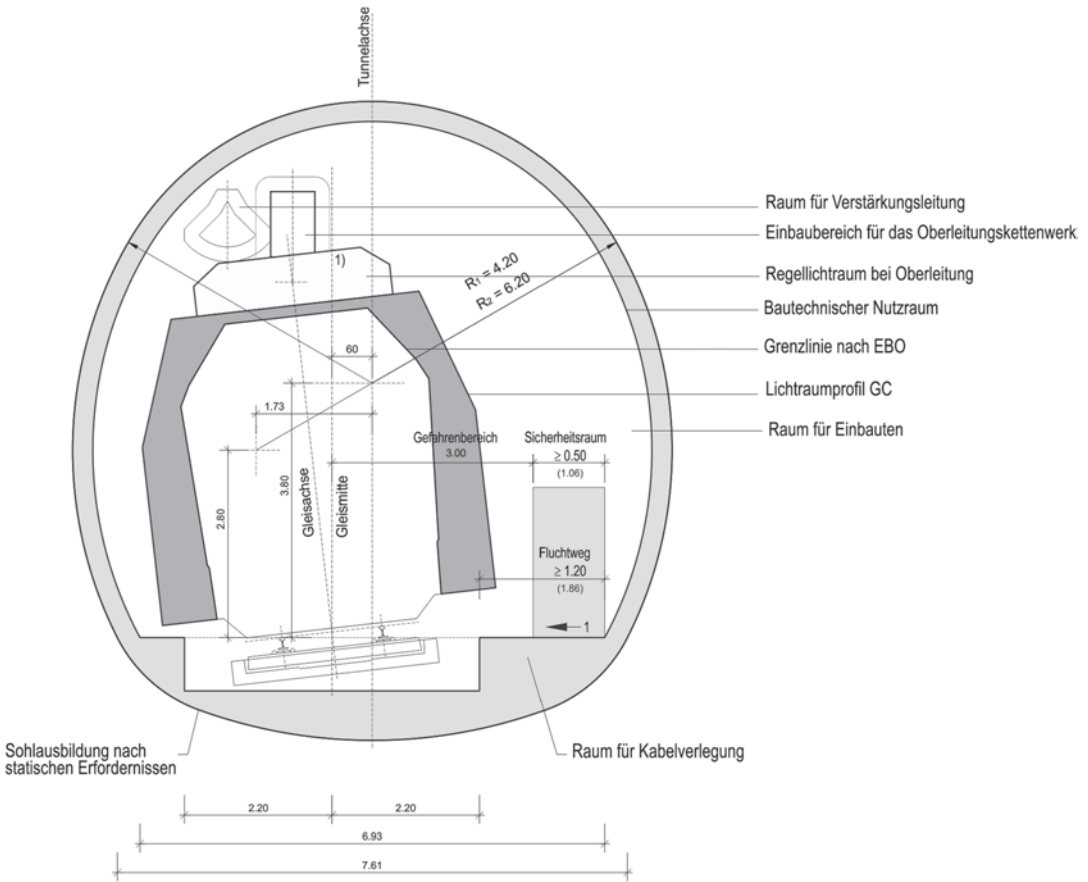


Abb. 7.59 Korbboegenquerschnitt für Strecken mit Schotteroberbau

7.4.6 Tunnelbauverfahren

7.4.6.1 Allgemeines

Die Wahl des Bauverfahrens für die Herstellung eines Tunnels richtet sich in erster Linie nach den geologischen und topologischen Verhältnissen der Trasse. Die verschiedenen Vortriebstechnologien bedingen unterschiedliche Tragsysteme der eingebrachten Tunnelröhren. Dabei lassen sich zwei grundlegende Philosophien bei der Entwicklung des Tragsystems ableiten. Wird beim Tunnelvortrieb das umgebende Erdreich/Gestein in größerem Maße aufgelockert, so verliert es seine Tragfähigkeit. Der Tunnelquerschnitt muss daher entsprechend dimensioniert und massiv ausgebildet werden, um die tragende Funktion zu übernehmen.

Dem gegenüber stehen Vortriebsverfahren, die eine weitgehende Erhaltung der Gebirgstragfähigkeit ermöglichen. In diesen Fällen übernimmt die Tunnelchale in erster Linie die Schutzfunktion gegen ein Auflockern des umgebenden Gebirgskörpers. Dadurch werden dünnere Querschnitte möglich. Gleichmaßen muss der Tunnelquerschnitt in diesem Fall auch die Verformungen des umgebenden Gebirges schadlos ertragen können, was bei dünnwandigen und damit weniger steifen Querschnitten erheblich leichter zu realisieren ist.

7.4.6.2 Vortrieb, Sicherung und Ausbau

Bei der Wahl des Tunnelbauverfahrens ist zu beachten, dass die Tragfähigkeit des Gebirges während der Erstellung und der Nutzung des Bauwerks weitgehend erhalten bleibt. Außer-

Zweigleisige Tunnel Maschinenvortrieb

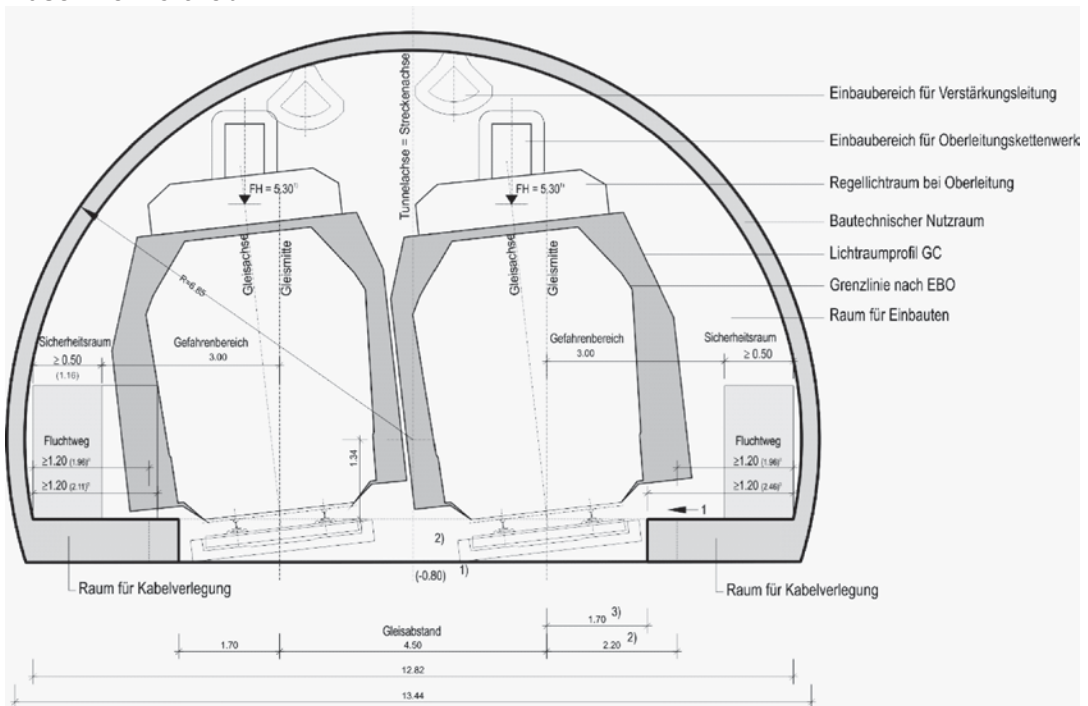


Abb. 7.60 Kreisquerschnitt für Strecken mit Fester Fahrbahn und Schotteroberbau

dem müssen die Verformungen, die durch den Tunnelbau entstehen können (z. B. durch Einpressungen, Lösen des Gebirges, Sprengungen), durch die Vorgabe von Grenzwerten beschränkt werden.

Die bergmännische Bauweise wird unterschieden in Spritzbetonbauweise oder die Bauweise mit Tunnelvortriebsmaschinen (i. d. R. Schildmaschinen), (Abb. 7.62).

Nach dem Vortrieb erfolgt der endgültige Ausbau von Eisenbahntunneln mit Tübbingern aus Stahlbetonfertigteilen oder bewehrtem Ort beton. Beim Ausbau ist entscheidend, dass der Verbund zwischen dem Ausbau und dem Gebirge hergestellt sein muss. Dadurch werden Hohlräume vermieden und es wird eine optimale Kraftübertragung gewährleistet, was sich später auch auf die Instandhaltung positiv auswirkt.

7.4.6.3 Tunnel im Schildbauverfahren

Der Schildvortrieb ermöglicht die untertägige Erstellung langer Tunnel und bei geringen Überdeckungshöhen. Beim Schildvortrieb handelt es sich, wie der Begriff „untertägig“ schon andeutet, ebenfalls um eine geschlossene Bauweise, bei der der Vortrieb durch das Vorpressen einer Tunnelvortriebsmaschine erfolgt. Ein großer Vorteil des Schildvortriebs ist dessen Einsatzfähigkeit auch in wenig tragfähigen Gesteinsarten und geringer Überdeckung, ohne Störungen der Oberfläche oder Setzungen größeren Ausmaßes zu verursachen. Die zu erwartenden Senkungen können mit dieser Bauweise auf 10 bis 20 mm begrenzt werden.

Die Tunnelvortriebsmaschine (Abb. 7.63) beinhaltet die eigentliche Abbruchtechnologie (den „Bohrer“) zum Lösen des Bodens/Gesteins als auch die erforderlichen Stützmaßnahmen an der Ortsbrust (Erddruckschild, Druckluftschild, Hydroschild). In Deutschland hat sich der Schildvortrieb mit hydraulisch gestützter Ortsbrust durch-

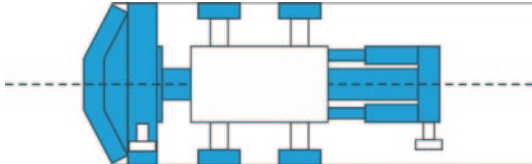
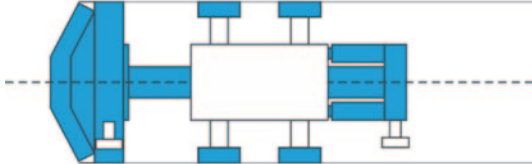
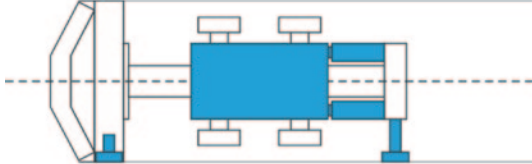
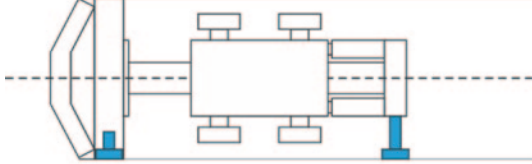

| | |
|--|--|
|  | <p>Maschine verspannt Abstützeinrichtung eingefahren Bohrbeginn</p> |
|  | <p>Hub abgebohrt Bohrende</p> |
|  | <p>Abstützeinrichtung ausgefahren Verspannung eingefahren Außenkelly gleitet nach vorn</p> |
|  | <p>Ausrichten der Maschine durch hintere Abstützung Maschine entspannt</p> |
|  | <p>Maschine verspannt Abstützeinrichtung eingefahren Erneuter Bohrbeginn</p> |

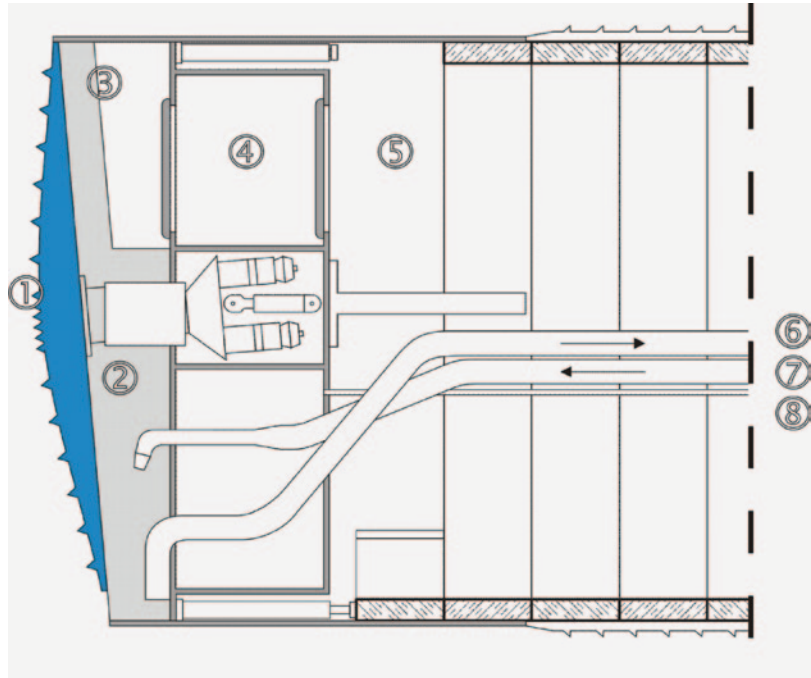
Abb. 7.62 Arbeitsschritte einer Tunnelvortriebsmaschine

nen, Sprengen) als Voll- oder Teilaushub. Nach Abtransport des Abraumes erfolgt eine erste Sicherung der freigelegten Flächen mit Felsankern in unterschiedlicher Zahl, Richtung und Länge, Spritzbeton oder vorgefertigten Ausbaubogen. Dadurch wird eine Auflockerung des Gebirges verhindert. Außerdem gewährleistet der Spritzbeton ein hohlraumfreies Anschließen der Sicherung an das Gebirge, es entsteht ein absoluter Formschluss. Erst nach Ausbruch und Sicherung aller Stufen des Tunnelquerschnitts erfolgt nach dem Abklingen der Gebirgsverformungen der Einbau der Innenschale des Tunnels. Das Gebirge wird hierbei als tragendes Bauteil betrachtet. Durch die umgehende Sicherung der beim Vortrieb freigelegten Flächen wird eine mögliche Gebirgsauflockerung reduziert und ein schneller

Kraftschluss mit dem Gebirge erreicht. Die eingebaute Spritzbetonschale (äußere Schale) unterschiedlicher Dicke ist ausreichend nachgiebig, so dass die Verformungen des Gebirges schadlos von ihr aufgenommen werden können. Dadurch verringern sich die Beanspruchungen aus Gebirgsdruck auf den Ausbauquerschnitt. Die Begrifflichkeiten im Tunnelbau zeigt Abb. 7.68.

Vor dem Einbringen der Innenschale (Ausbauquerschnitt des Tunnels (Abb. 7.69 und 7.70)) wird zunächst ein Abdichtungssystem aus Geotextilien und verschweißten Kunststoffbahnen auf die Außenschale sowie ein Drainagesystem für Sickerwasser eingebaut. Danach erfolgt der Einbau der Innenschale (Ausbauquerschnitt) aus Stahlbeton. Die Entscheidung über den Einsatz von Spritzbeton oder dem Einbau vorgefertigter

Abb. 7.63 Tunnelvortriebsmaschine



- 1... Vollschnittmaschine
- 2... Stützflüssigkeit (Suspension)
- 3... Tauchwand
- 4... Personenschleuse
- 5... Bereich mit atmosphärischen Druck
- 6... Nassförderleitung
- 7... Rückwasserleitung
- 8... Druckluftleitung

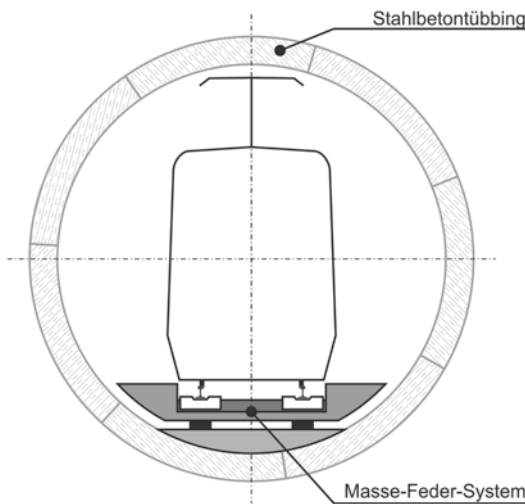


Abb. 7.64 Eingleisiger Streckentunnel mit Masse-Feder-System nach Dr. Mattner

Ausbaubögen hängt von den hydrogeologischen Verhältnissen ab. Spritzbeton kommt vorrangig in standfestem Gebirge ohne Druckwasser zum Einsatz und zeichnet sich durch seine hohe Anpassungsfähigkeit gegenüber Gebirgsverformungen aus.

Mit dieser Bauweise entstehen z. B. korbbo-genförmige Querschnitte für zwei- und eingleisige Tunnel (Abb. 7.71 und 7.72).

7.4.6.5 Tunnel in offener Bauweise

Die offene Bauweise, also die Herstellung des Tunnels in einer offenen Baugrube, bietet sich bei oberflächennaher, unbebauter Trassenführung und günstigen geologischen Verhältnissen an. Die offene Bauweise ist in technischer Hinsicht weniger anspruchsvoll und kostengünstiger. Die Wirtschaftlichkeit hängt dabei stark von der Menge der erforderlichen Erdbewegungen für den Aushub und der geologischen Beschaffenheit

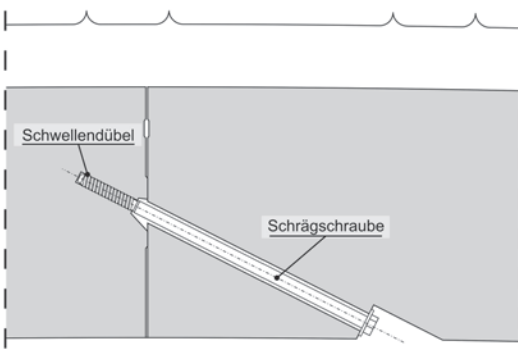


Abb. 7.65 Längsverschraubung als Schrägverschraubung

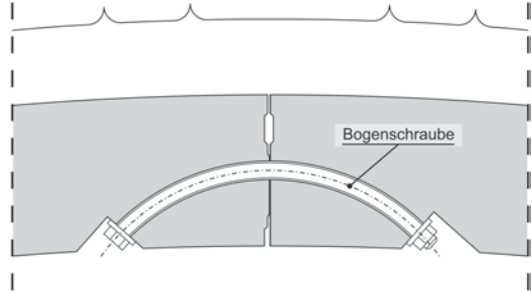


Abb. 7.66 Längsverschraubung als Bogenverschraubung

des Baugrundes ab. Für eine grobe Einschätzung der Wirtschaftlichkeit der offenen Tunnelbauweise kann man bis zu einer Grenztiefe der Baugrube von ca. 15 m von einer wirtschaftlichen Herstellung ausgehen. Tunnel in offener Bauweise werden nach Richtlinie 853.4201 bzw. 853.4202 entweder als Rechteckrahmen aus Stahlbeton oder gewölbt hergestellt und sind immer mit geschlossener Sohle auszubilden. Die Gewölbedicke soll 45 cm nicht unterschreiten.

Offene Bauweisen werden durch Baugruben von der Geländeoberfläche aus hergestellt. Nach Abschluss der Aushubarbeiten wird das Bauwerk von unten nach oben hergestellt (Abb. 7.73, 7.74,

7.75 und 7.76). Zur Herstellung der Baugrube muss diese durch entsprechende Verbaumaßnahmen abgestützt werden. Übliche Verbaumöglichkeiten sind in Tab. 7.4 aufgeführt.

Ist für die Baugrube ausreichend Platz vorhanden, kann die Baugrube mit Böschungen ohne Verbaumaßnahmen hergestellt werden. Wenn das Bauwerk im Bereich des Grundwassers liegt und eine Grundwasserabsenkung nicht möglich ist, kommt die „Wand-Sohle-Methode“ zur Ausführung. Bei dieser Methode wird die Baugrube mittels wasserundurchlässigen Wänden und Sohlen abgedichtet und einem Wassereintritt entgegengewirkt.

Abb. 7.67 Tunnelmund



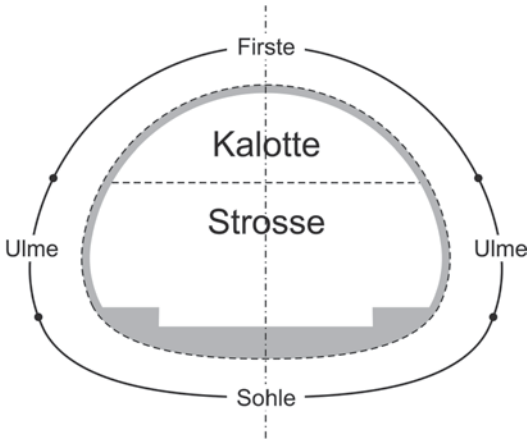


Abb. 7.68 Begriffe des Tunnelbaus

Bei tieferen Einschnitten in den Baugrund steigen die Kosten für die erforderlichen Erdbewegungen so stark an, dass die geschlossene Bauweise hier wirtschaftliche Vorteile bietet. Steht seitlich der Tunnelachse ausreichend Platz zur Verfügung, ist die Herstellung der Baugrube ohne Verbau möglich. Im Regelfall werden jedoch gesicherte Baugrubenwände ausgeführt.

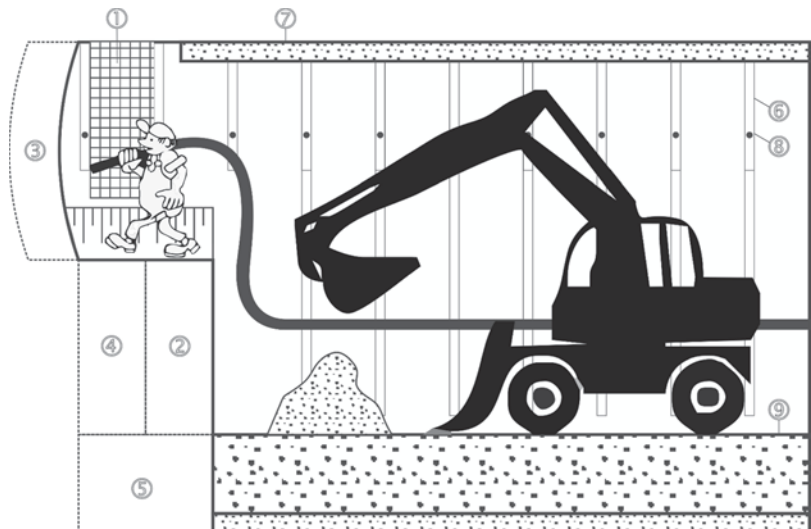
Die Querschnittsform des Tunnels ist bei der offenen Bauweise meistens rechteckförmig angelegt. Es kommen sowohl Vollrahmenquerschnitte (z. B. als Fertigteile) als auch Boden/Wände/Deckel-Konstruktionen in verschiedenen Herstellungsvarianten zum Einsatz. Die Baugrube wird entlang der Tunnelachse abschnittsweise ausgehoben, das Tunnelsegment aus Fertigteilen zusammengesetzt bzw. in Ortbetonbauweise errichtet und der Tunnel nach Fertigstellung mit Erdreich überdeckt.

7.4.6.6 Tunnel in Deckelbauweise

Tunnel in Deckelbauweise (Abb. 7.77) werden eingesetzt, wenn baubetriebliche Beeinträchtigungen reduziert werden sollen. Dies trifft meist bei unmittelbarer Anliegenschaft, bei Geschäften oder auch wenn die Verkehrsführung möglichst gering gehalten werden soll.

Bei der Deckelbauweise werden zuerst die Baugrubenwände in das Gelände von oben eingebracht. Nachfolgend wird der Deckel (oberste Tunneldecke) erstellt. Dabei wird die Tunneldecke auf dem vorhandenen Erdreich betoniert

Abb. 7.69 Phasen der Spritzbetonbauweise



- 1 ... Mattenbewehrung
- 2 ... Nächster Abschlag Strosse
- 3 ... Nächster Abschlag Kalotte
- 4 ... übernächster Abschlag Strosse
- 5 ... Ausbruchsohle
- 6 ... Streckenbögen
- 7 ... Spritzbetonsicherung
- 8 ... Anker
- 9 ... Aufschüttung

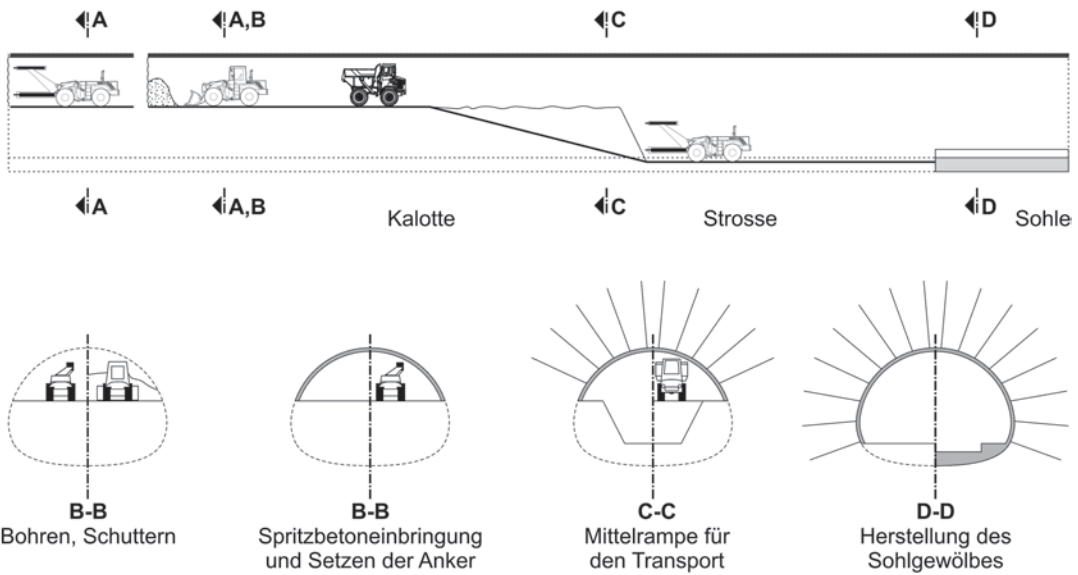
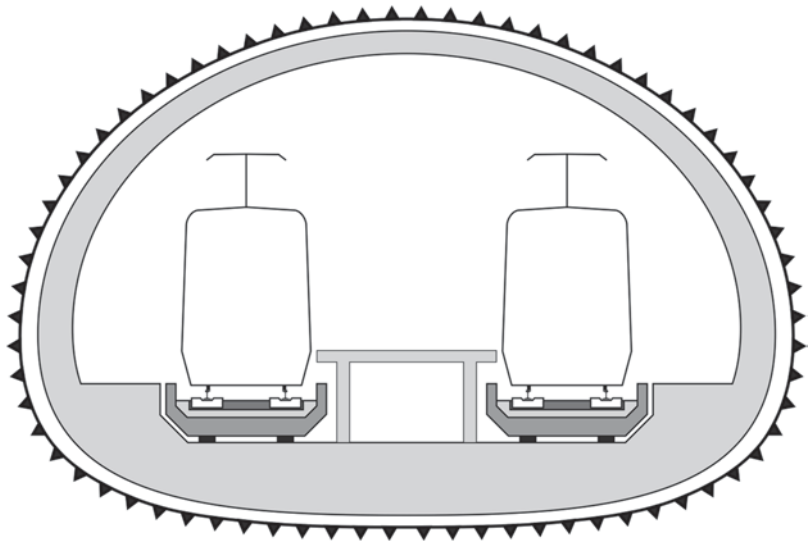


Abb. 7.70 Bauablauf der Neuen Österreichischen Tunnelbauweise

Abb. 7.71 Tunnelquerschnitte; Korb-bogen zweigleisig



und lagert auf den seitlichen Baugrubenwänden, welche zuvor erstellt wurden. Nach Fertigstellung des Deckels (Abschluss der oberirdischen Maßnahmen) besteht die Möglichkeit, die Oberfläche während der Bauzeit zu nutzen, während der Aushub und Ausbau des Tunnels im Schutze des Deckels erfolgt.

Vorteile von Tunneln in Deckelbauweise sind die zeitlich kurzen Beeinträchtigungen für Anlie-

ger und Verkehr, der geringe Platzbedarf für die Durchführung der Baumaßnahme und das witterungsunabhängige Bauen.

7.4.7 Tunnelinspektion

Zur Feststellung und Beurteilung des Ist-Zustands von Tunneln sind diese im notwendigen

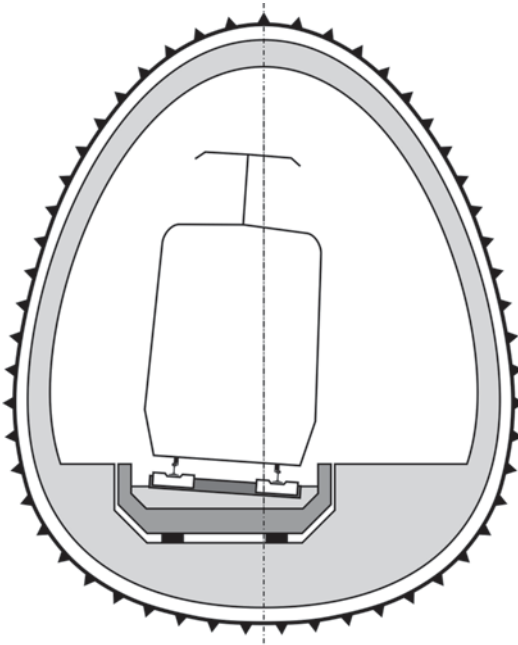
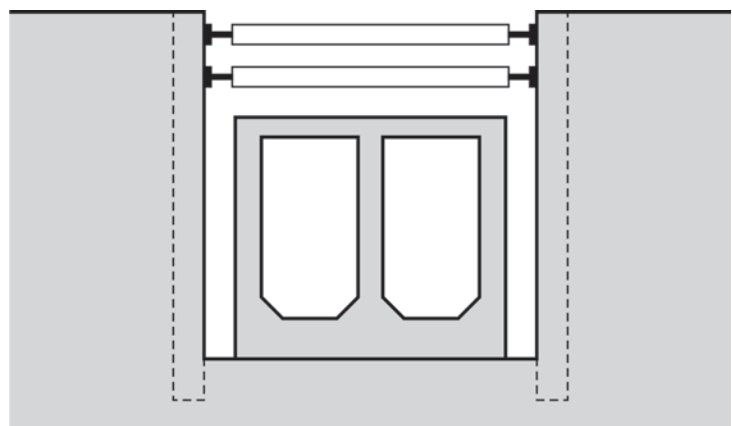


Abb. 7.72 Tunnelquerschnitte; Korbbogen eingleisig

Umfang gemäß Tab. 7.5 zu inspizieren. Die Inspektion dient zur Beurteilung des Ist-Zustands der Tunnelbauwerke. Bei der Inspektion bzw. Begutachtung werden alle wesentlichen Bauteile und Einrichtungen des Tunnels überprüft. Dabei sind die Standsicherheit des Tunnels und seine Gebrauchsfähigkeit für die Durchführung des Eisenbahnbetriebs zu gewährleisten.

Nach größeren Umbauarbeiten von Eisenbahntunneln muss das Lichtraumprofil nachgemessen werden. Um einen Bezug zu haben, sind vorher die Soll- und Ist-Lagen der Gleise

Abb. 7.73 Hamburger Bauweise mit Aussteifung



Tab 7.4 Verbaumöglichkeiten

| | |
|-----------------|-------------------|
| Wände | Abstützungen |
| Spundwände | Zuganker |
| Trägerbohlwände | Stiften aus Stahl |
| Bohrpfahlwände | |
| Schlitzwände | |

zu ermitteln. Werden Abweichungen bzw. Mängel oder Schäden festgestellt, sind entsprechende Maßnahmen für die Beseitigung zu ergreifen, um die Betriebssicherheit zu gewährleisten.

7.5 Lärmschutzwände

Seit Beginn des Schienenverkehrs in Deutschland vor rund 175 Jahren beklagen sich Anwohner über eine hohe Belastung durch die von Schienenfahrzeugen verursachten Geräusche. Neben dem Straßenverkehr gehört der Bahnlärm in Ballungsgebieten und größeren Kommunen zu den Hauptverursachern der Lärmbelastung. Die wesentlichen Störungen gehen vom Güterverkehr und den Rad-Schiene-Geräuschen aus. Erst durch den Beginn des Hochgeschwindigkeitsverkehrs Ende des 20. Jahrhunderts wurde die Dominanz dieser Lärmemission durch aerodynamische Geräusche abgelöst. Im Schienen-Personenverkehr und insbesondere im Güterverkehr stehen aber immer noch die Rad-/Schiene-Geräusche im Blickpunkt weitergehender Forschung und Entwicklung. Neben den Rollgeräuschen sind die Geräusche in Gleisbögen sowie die Bremsgeräusche Quelle zahlreicher Beschwerden.

Abb. 7.74 Hamburger Bauweise mit Verankerung

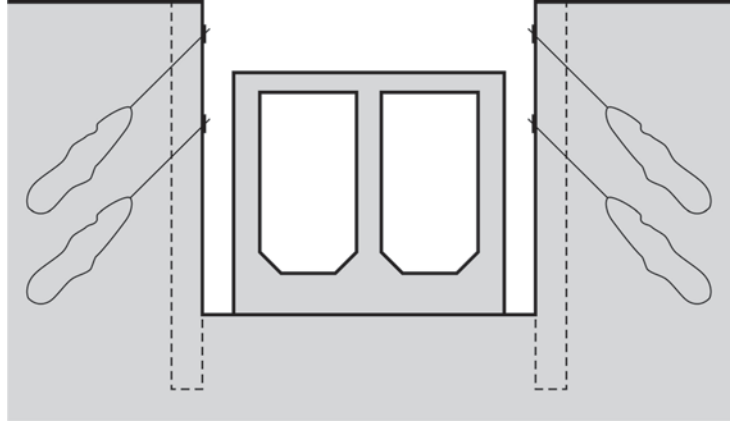


Abb. 7.75 Verbauwand in das Bauwerk integriert

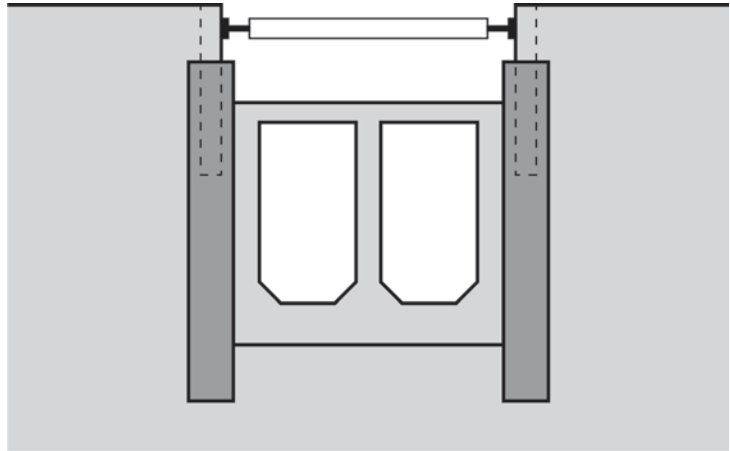


Abb. 7.76 Verbauwand ist Bauwerkswand

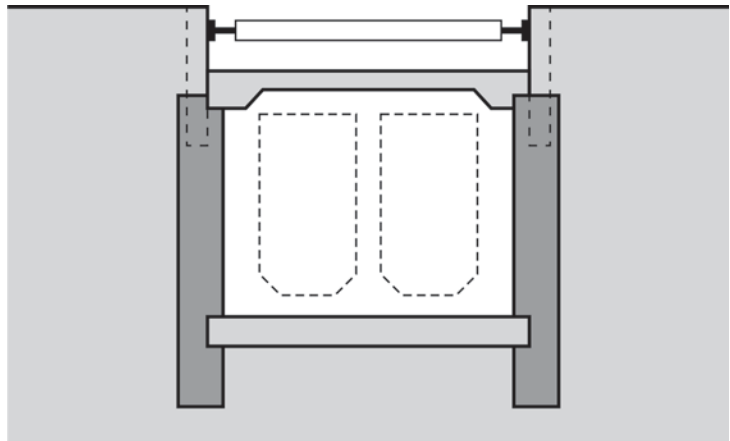
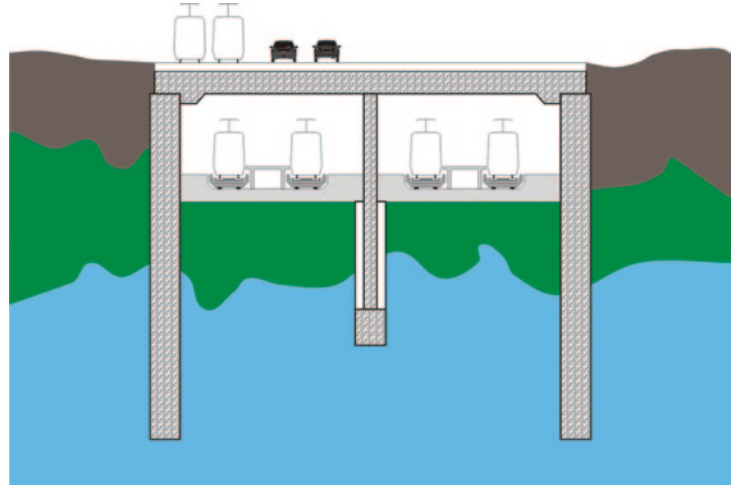


Abb. 7.77 Tunnel in Deckelbauweise



Tab 7.5 Regelinspektionen von Tunneln

| Inspektionsart | Zeitabstände | Betroffener Tunnel | Durchführender | Umfang | Nachweis und Nachweisunterlage |
|------------------|--|---------------------------------------|---|---|--|
| Überwachung | Analog zur Ril 821.2003, Abschn. 3, Tab. 1 | Alle | Mitarbeiter gemäß Ril 821.2003, Abschn. 3, Tab. 1 | Alle vom Gleisbereich aus einsehbare Bauteile einschließlich Notausgänge | Gemäß Ril 821.2003 |
| Untersuchung | Auf Anforderung des Fachbeauftragten (Fb) für Tunnel | Alle | Ingenieur der Fachrichtung Bauingenieurwesen | Nach Angabe des Fb für Tunnel die Bauteile, die wegen ihres baulichen Zustandes zu einer Gefährdung kommen können | Inspektionsnachweis, Schadensliste/Gutachten in Fällen in denen eine anschließende Sonderinspektion (U/B) erforderlich ist |
| Sonderinspektion | Nach Erfordernis | Einzelne Tunnel aus besonderem Anlass | Fb für Tunnel | Nach Festlegung des Anlagenverantwortlichen (Alv) bzw. des Fb für Tunnel für das gesamte Bauwerk oder ausgewählte Bauwerksteile | Schadensliste/Gutachten |
| Begutachtung | 3 Jahre, Verlängerung auf 6 Jahre möglich | Alle | Fb für Tunnel | Das gesamte Bauwerk | Schadensliste/Gutachten |

Ziel ist es, die Gesundheitsschwellenwerte des Sachverständigenrats für Umweltfragen von tags 65 dB(A) und nachts 55 dB(A) einzuhalten.

Entgegen allen Bemühungen zur Lärmminde- rung verbleiben innerhalb und außerhalb unserer Städte viele Bereiche, in denen die Außenlärm- belastung Schallschutzmaßnahmen erforderlich macht. Insbesondere an Eisenbahnstrecken besteht dabei typischerweise zwischen der Höhe

der Beurteilungspegel Tag und Nacht nur eine geringe Differenz mit der Folge, dass die Lärm- belastung in Wohngebieten tagsüber durchaus verträglich sein kann, während in der Nachtzeit die einschlägigen Planungszielwerte erheblich verfehlt werden.

Neben den Maßnahmen, wie die Brücken- entdröhnung, die Installation von Schienensteg- dämpfern, das Errichten von Lärmschutzwällen

Abb. 7.78 Lärmschutzwandelement mit transparenter Ausfachung

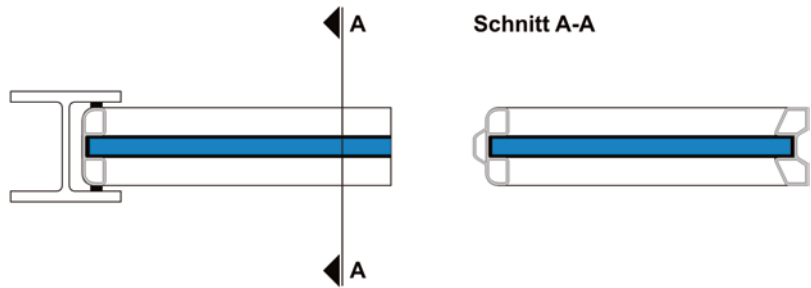


Abb. 7.79 Aluminiumlärmschutzwandelement

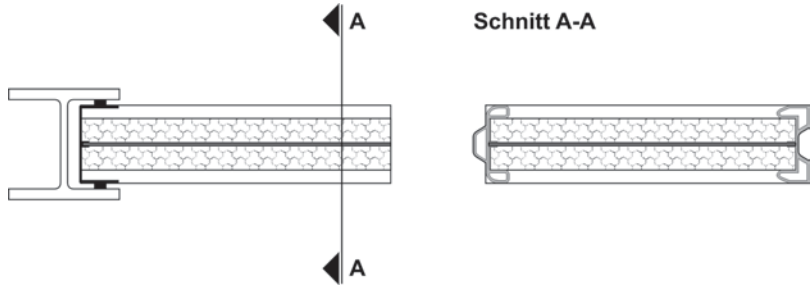
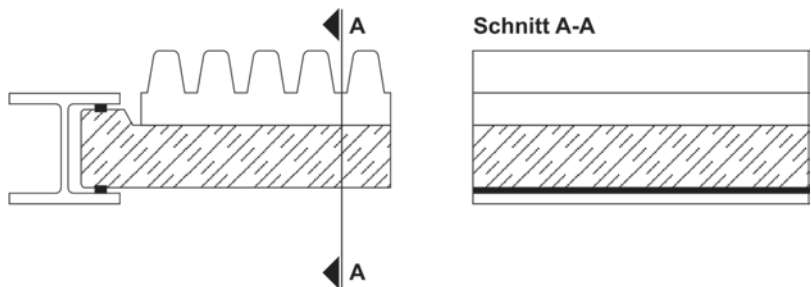


Abb. 7.80 Betonlärmschutzwandelement mit Vorsatzschale



und Raumgitterwänden oder die Umrüstung auf Flüsterbremsen ist die Errichtung von Lärmschutzwänden das Mittel der Wahl.

Hier stehen unterschiedlichste Varianten zur Verfügung, um die Akzeptanz von Neu- und Ausbaumaßnahmen zu steigern und damit die Lärmbelastung der Anwohner hoch belasteter Strecken zu verringern:

- LS-Elemente mit transparenter Ausfachung (Abb. 7.78),
- LS-Elemente aus Aluminium (Abb. 7.79),
- LS-Elemente aus Beton mit Vorsatzschale (Abb. 7.80),
- LS-Gabionen,
- niedrige Schallschutzwände (nSSW).

Konventionelle Lärmschutzwände bestehen aus einem Pfosten-Element-System. Hier kom-

men bevorzugt Lärmschutzwand-Elemente aus Aluminium, Beton oder Aluminiumrahmen mit transparenter Ausfachung aus Mineralglas (VSG) oder Kunststoffen (i. d. R. PMMA) zum Einsatz, die in rammrohrgegründete Walzprofile eingeschoben werden. Während die Elemente aus Aluminium und Beton mit Vorsatzschale den Schall weitestgehend absorbieren, sind die transparenten Materialien nur in der Lage, den Schall zu reflektieren.

In der letzten Zeit werden vermehrt Lärmschutzwände aus übereinander gestapelten steinbefüllten Körben (Gabionen) errichtet. Im Gegensatz zu Stützbauwerken aus Gabionen verfügen die Lärmschutzgabionen über einen Kern aus Beton oder Sand, um den Anforderungen an den Schallschutz dauerhaft zu genügen.

Literatur

1. Handbuch Infrastruktur, Kapitel 4 Ingenieurbauwerke, Manfred Curbach, Dirk Jesse, Springer Verlag 2006
2. Handbuch Eisenbahnbrücken; Pfeifer, Mölter. Eurailpress-Verlag 2008
3. DIN 1076:1999-11 – Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen – Überwachung und Prüfung
4. Richtlinie 804 – Eisenbahnbrücken (und sonstige Ingenieurbauwerke) planen, bauen und instand halten
5. Richtlinie 800 – Netzinfrasturktur Technik entwerfen
6. Richtlinie 820 – Grundlagen des Oberbaus
7. Richtlinie 821 – Oberbau inspizieren
8. Richtlinie 853 – Eisenbahntunnel planen, bauen und instand halten
9. Richtlinie 997 – Oberleitungsanlagen planen, errichten und instand halten
10. DIN 4020 – Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-2
11. DIN 4141-13 – Lager im Bauwesen; Führungslager mit der Gleitpaarung Stahl – Stahl – Bemessung und Herstellung
12. DIN EN 1990 – Grundlagen der Tragwerksplanung
13. DIN EN 1991 – Einwirkungen auf Tragwerke
14. DIN EN 1992 – Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken
15. DIN EN 1993 – Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten
16. DIN EN 1994 – Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton
17. DIN EN 1995 – Bemessung und Konstruktion von Holzbauten
18. DIN EN 1996 – Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten
19. DIN EN 1997 – Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik
20. DIN EN 1998 – Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben
21. DIN EN 1999 – Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken
22. DIN EN 1337 – Lager im Bauwesen
23. DIN EN 10025 – Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen
24. ELTB – Eisenbahnspezifische Listen Technischer Baubestimmungen
25. EBRL – Eisenbahnspezifische Bauregellisten
26. TSI – Technische Spezifikationen für die Interoperabilität
27. TEIV – Transeuropäische-Eisenbahn-Interoperabilitätsverordnung
28. EBO – Eisenbahn Bau- und Betriebsordnung
29. AEG – Allgemeines Eisenbahngesetz
30. DS 804 – Vorschriften für Eisenbahnbrücken und sonstige Ingenieurbauwerke (Verlag: Deutsche Bundesbahn)
31. GUV
32. EBA-Richtlinie „Anforderungen des Brand- und Katastrophenschutzes an den Bau und Betrieb von Eisenbahntunneln“.
33. EBA-Richtlinie „Anforderungen des Brand- und Katastrophenschutzes an Planung, Bau und Betrieb von Schienenwegen nach AEG“
34. Fiedler J Bahnwesen – Planung, Bau und Betrieb von Eisenbahnen, S-, U-, Stadt und Straßenbahnen
35. DB Neubaustrecke Mannheim–Stuttgart: Ingenieurbauwerke – Tunneltechnik – offene Bauweise, Heft 1, Nr. 4, 10/85
36. DB Neubaustrecke Mannheim–Stuttgart: Ingenieurbauwerke – Tunneltechnik – offene Bauweise, Nr. 2, 7/86
37. DB Neubaustrecke Mannheim–Stuttgart: Ingenieurbauwerke – Talbrücken. 3/87
38. DB Neubaustrecke Mannheim–Stuttgart: Ingenieurbauwerke – Tunneltechnik – Bergmännische Bauweise. Nr. 3, 12/86
39. Richtlinie für Fahrbahnwannen auf Gewölbebrücken, Hrsg.: Deutsche Reichsbahn, 1979
40. Wikipedia

Jörn Pachtl

8.1 Betriebsführung der Infrastruktur

Die Betriebsgrundsätze der europäischen Eisenbahnen sind noch immer stark national orientiert und weichen in einzelnen Ländern erheblich voneinander ab. Die nachfolgenden Ausführungen beschränken sich daher auf die Situation in Deutschland, Österreich und der Schweiz. Vergleichbare Regeln gelten auch bei vielen osteuropäischen Bahnen. Bei westeuropäischen Bahnen sind mit Ausnahme der sich stark an den deutschen Grundsätzen orientierenden Luxemburgischen Eisenbahn größere Abweichungen anzutreffen.

8.2 Grundbegriffe des Bahnbetriebes

8.2.1 Rechtsverordnungen und Regelwerke

Der Bau und Betrieb von Schienenbahnen ist durch nationale Rechtsverordnungen geregelt. Bei der rechtlichen Einordnung der Schienenbahnen unterscheidet sich die Situation in Deutschland und Österreich deutlich von derjenigen in der Schweiz.

In Deutschland und Österreich werden nur die landesweiten, sich durch einen hohen Standardi-

sierungsgrad auszeichnenden Bahnsysteme den Eisenbahnen zugerechnet. Für diese Bahnsysteme gilt in Deutschland die *Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO)* [1] und in Österreich die *Eisenbahnverordnung (EisbVO)* [2]. Straßenbahnen, wozu der Verordnungsgeber neben den Bahnen, die am Straßenverkehr teilnehmen, also den Straßenbahnen im engeren Sinne, auch vom Straßenverkehr unabhängige Bahnen des städtischen Nahverkehrs zählt, gelten rechtlich nicht als Eisenbahnen, sondern werden von eigenständigen Rechtsverordnungen erfasst. In Deutschland ist dies die *Verordnung über den Bau- und Betrieb von Straßenbahnen (BOStrab)* [6] und in Österreich die *Straßenbahnverordnung (StrabVO)* [3]. Im Unterschied zu den Rechtsverordnungen der Eisenbahnen fordern die Rechtsverordnungen der Straßenbahnen eine weit geringere Standardisierung, da diese Bahnen Inselbetriebe darstellen, zwischen denen im Unterschied zu Eisenbahnen ein Fahrzeugaustausch nicht vorgesehen ist. Auf diese Rechtslage ist bei den Stadtschnellbahnen auch die traditionelle Unterscheidung zwischen S-Bahnen und U-Bahnen zurückzuführen. S-Bahnen gelten hinsichtlich der anzuwendenden Rechtsverordnung als Eisenbahnen und U-Bahnen als Straßenbahnen.

In der Schweiz gibt es keine getrennten Bau- und Betriebsordnungen für Eisenbahnen und Straßenbahnen. Die *Verordnung über Bau und Betrieb der Eisenbahnen (Eisenbahnverordnung, EBV)* [4] gilt auch für Straßenbahnen, die in der Schweiz deswegen auch begrifflich den Eisenbahnen zugerechnet werden.

J. Pachtl (✉)
TU Braunschweig, 38106 Braunschweig, Deutschland
E-Mail: j.pachtl@tu-bs.de

Auf Basis dieser Rechtsverordnungen erstellen die Bahnbetreiber die betrieblichen Regelwerke. Diese Regelwerke enthalten die Vorschriften für die Durchführung von Fahrten mit Eisenbahnfahrzeugen und die Regeln der Signalisierung.

In Deutschland gehören dazu für das Netz der Deutschen Bahn AG in erster Linie folgende Regelwerke:

- Richtlinie 408 „Züge fahren und Rangieren“ [5]
- Richtlinie 436 „Zug- und Rangierfahrten im Zugleitbetrieb durchführen“ [6]
- Richtlinie 437 „Zug- und Rangierfahrten im Signalisierten Zugleitbetrieb durchführen“ [7]
- Richtlinie 301 „Signalbuch“ [8].

In Österreich besteht das betriebliche Regelwerk für das Netz der ÖBB aus folgenden wesentlichen Teilen:

- V2–Signalvorschrift [9]
- V3–Betriebsvorschrift [10]
- V5–Zugleitbetrieb [11].

Sowohl in Deutschland als auch in Österreich ist bei der Weiterentwicklung der betrieblichen Regelwerke geplant, eine Neugliederung mit einer stärkeren Differenzierung der Regeln nach Eisenbahninfrastrukturunternehmen und Eisenbahnverkehrsunternehmen vorzunehmen.

In der Schweiz enthalten die Fahrdienstvorschriften (FDV) [12] sowohl die Regeln für die Durchführung von Zug- und Rangierfahrten als auch die Signalregeln. Im Unterschied zu Deutschland und Österreich werden die Fahrdienstvorschriften nicht von den Bahnunternehmen, sondern vom Bundesamt für Verkehr herausgegeben und sind für alle Eisenbahnen des öffentlichen Verkehrs verbindlich. Bedingt durch die oben erläuterte Rechtslage in der Schweiz enthalten die Fahrdienstvorschriften auch die Regeln für Straßenbahnen.

8.2.2 Einteilung der Eisenbahnunternehmen

Durch die Neuordnung des Eisenbahnwesens in Europa wird zwischen zwei grundlegenden Arten von Eisenbahnunternehmen unterschieden:

- Eisenbahninfrastrukturunternehmen (EIU)
- Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU).

Eisenbahninfrastrukturunternehmen sind Eisenbahnunternehmen, deren Unternehmenszweck im Betreiben einer Eisenbahninfrastruktur besteht. Das Betreiben einer Eisenbahninfrastruktur umfasst den Bau und die Unterhaltung der Schienenwege, die Koordination der Trassenwünsche der Eisenbahnverkehrsunternehmen (Fahrplankonstruktion) und die Führung von Betriebsleit- und Sicherungssystemen. *Eisenbahnverkehrsunternehmen* sind Eisenbahnunternehmen, deren Unternehmenszweck im Erbringen von Eisenbahnverkehrsleistungen (Zugverkehr) auf einer von einem Eisenbahninfrastrukturunternehmen betriebenen Eisenbahninfrastruktur besteht.

Vor Durchführung einer Zugfahrt hat das Eisenbahnverkehrsunternehmen beim Eisenbahninfrastrukturunternehmen eine Fahrplantrasse zu bestellen. Die Fahrplantrasse beschreibt die räumliche und zeitliche Inanspruchnahme der Infrastruktur für diese Zugfahrt. Das Eisenbahninfrastrukturunternehmen nimmt im Rahmen der Fahrplankonstruktion eine Koordination der Trassenwünsche vor und erstellt die Fahrpläne, die dann den Eisenbahnverkehrsunternehmen übermittelt werden.

8.2.3 Grundsätzliche Klassifizierung der Betriebsverfahren

Ein Betriebsverfahren ist ein System betrieblicher Regeln und technischer Mittel zur Durchführung von Fahrten mit Eisenbahnfahrzeugen auf einer Eisenbahninfrastruktur. Hinsichtlich der Erteilung der Zustimmung zur Zugfahrt lassen sich Betriebsverfahren in zwei grundsätzlich zu unterscheidende Kategorien einteilen:

- Betriebsverfahren, bei denen die Züge durch Signaleinrichtungen geführt werden
- Betriebsverfahren, bei denen die Züge auf nichttechnischem Wege, d. h. durch mündliche oder schriftliche Aufträge mit teilweise ergänzender Beachtung von Fahrplanregeln geführt werden.

Betriebsverfahren mit Führung der Züge durch Signaleinrichtungen setzen die Ausrüstung der Strecke mit einer durchgehenden Signalisierung voraus. Heute ist, von wenigen Ausnahmen abgesehen, die durchgehende Signalisierung auch immer mit einer

technischen Zugfolgesicherung (Streckenblock, in der Schweiz nur als Block bezeichnet) verbunden. Zu diesen Betriebsverfahren gehören sowohl der Betrieb mit Führung der Züge durch ortsfeste Signale als auch der Betrieb mit Führung der Züge durch Führerraumanzeigen in Verbindung mit einer linienförmigen Zugbeeinflussung. Schriftliche oder mündliche Aufträge kommen in solchen Betriebsverfahren zur Erteilung der Zustimmung zur Zugfahrt nur in der Rückfallebene oder bei Abweichungen vom Regelbetrieb zur Anwendung, wenn die reguläre Signalisierung nicht genutzt werden kann oder darf. Die Fahrdienstleitung einer solchen Strecke kann sowohl von einer zentralen Leitstelle, von der aus die örtlichen Stellwerke ferngesteuert werden, oder durch örtlich besetzte Betriebsstellen, die sich untereinander durch Zugmeldungen über die Zugfolge verständigen, erfolgen.

Betriebsverfahren mit Führung der Züge auf nichttechnischem Wege werden zur rationellen Betriebsführung auf Strecken mit einfachen betrieblichen Verhältnissen (Nebenbahnen) benutzt. Eine durchgehende Signalisierung an der Strecke ist nicht erforderlich. Trotzdem kann auch in diesen Betriebsverfahren eine vereinfachte ortsfeste Signalisierung vorhanden sein. Die Fahrdienstleitung solcher Strecken ist heute in der Regel zentralisiert. Die örtliche Fahrwegsicherung erfolgt häufig unter Mitwirkung des Zugpersonals. In Deutschland und Österreich wird eine solche Einfachbetriebsweise mit zentralisierter Fahrdienstleitung als Zugleitbetrieb bezeichnet, wobei in Deutschland bei Vorhandensein einer ergänzenden Signalisierung die Bezeichnung Signalisierter Zugleitbetrieb verwendet wird. Der Fahrdienstleiter einer Zugleitstrecke wird in Deutschland als Zugleiter und in Österreich als Zugleit-Fahrdienstleiter bezeichnet. Der Zugleiter bzw. Zugleit-Fahrdienstleiter verfolgt die Zugfahrten anhand fernmündlicher Zuglaufmeldungen und erteilt die Zustimmung zur Zugfahrt durch fernmündliche Fahrerlaubnis. Die heute in der Regel per Funk direkt mit den Zugpersonalen ausgetauschten Meldungen können unter bestimmten Voraussetzungen durch technische Einrichtungen ersetzt werden, so dass sich die Betriebsweise im Regelbetrieb dem Niveau eines signalgeführten Betriebes annähert.

In der Schweiz kommt anstelle des Zugleitbetriebes auf Strecken ohne technische Zugfolgesicherung (Strecken ohne Block) ein spezielles Betriebsverfahren zur Anwendung, bei dem die Zugfolge durch Beachtung von Fahrplanregeln geregelt wird. Die Zugpersonale haben bei Halt in einem Bahnhof die planmäßigen Kreuzungen und Überholungen abzuwarten. Im Verspätungsfall oder beim Verkehren außerplanmäßiger Fahrten werden zusätzliche Kreuzungen und Überholungen oder die Verlegung planmäßiger Kreuzungen und Überholungen mit schriftlichen Weisungen durch die Fahrdienstleitung angeordnet.

8.2.4 Einteilung der Betriebsstellen

8.2.4.1 Bahnhöfe

Ein ausgesprochenes Charakteristikum der Eisenbahnen des deutschsprachigen Raumes ist der Bahnhofsbegriff und die darauf aufbauende Unterscheidung zwischen Bahnhof und freier Strecke. Die Definition des Bahnhofs ist bei den einzelnen Bahnen zwar ähnlich, aber nicht identisch. In Deutschland ist ein Bahnhof als Bahnanlage mit mindestens einer Weiche, wo Züge beginnen, enden, ausweichen oder wenden dürfen, definiert. Als Grenze zwischen dem Bahnhof und der freien Strecke gelten die Einfahrsignale oder Trapeztafeln (Signaltafeln, die bei einfachen Verhältnissen anstelle eines Einfahrsignals aufgestellt sein können), sonst die Einfahrweichen (je nach Lage der Weiche ist die Weichenspitze oder das Grenzzeichen maßgebend). Im österreichischen Regelwerk entfällt in der Bahnhofsdefinition die Forderung nach mindestens einer Weiche. Das Schweizer Regelwerk definiert einen Bahnhof als Anlage innerhalb der Einfahrsignale, wo diese fehlen innerhalb der Einfahrweichen, zur Sicherung und Regelung des Zugverkehrs und der Rangierbewegungen.

Damit sind in einem Hauptgleis innerhalb eines Bahnhofs folgende betriebliche Prozesse möglich:

- Beginnen und Enden von Zügen
- Verändern der Zusammensetzung von Zügen

- Durchführen von Rangierbewegungen
- Abstellen von Fahrzeugen.

Große Bahnhöfe können in mehrere Bahnhofsteile unterteilt sein, die durch Hauptsignale gegeneinander abgegrenzt werden. In Bahnhöfen herrscht im Unterschied zu den Gleisen der freien Strecke freie Gleiswahl, d. h., es gibt keine gewöhnliche Fahrtrichtung. Bahnhofshauptgleise können je nach betrieblichem Erfordernis mit Signalanlagen für eine oder beide Fahrtrichtungen ausgerüstet sein.

8.2.4.2 Betriebsstellen der freien Strecke

Die freie Strecke (in der Schweiz nur als Strecke bezeichnet) sind die Gleise außerhalb der Einfahrsignale der Bahnhöfe. Zu den Betriebsstellen der freien Strecken gehören in deutscher Terminologie:

- Blockstellen
- Abzweig- und Überleitstellen
- Anschlussstellen
- Deckungsstellen
- Haltepunkte und Haltestellen.

Blockstellen sind Betriebsstellen, die einen Blockabschnitt begrenzen. Auf Strecken mit ortsfester Signalisierung sind Blockstellen mit Hauptsignalen ausgerüstet, die die Einfahrt in den Blockabschnitt decken. In Deutschland werden im Gegensatz zu Österreich auch Bahnhöfe zu den Blockstellen gerechnet, da die Ein- und Ausfahrtsignale der Bahnhöfe, obwohl nicht zur freien Strecke gehörend, die an den Bahnhof anschließenden Blockabschnitte begrenzen. In der Schweiz wird der Begriff der Blockstelle nicht verwendet, man spricht nur von Blocksignalen.

Abzweigstellen (in der Schweiz als *Linienabzweigungen* bezeichnet) sind Streckenverzweigungen außerhalb von Bahnhöfen. *Überleitstellen* (in der Schweiz als *Spurwechselstellen* bezeichnet) sind Betriebsstellen, wo Züge außerhalb von Bahnhöfen auf ein anderes Gleis derselben Strecke übergehen können. Abzweig- und Überleitstellen sind zugleich auch immer Blockstellen. Betriebsstellen am Übergang von einer eingleisigen zu einer zweigleisigen Strecke gelten in Deutschland als Überleitstellen (analog in der Schweiz als Spurwechselstellen), jedoch in Österreich als Abzweigstellen.

Anschlussstellen (in der Schweiz als *Anschlussgleise an die Strecke* bezeichnet) sind Betriebsstellen der freien Strecke, an denen ein Nebengleis (z. B. Ladegleis, Anschlussbahn eines Unternehmens) an das Streckengleis anschließt. Anschlussstellen sind selbst keine Blockstellen, die Bedienung erfolgt unter Deckung der Hauptsignale benachbarter Betriebsstellen. Die Weichen an der Anschlussstelle sind meist ortsgestellt und werden durch Weichenschlösser gesichert, über die in der Regel eine Abhängigkeit zu den Hauptsignalen benachbarter Betriebsstellen hergestellt wird. Anschlussstellen, die ein Einschließen der Bedienungsfahrt ermöglichen, so dass der Blockabschnitt nach der Einfahrt der Bedienungsfahrt in die Anschlussstelle für Zugfahrten freigegeben werden kann, werden in Deutschland und Österreich als *Ausweichanschlussstellen* bezeichnet.

Deckungsstellen sind Betriebsstellen zur Deckung von Gefahrenstellen (z. B. bewegliche Brücken) auf der freien Strecke. Eine Deckungsstelle kann zugleich als Blockstelle eingerichtet sein. In der Schweiz wird der Begriff der Deckungsstelle nicht verwendet, man spricht nur von Deckungssignalen.

Haltepunkte und *Haltestellen* sind Betriebsstellen für Verkehrshalte von Reisezügen außerhalb von Bahnhöfen. In Deutschland werden dabei die Verkehrsstationen ohne Weichen als Haltepunkte und diejenigen Verkehrsstationen, bei denen eine Bahnsteiganlage mit einer Abzweig- oder Anschlussstelle kombiniert ist, als Haltestellen bezeichnet. In Österreich und der Schweiz wird unabhängig vom Vorhandensein von Weichen nur die Bezeichnung Haltestelle verwendet.

8.2.4.3 Betriebliche Einteilung der Gleise

Gleise werden betrieblich in Haupt- und Nebengleise eingeteilt (Abb. 8.1). Hauptgleise sind alle Gleise, die von Zügen planmäßig befahren werden dürfen. Sie müssen daher mit für Zugfahrten erforderlichen Signal- und Sicherungseinrichtungen ausgerüstet sein. Die Hauptgleise der freien Strecke und ihre Fortsetzung in den Bahnhöfen werden als durchgehende Hauptgleise bezeichnet. Nebengleise sind Gleise, die nicht planmäßig von Zügen befahren werden und in denen somit

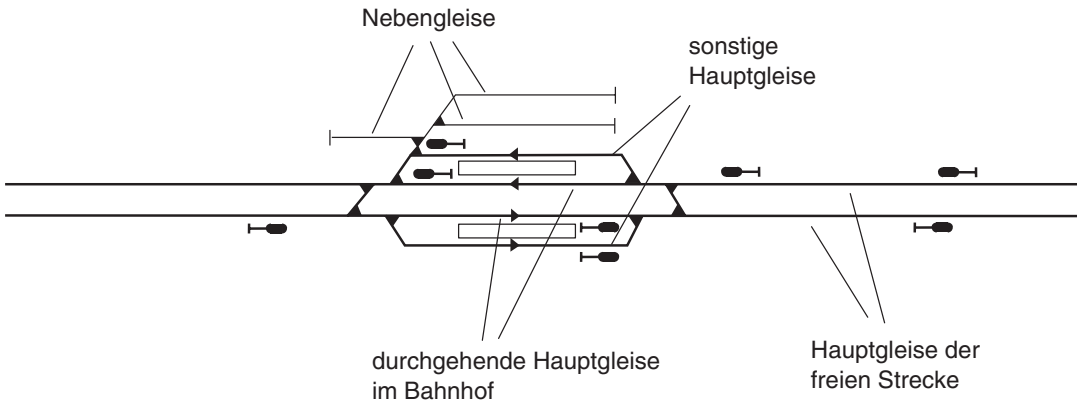


Abb. 8.1 Einteilung der Gleise

regulär nur Rangierfahrten stattfinden dürfen. In der Schweiz gelten abweichend davon auch Gleise, die von Zügen nur in Ausfahrtrichtung befahren werden dürfen, als Nebengleise.

8.2.5 Durchführung von Fahrten auf einer Eisenbahninfrastruktur

Ein Charakteristikum der meisten europäischen Bahnen ist die Einteilung der Fahrten mit Eisenbahnfahrzeugen in zwei grundsätzliche Arten, nämlich Züge und Rangierbewegungen. Mit Zügen findet der eigentliche Transportprozess über die Strecken der Eisenbahn statt, während das Rangieren einen Hilfsprozess zum Bilden und Zerlegen der Züge, Bedienen der Ladestellen und Anschlussgleise und ähnlichen Zwecken darstellt. Die meisten Bahnen verwenden für diese beiden Arten von Fahrzeugbewegungen eine unterschiedliche Signalisierung, wodurch die Einteilung der Fahrten einen erheblichen Einfluss auf die Ausstattung der Infrastruktur hat. Trotz vieler Ähnlichkeiten gibt es hinsichtlich der Abgrenzung von Zügen und Rangierbewegungen bei den einzelnen Bahnen Unterschiede.

8.2.5.1 Züge

In Deutschland sind Züge auf die freie Strecke übergewende oder innerhalb eines Bahnhofs mit Fahrplan verkehrende, aus Regelfahrzeugen bestehende, durch Maschinenkraft bewegte Einheiten oder einzeln fahrende Triebfahrzeuge. Züge,

die in ein betrieblich gesperrtes Streckengleis eingelassen werden (z. B. bei Bauarbeiten oder zum Bedienen von Anschlussstellen auf Strecken ohne selbsttätigen Streckenblock) werden als Sperrfahrten bezeichnet. In einen Blockabschnitt dürfen mehrere Sperrfahrten eingelassen werden.

In Österreich sind Züge alle Triebfahrzeuge, die allein oder mit anderen Fahrzeugen auf die freie Strecke übergewen. Es kann angeordnet sein, dass Fahrten innerhalb eines Bahnhofs als Züge gelten. Fahrten in gesperrten Streckengleisen gelten in Österreich nicht als Züge, sondern werden den sog. Nebenfahrten zugeordnet (Abschn. 8.2.5.3).

In der Schweiz wird zwischen den in Deutschland und Österreich gleichwertigen Begriffen Zug und Zugfahrt unterschieden. Züge sind einzelne oder zusammengekuppelte Triebfahrzeuge mit oder ohne Wagen, die auf die Strecke übergewen, und zwar vom Zeitpunkt ihrer Übernahme durch das Fahrpersonal auf dem Abgangsbahnhof bis zum Erreichen des Bestimmungsbahnhofes, ausgenommen während Rangierbewegungen. Zugfahrten sind Fahrten im Bahnhof und auf der Strecke, die durch Hauptsignale gesichert und geregelt werden.

Zur Durchführung einer Zugfahrt ist ein Fahrplan (in der Schweiz als Fahrordnung bezeichnet) erforderlich, der die Berechtigung darstellt, eine Relation von einem Abgangs- zu einem Bestimmungsbahnhof zu festgelegten Konditionen (z. B. Laufweg, Geschwindigkeiten, erforderliches Bremsvermögen, Fahrzeiten) zu befahren.

Der Fahrplan wird vom Eisenbahninfrastrukturunternehmer aufgestellt und den Eisenbahnverkehrsunternehmen in elektronischer Form oder als gedruckter Buchfahrplan übergeben (Abschn. 8.2.5.6). Zusätzlich zum Fahrplan benötigt ein Zug auf jedem Abschnitt seines Laufweges eine Zustimmung des Fahrdienstleiters (bzw. Zugleiters) zur Zugfahrt. Diese Zustimmung stellt die Berechtigung dar, bis zu einem definierten Punkt zu fahren (z. B. einem Signal oder einem planmäßigen Halteplatz) und kann besondere Restriktionen enthalten (z. B. die Anwendung einer niedrigeren als der im Fahrplan angegebenen Geschwindigkeit). Zu diesem Zweck ist das gesamte Eisenbahnnetz lückenlos in Fahrdienstleiterbezirke eingeteilt, so dass sich ein Zug ständig unter Führung eines für den jeweiligen Infrastrukturbereich zuständigen Fahrdienstleiters befindet.

Die Zustimmung zur Zugfahrt kann je nach technischer Ausstattung und Betriebsverfahren erteilt werden:

- durch Fahrtstellung eines Hauptsignals
- durch Führerraumanzeigen
- durch schriftliche Befehle (bei Störungen und Abweichungen vom Regelbetrieb)
- durch Zusatzsignale, die einen schriftlichen Befehl zur Vorbeifahrt an einem Halt zeigen oder gestörten Hauptsignal ersetzen
- mündlich oder fernmündlich (bei einfachen Verhältnissen).

Züge dürfen im Regelbetrieb nur in freie Gleisabschnitte eingelassen werden und verkehren in Weichenbereichen auf technisch gesicherten Fahrstraßen. Die zulässige Geschwindigkeit wird dem Zugpersonal in den Fahrplanunterlagen bekannt gegeben. Spitze und Schluss eines Zuges werden durch besondere Signale gekennzeichnet. Von besonderer Bedeutung ist dabei das Schlussignal, durch dessen Vorhandensein jederzeit festgestellt werden kann, ob der Zug einen Gleisabschnitt vollständig geräumt hat.

Heute sind Züge grundsätzlich mit einer durchgehenden selbsttätigen Bremse ausgerüstet. Das Bremsvermögen eines Zuges muss ausreichend sein, um den Zug aus der zulässigen Geschwindigkeit innerhalb des für die zu be-

fahrenden Strecken festgelegten Regelvorsignalabstandes sicher zum Halten zu bringen. Beim Nichterreichen des im Fahrplan angegebenen Mindestbremsvermögens darf der Zug nicht mit der im Fahrplan angegebenen, sondern nur mit einer entsprechend herabgesetzten zulässigen Geschwindigkeit verkehren. Das Bremsvermögen eines Zuges wird durch sog. Brems Hundertstel angegeben (in der Schweiz als Bremsverhältnis bezeichnet), die den prozentualen Anteil der Bremsmasse (auch als Bremsgewicht bezeichnet) an der Gesamtmasse des Zuges darstellen. Die Bremsmasse bzw. das Bremsgewicht wird wie die Zugmasse in der Einheit Tonnen (t) angegeben, sie kann jedoch physikalisch nicht als Masse interpretiert werden. Es handelt sich um einen durch genormte Bremsversuche ermittelten, reinen Vergleichswert, in den neben der aufgebrachten Bremskraft noch weitere Parameter des Bremssystems eingehen, insbesondere die durch die Trägheit der Bremsauslösung bedingte verzögerte Inanspruchnahme des Zuggewichts für die Übertragung der Bremskraft zwischen Rad und Schiene [13].

8.2.5.2 Rangierfahrten

Das Rangieren ist das beabsichtigte Bewegen von Eisenbahnfahrzeugen, ausgenommen das Fahren der Züge. In Österreich wird das Rangieren als Verschub bezeichnet. Das betrifft in gleicher Weise alle damit in Zusammenhang stehenden Begriffe (Verschubfahrt, Verschubsignal usw.). Im Folgenden wird mit Rücksicht auf die flüssige Lesbarkeit dieser Hinweis nicht noch einmal an jeder Stelle wiederholt.

Zu den Rangierbewegungen zählen:

- die Rangierfahrten, das sind die Bewegungen von mit einem Triebfahrzeug gekuppelten Rangiereinheiten oder einzeln fahrende Triebfahrzeuge, und
- das Bewegen von nicht mit einem Triebfahrzeug gekuppelten Wagen. Dazu zählen das Rangieren durch Abstoßen und Ablaufen lassen von Wagen (in Österreich und der Schweiz als Abrollen bezeichnet).

In Gleisbereichen, die von einem Stellwerk überwacht werden, ist zur Durchführung einer

Rangierfahrt eine Zustimmung des zuständigen Stellwerks erforderlich. Diese Zustimmung wird erteilt:

- durch Signalisierung der Aufhebung des Fahrverbots für Rangierfahrten an einem Hauptsignal oder einem anderen für Rangierfahrten gültigen Haltsignal
- durch Handzeichen
- mündlich oder fernmündlich.

Auf die Signalisierung und die unterschiedlichen Bezeichnungen der bei den einzelnen Bahnen verwendeten Signale zur Regelung von Rangierfahrten wird im Abschn. 8.3.2.2 eingegangen. Rangierfahrten fahren auf Sicht und dürfen in besetzte Gleise eingelassen werden. Eine technische Fahrwegsicherung ist grundsätzlich nicht erforderlich, aber in modernen Stellwerken üblich. Rangierfahrten führen keine Spitzen- und Schlussignale. Eine durchgehende Bremse ist nicht grundsätzlich vorgeschrieben, oft wird nur mit der Triebfahrzeugbremse rangiert. Wo regelmäßig Rangierfahrten mit schweren Einheiten durchgeführt werden, kann jedoch vorgeschrieben sein, eine bestimmte Anzahl von Wagen an die durchgehende Bremse anzuschließen.

In Deutschland und Österreich sind Rangierfahrten auf Hauptgleisen nur innerhalb von Bahnhöfen und im Bereich von Anschlussstellen zulässig. Auf ein an einen Bahnhof anschließendes Streckengleis, das in Ausfahrtrichtung befahren wird, darf beim Rangieren im erforderlichen Maß ausgezogen werden, wenn auf diesem Streckengleis keine Fahrten gegen die gewöhnliche Fahrtrichtung stattfinden. An den an einen Bahnhof anschließenden Streckengleisen, die in Einfahrtrichtung befahren werden, ist die Grenze, bis zu der rangiert werden darf, in der Regel durch eine Rangierhalttafel markiert. Wo diese fehlt, gilt die Einfahrweiche als Rangiergrenze. In Österreich ist auf zweigleisigen Strecken mit Zweirichtungsbetrieb auch am Ausfahrtsignal eine Rangierhalttafel (dort als Verschiebhalttafel bezeichnet) aufgestellt. Muss ausnahmsweise über die Rangiergrenze rangiert werden, ist ein schriftlicher Befehl des Fahrdienstleiters erforderlich, der sicherzustellen hat, dass die benachbarte Betriebsstelle keine Züge ablässt. In der Schweiz

gilt mit Ausnahme der nachfolgend behandelten Rangierfahrten auf die Strecke das Einfahrsignal als Rangiergrenze.

8.2.5.3 Besonderheiten

Bei der Abgrenzung der Rangierfahrten von den Zugfahrten gibt es eine gewisse Grauzone in Form von Fahrten, die nicht dem Zweck des Rangierens dienen, bei denen jedoch die Sicherungseinrichtungen für Zugfahrten nicht ordnungsgemäß wirken oder nicht bedient werden dürfen. Darunter fallen beispielsweise Fahrten mit Spezialfahrzeugen, die aufgrund ihrer Bauart Gleisschaltmittel nicht sicher betätigen, und Fahrten auf der freien Strecke, die einen Blockabschnitt nicht vollständig durchfahren oder Rückwärtsbewegungen ausführen. Die betriebliche Zuordnung solcher Fahrten wird bei den einzelnen Bahnen unterschiedlich gehandhabt. Die Kenntnis dieser Besonderheiten ist vor allem für die betriebliche Abwicklung von Baumaßnahmen wichtig, wo solche Spezialfahrten häufig durchgeführt werden.

In Deutschland muss für solche Fahrten das Streckengleis gesperrt werden. Die Fahrten, die in das gesperrte Gleis eingelassen werden, werden als sog. Sperrfahrten durchgeführt. Wenn Züge als Sperrfahrt verkehren, gelten sie trotzdem weiterhin als Züge. Fahrzeuge, die wegen ihrer Bauart Gleisschaltmittel nicht sicher betätigen, werden in Deutschland als Kleinwagen bezeichnet. Mit Kleinwagen dürfen keine Zugfahrten durchgeführt werden. Kleinwagen dürfen auf der freien Strecke nur als Sperrfahrt verkehren, gelten dann jedoch nicht als Züge. Kleinwagenfahrten in Bahnhöfen sind immer Rangierfahrten.

In der Schweiz gibt es die besondere Kategorie der Rangierbewegungen auf die Strecke. Das sind Rangierfahrten, die in ein Streckengleis eingelassen werden. Sie gelten auf der Strecke als Rangierbewegungen, bekommen aber Fahrplanangaben in Form der Fahrordnung und müssen die bremstechnischen Vorschriften für Züge einhalten. Das Fahren auf Sicht ist nur erforderlich, wenn in einem Streckenabschnitt mehrere Rangierbewegungen unterwegs sind.

In der Schweiz dürfen in folgenden Fällen Rangierbewegungen auf die Strecke durchgeführt werden:

- bei Fahrten, die als Zugfahrt die Signal- und Blockeinrichtungen aus technischen Gründen so beeinflussen, dass sie nach der Fahrt die Grundstellung nicht erreichen
- wenn Fahrzeuge mitgeführt werden, die nicht in Züge eingestellt werden dürfen
- zum Abholen liegende Züge
- für Züge, die ein Gleis ohne technische Zugfolgesicherung gegen die gewöhnliche Fahrtrichtung befahren sollen.

In Österreich gibt es neben den Zug- und Verschiebfahrten als dritte Kategorie die sog. Nebenfahrten. Das sind alle Fahrten, bei denen die für Zugfahrten vorgesehenen Sicherungsanlagen nicht regulär bedient werden können oder dürfen. Dazu zählen:

- Fahrten ohne Triebfahrzeug
- Fahrten mit Nebenfahrzeugen, die aufgrund ihrer geringen Achslast Gleisschaltmittel nicht sicher betätigen
- Bedienungsfahrten zu Anschlussstellen, die nicht mit Hauptsignal durchgeführt werden können
- Fahrten, die ein Streckengleis nicht vollständig befahren
- Fahrten in gesperrten Streckengleisen.

Fahrten, die in Österreich zu den Nebenfahrten zählen, werden in Deutschland meist als Sperrfahrten und somit als Zugfahrten durchgeführt. Dies erfordert jedoch immer eine Sperrung des Streckengleises. In der Schweiz werden solche Fahrten als Rangierfahrten auf die Strecke abgewickelt.

Fahrten zur Durchführung von Bauarbeiten in einen Streckengleis, das noch nicht in Betrieb genommen oder das für Bauarbeiten vorübergehend außer Betrieb genommen wurde, finden bei allen behandelten Bahnen unter der Verantwortung der bauausführenden Stellen nach den Regeln für Rangierbewegungen statt (Abschn. 8.5.2.2). Besondere Regeln gibt es auch bei allen Bahnen für von der freien Strecke zurückkehrende Schiebetriebfahrzeuge.

8.2.5.4 Zusammengefasste Systematik der Durchführung von Fahrten auf einer Eisenbahninfrastruktur

Tabelle 8.1 gibt eine Übersicht zu den einzelnen Arten von Fahrzeugbewegungen und ihrer betrieblichen Zuordnung bei den Bahnen in Deutschland, Österreich und der Schweiz.

8.2.5.5 Regelung der Zugfolge

Zur sicheren Abstandshaltung der Züge ist heute das Fahren im festen Raumabstand vorgeschrieben. Dazu wird der Fahrweg in Abschnitte eingeteilt, in die ein Zug nur eingelassen werden darf, wenn sie frei von Fahrzeugen sind. Diese Abschnitte werden auf der freien Strecke als Blockabschnitte (in Deutschland auch Blockstrecken) bezeichnet. Bei signalgeführtem Betrieb mit ortsfesten Signalen werden diese Abschnitte durch Hauptsignale begrenzt. Dabei kann ein Hauptsignal nur dann einen für Züge gültigen Fahrtbegriff zeigen, wenn der Abschnitt bis zum nächsten Hauptsignal frei und gesichert ist und ein vorausfahrender Zug durch ein Halt zeigendes Signal gedeckt wird. Bei den meisten Bahnen reicht die auf ein Hauptsignal folgende Gleislänge, die frei und gesichert sein muss (die sog. Überwachungslänge des Hauptsignals) eine definierte Strecke über das Signal hinaus, um als Durchrutschweg (in Österreich als Schutzweg bezeichnet) zusätzlich einen gewissen Schutz gegen ein geringfügiges Überfahren eines Halt zeigenden Hauptsignals durch Verbremmen des Zuges zu gewähren (Abb. 8.2). Die Stelle hinter einem Hauptsignal, die ein Zug vollständig geräumt haben muss, damit das rückliegende Hauptsignal wieder auf Fahrt gestellt werden kann, wird als Signalzugschlussstelle bezeichnet. Auf Strecken, auf denen die Züge nicht durch ortsfeste Signale, sondern durch Führerraumanzeigen geführt werden, gilt das Fahren im festen Raumabstand grundsätzlich in gleicher Weise.

8.2.5.6 Die Rolle des Fahrplans

Der Fahrplan ist die vorausschauende Festlegung des Fahrtverlaufs der Züge hinsichtlich

- Verkehrstage
- Laufweg
- Gleisbenutzung in den Betriebsstellen

Tab. 8.1 Betriebliche Zuordnung der Fahrten mit Eisenbahnfahrzeugen

| Art der Fahrzeugbewegung | Betriebliche Zuordnung in | | |
|--|-------------------------------|---------------|------------------------------|
| | Deutschland | Österreich | Schweiz |
| Durch Hauptsignal geregelte Fahrt | Zugfahrt | Zugfahrt | Zugfahrt |
| Ohne Hauptsignal geregelte Fahrt gegen die gewöhnliche Fahrtrichtung einer zweigleisigen Strecke | Zugfahrt | Zugfahrt | Rangierfahrt auf die Strecke |
| Fahrt unter vereinfachten Bedingungen im Bahnhof ohne Fahrplan | Rangierfahrt | Verschubfahrt | Rangierfahrt |
| Fahrt zum Bedienen einer Anschlussstelle | Zugfahrt, ggf. als Sperrfahrt | Nebenfahrt | Rangierfahrt auf die Strecke |
| Fahrt in gesperrtem Streckengleis | Zugfahrt als Sperrfahrt | Nebenfahrt | Rangierfahrt auf die Strecke |
| Fahrt in einem Streckengleis, das für Bauarbeiten außer Betrieb genommen wurde | Rangierfahrt | Verschubfahrt | Rangierfahrt |
| Fahrt auf die Strecke mit Fahrzeug, durch das Gleisschaltmittel nicht sicher betätigt werden | Kleinwagen als Sperrfahrt | Nebenfahrt | Rangierfahrt auf die Strecke |
| Fahrt im Bahnhof mit Fahrzeug, das Gleisschaltmittel nicht sicher betätigt | Rangierfahrt | Nebenfahrt | Rangierfahrt |

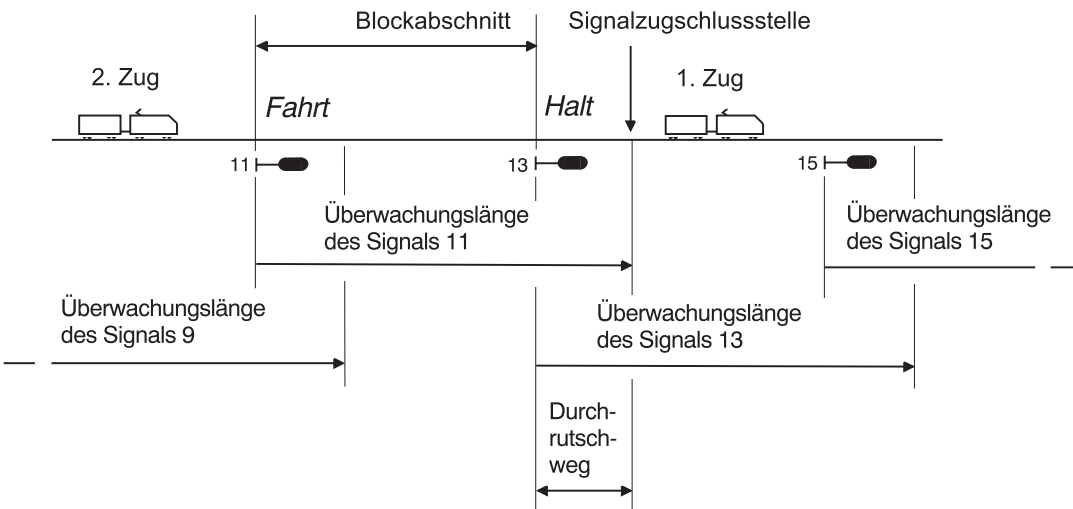
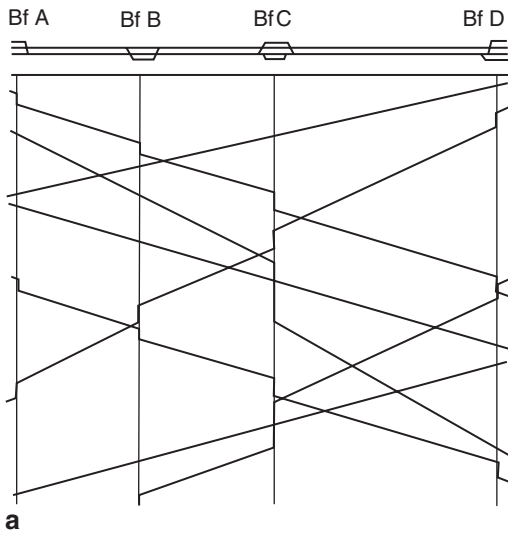


Abb. 8.2 Fahren im festen Raumabstand

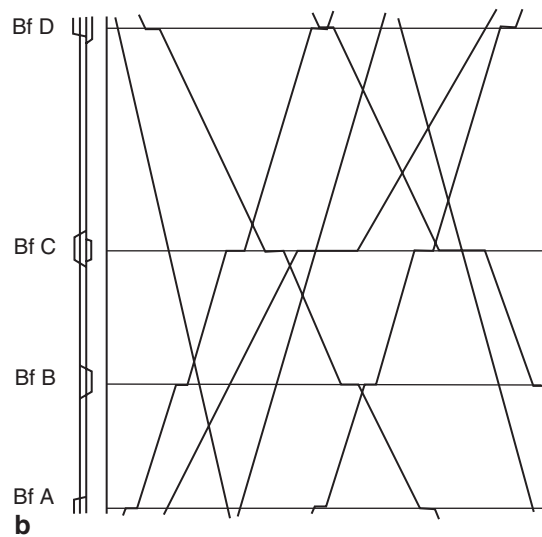
- zulässiger Geschwindigkeit auf den einzelnen Abschnitte des Laufweges
- erforderlichem Bremsvermögen
- Ankunft-, Abfahr- und Durchfahrzeiten auf den Betriebsstellen
- sonstiger, für die Führung des Zuges erforderlicher Angaben.

Ein Zug darf nur mit gültigem Fahrplan verkehren. Die Zugnummer ist dabei zugleich die Bezeichnung des zugehörigen Fahrplans. Die Erstellung des Fahrplans gehört zu den Aufgaben des Eisenbahninfrastrukturunternehmens. Die wichtigste bei der Fahrplankonstruktion erstellte Unterlage ist der Bildfahrplan, aus dem

liegender Fahrplan



stehender Fahrplan

**Abb. 8.3** Liegender und stehender Bildfahrplan

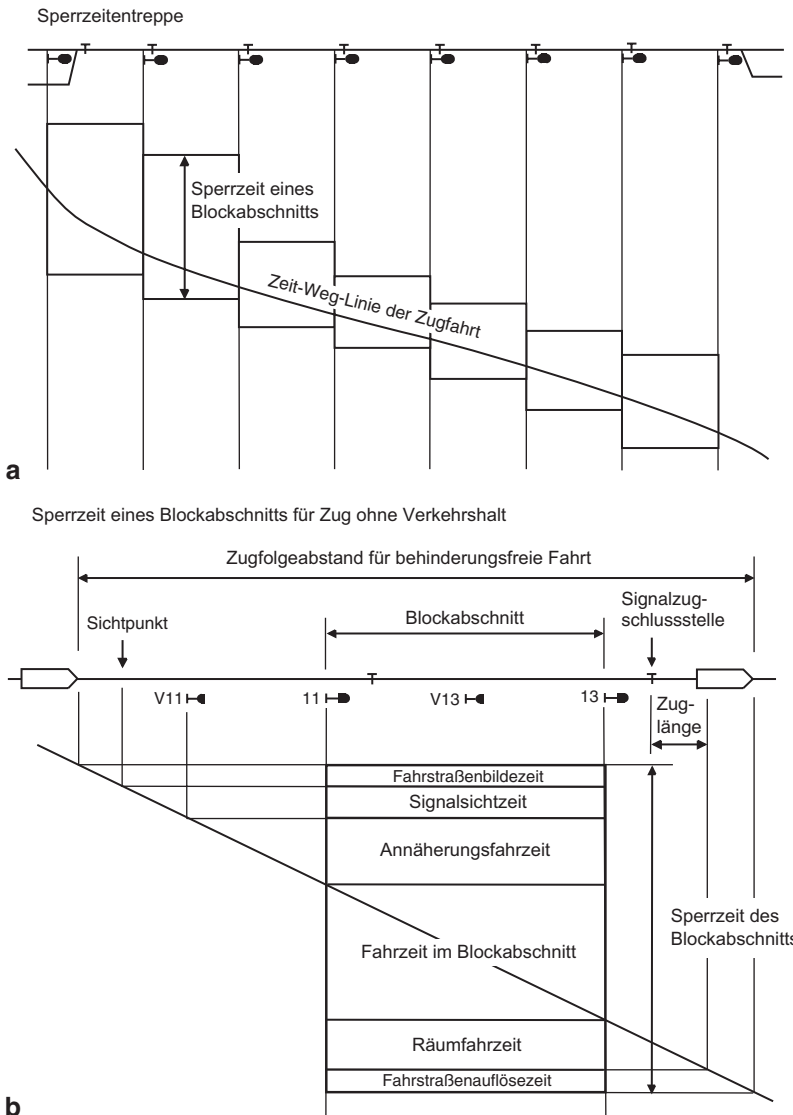
alle anderen Fahrplandarstellungen abgeleitet werden. Der Bildfahrplan ist ein Liniennetz aus Ortslinien, die den Fahrzeitmesspunkten der einzelnen Betriebsstellen entsprechen, und orthogonal dazu angeordneten Zeitlinien. In dieses Liniennetz werden die Zugfahrten als Zeit-Weg-Linien eingetragen. Bildfahrpläne können mit horizontaler (liegender Fahrplan) oder vertikaler Wegachse (stehender Fahrplan) ausgeführt sein (Abb. 8.3). Beide Darstellungsformen sind in der Aussage gleichwertig. Für Betriebsstellen mit mehreren, alternativ nutzbaren Gleisen wird die Gleisbenutzung in zusätzlichen Plänen dargestellt. Hier sind neben bildlichen Darstellungen mit horizontaler und vertikaler Zeitachse auch tabellarische Darstellungen üblich.

Der im Rahmen der Fahrplankonstruktion erstellte Fahrplan darf keine Trassenkonflikte enthalten. Die Ermittlung konfliktfreier Fahrplanelagen setzt eine exakte Beschreibung des „Trassenverbrauchs“, d. h. der Inanspruchnahme der Infrastruktur durch eine Zugfahrt voraus. Diese Inanspruchnahme wird durch die sog. Sperrzeitentreppe beschrieben (Abb. 8.4a). Die Sperrzeit eines Fahrwegabschnitts ist diejenige Zeit, in der dieser Fahrwegabschnitt durch eine Zugfahrt betrieblich beansprucht und somit für die Nutzung durch andere Fahrten gesperrt ist. Die Sperrzeit

beginnt mit der Handlung, die zur Erteilung der Zustimmung zur Einfahrt in den Abschnitt führt und endet mit der Freigabe des Abschnitts für einen folgenden Zug. Abbildung 8.4b zeigt als Beispiel die Sperrzeit eines Blockabschnitts für einen planmäßig ohne Halt durchfahrenden Zug. Bei einem planmäßigen Halt vor dem Signal am Anfang des Blockabschnitts entfällt die Annäherungsfahrzeit. Das Auftragen der Sperrzeiten einer Zugfahrt über die durchfahrene Strecke ergibt dann die Sperrzeitentreppe. Aus den Sperrzeitentreppe lassen sich unmittelbar die Mindestzugfolgezeiten ableiten. Zur Gewährleistung einer ausreichenden Betriebsqualität werden diesen Mindestzugfolgezeiten im Fahrplan noch Pufferzeiten zugeschlagen, um die Übertragung von Verspätungen zu reduzieren. Für eine detaillierte Einführung in die Sperrzeittheorie und die Grundlagen der Fahrplankonstruktion wird auf [14] verwiesen.

Nach Abschluss der Fahrplankonstruktion werden die Fahrpläne für die Zugpersonale erzeugt, die alle für die sichere Führung des Zuges relevanten Informationen enthalten. Diese Fahrpläne werden den Eisenbahnverkehrsunternehmen entweder in gedruckter Form oder auf digitalem Datenträger übergeben. Der Trend geht

Abb. 8.4 Sperrzeitentreppe und Sperrzeit eines einzelnen Blockabschnitts



dahin, dem Triebfahrzeugführer die Fahrplandaten auf elektronischen Displays anzuzeigen.

8.3 Signalisierung am Fahrweg

8.3.1 Signalsysteme

8.3.1.1 Signalisierungsprinzipien für Zugfahrten

Zur Regelung der Zugfolge mittels ortsfester Signale existieren zwei grundsätzliche Signalisierungsprinzipien [14]:

- Einabschnittssignalisierung und
- Mehrabschnittssignalisierung.

Einabschnittssignale können nur Informationen über den unmittelbar folgenden Abschnitt bis zum nächsten Hauptsignal geben (Abb. 8.5). Eine Vorankündigung des nächsten Signals ist nicht möglich. Daher muss in einem Einabschnittssignalsystem jedes Hauptsignal durch ein besonderes Vorsignal angekündigt werden. Wenn bei dichtester Blockteilung das Vorsignal in Höhe des rückliegenden Hauptsignals zu stehen käme, werden bei Lichtsignalen Haupt- und Vorsignal übereinander am gleichen Signalmast angebracht.

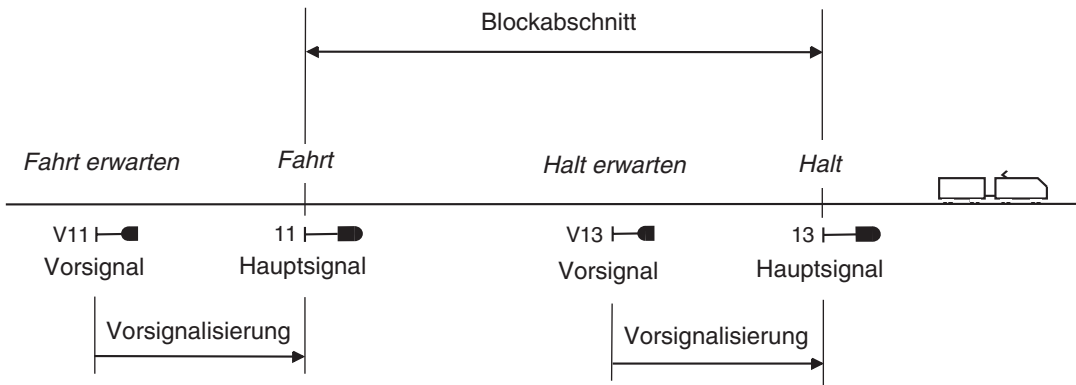


Abb. 8.5 Einabschnittssignalisierung

Mehrschnittssignalsysteme geben Informationen über mindestens zwei Blockabschnitte (Zweiabschnittssignale). Dazu ist die Vorsignalfunktion in den Hauptsignalbegriff integriert (Abb. 8.6a). Einige Bahnen verwenden auch Dreiabschnittssignale, bei denen der Signalbegriff eines Hauptsignals die Vorsignalinformation für die folgenden zwei Hauptsignale enthält (Abb. 8.6b). Die Mehrabschnittssignalisierung ist betrieblich jedoch nur dann vorteilhaft, wenn der Signalabstand den Bremsweg nicht wesentlich übersteigt. Da bei Mehrabschnittssignalisierung der Vorsignalabstand dem Abstand zwischen den Hauptsignalen entspricht, führt ein großer Signalabstand zu einer unnötigen Erhöhung der Annäherungsfahrzeit als Teil der Teil der Sperrzeit. Bei großen Signalabständen würden sich dadurch bei Anwendung der Mehrabschnittssignalisierung die Mindestzugfolgezeiten erhöhen und damit die Leistungsfähigkeit der Strecke verschlechtern [14]. Die meisten mehrabschnittsfähigen Signalsysteme sind daher so konzipiert, dass bei größeren Signalabständen wieder zur Einabschnittssignalisierung übergegangen werden kann.

In Österreich kommt ausschließlich Einabschnittssignalisierung zur Anwendung. In Deutschland und der Schweiz sind reine Einabschnittssignalsysteme nur noch in Altanlagen vorhanden, während seit einigen Jahren in Neuanlagen nur noch mehrabschnittsfähige Signalsysteme eingebaut werden. In der Schweiz kommt auf Strecken mit verkürzten Signalab-

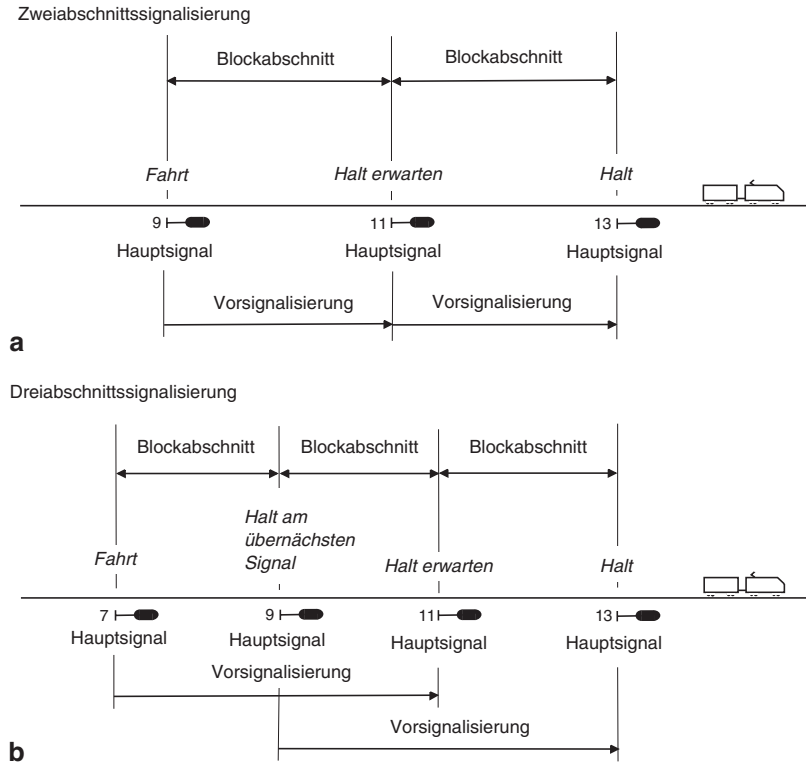
ständen auch Dreiabschnittssignalisierung zur Anwendung (Abschn. 8.3.2.3).

8.3.1.2 Beispiele für Einabschnittssignalsysteme

Das HV-Signalsystem der Deutschen Bahn AG Das HV-Signalsystem ist das aus der Vorkriegszeit stammende, traditionelle deutsche Signalsystem (Bezeichnung HV abgeleitet von Haupt-Vor-Signalsystem). Es ist heute an Formsignalen noch im Gesamtbereich der Deutschen Bahn AG zu finden. Lichtsignale des HV-Signalsystem sind nur in Altanlagen im Bereich der ehemaligen Deutschen Bundesbahn vorhanden, sie wurden dort aber bis vor einigen Jahren selbst bei elektronischen Stellwerken noch neu eingebaut. Das HV-Signalsystem ist ein reines Einabschnittssignalsystem mit einer integrierten Geschwindigkeitssignalisierung in zwei Stufen („Langsamfahrt“ und „Fahrt frei“). Bei Langsamfahrt gilt, wenn keine weiteren Festlegungen getroffen sind, eine Geschwindigkeit von 40 km/h, für „Fahrt frei“ die im Buchfahrplan festgelegte zulässige Geschwindigkeit. Durch Geschwindigkeitsanzeiger (Abschn. 8.3.2.3) oder Einträge im Buchfahrplan können jedoch auch andere Geschwindigkeiten (50 oder 60 km/h) vorgeschrieben werden.

Das Signalsystem der ÖBB Das Signalsystem der ÖBB ist ein reines Einabschnittssignalsystem mit einer integrierten Geschwindigkeitssignalisierung in drei Stufen (Frei, 60 km/h, 40 km/h).

Abb. 8.6 Mehrabschnitts-
signalisierung



Bei Anzeige des Signalbegriffs „Frei“ gilt die Fahrplangeschwindigkeit. Durch Geschwindigkeitsanzeiger (Abschn. 8.3.2.3) sind weitere Geschwindigkeiten signalisierbar. Dieses Signalsystem kommt im Gesamtbereich der ÖBB, auch in Neuanlagen, zur Anwendung.

Das Signalsystem L der Schweizerischen Bundesbahnen Das Signalsystem L ist das traditionelle schweizerische Signalsystem (Bezeichnung L abgeleitet von Geschwindigkeitssignalisierung durch Lichtpunkte). Es kommt in Neuanlagen nicht mehr zur Anwendung, ist aber noch in großer Zahl vorhanden. Es handelt sich um ein reines Einabschnittssignalsystem mit einer integrierten Geschwindigkeitssignalisierung in vier Stufen („Freie Fahrt“, 90 km/h, 60 km/h, 40 km/h). Bei Anzeige des Signalbegriffs „Freie Fahrt“ gilt die in der Streckentabelle angegebene Höchstgeschwindigkeit. Ergänzende Geschwindigkeitsanzeiger werden im Signalsystem L nicht verwendet. Neben der reinen Einabschnittssignalisierung gibt es im Signalsystem L auch sog.

kombinierte Signale, die unter ausschließlicher Verwendung der Signalbegriffe „Halt“, „Warnung“ und „Freie Fahrt“ eine einfache Zweiabschnittssignalisierung ermöglichen. Davon wird insbesondere zur Lichtpunkteinsparung an selbsttätigen Blocksignalen Gebrauch gemacht.

Abbildung 8.7 zeigt eine Übersicht der an den hier besprochenen Einabschnittssignalsystemen verwendeten Haupt- und Vorsignalbegriffe. Die in Deutschland und Österreich mögliche weitere Differenzierung der signalisierbaren Geschwindigkeiten durch Anwendung von Zusatzsignalen ist nicht mit dargestellt.

8.3.1.3 Beispiele für mehrabschnittsfähige Signalsysteme

Das Ks-Signalsystem der Deutschen Bahn AG Das Ks-Signalsystem ist das nach der Vereinigung der deutschen Bahnen eingeführte Signalsystem, das bei allen Neuanlagen zur Anwendung kommt (Bezeichnung Ks abgeleitet von Kombinationssignalsystem). Es kann wahlweise

Abb. 8.7 Übersicht zu Signalbegriffen an Einabschnittssignalen

| | | HALT | 40 km/h | 60 km/h | 90 km/h | Vmax |
|---------------------|-----------------------|------|---------|---------|---------|------|
| Hauptsignalbegriffe | Deutschland HV-System | | | - | - | |
| | Österreich ÖBB-System | | | | - | |
| | Schweiz System L | | | | | |
| Vorsignalbegriffe | Deutschland HV-System | | | - | - | |
| | Österreich ÖBB-System | | | | - | |
| | Schweiz System L | | | | | |

als Einabschnittssignalsystem oder Zweiabschnittssignalsystem zum Einsatz kommen. Das Ks-Signalsystem ist ein reines Zugfolgesignalsystem ohne integrierte Geschwindigkeitssignalisierung. Es gibt nur die drei Signalbegriffe „Halt“, „Fahrt“, und „Halt erwarten“ (Abb. 8.8). Geschwindigkeitsinformationen sind nur durch Zusatzsignale (siehe Abschn. 8.3.2.3) darstellbar. Das grüne Blinklicht für den Signalbegriff „Fahrt“ wird verwendet, wenn an diesem Signal ein Geschwindigkeitsvoranzeiger gezeigt wird, der eine Geschwindigkeitsermäßigung für das folgende Hauptsignal ankündigt, und soll den Triebfahrzeugführer auf die Beachtung des Geschwindigkeitsvoranzeigers besonders aufmerksam machen. Das Ks-Signalsystem kommt, teilweise mit geringen Modifikationen, in Neuanlagen auch bei einigen osteuropäischen Eisenbahnen zur Anwendung und ersetzt dort schrittweise das OSŽD-Signalsystem (s. u.).

Das Signalsystem N der Schweizerischen Eisenbahnen Das Signalsystem N ist das neue Signalsystem der Schweizerischen Eisen-

bahnen (Bezeichnung N abgeleitet von Numerischer Geschwindigkeitssignalisierung). Es kann wahlweise als Einabschnittssignalsystem oder Zweiabschnittssignalsystem zum Einsatz kommen. Das Signalsystem N ist ein reines Zugfolgesignalsystem, Geschwindigkeitsinformationen werden mit ergänzenden Anzeigern in Form gelb leuchtender Ziffern dargestellt. Zusammen mit einem gelben Licht hat die Ziffer die Bedeutung einer Geschwindigkeitsankündigung, zusammen mit einem grünen Licht die Bedeutung einer Geschwindigkeitsausführung (Abb. 8.9). Im Unterschied zum deutschen Ks-Signalsystem ist die gleichzeitige Anzeige einer Geschwindigkeitsausführung und einer Geschwindigkeitsankündigung nicht möglich. Zu der daraus resultierenden abweichenden Anwendung der Geschwindigkeitssignalisierung siehe Abschn. 8.3.2.3.

Das OSŽD-Signalsystem der osteuropäischen Bahnen Das OSŽD-Signalsystem ist das nach vereinheitlichten Grundsätzen bei den ehemaligen Mitgliedsbahnen der Organisation für

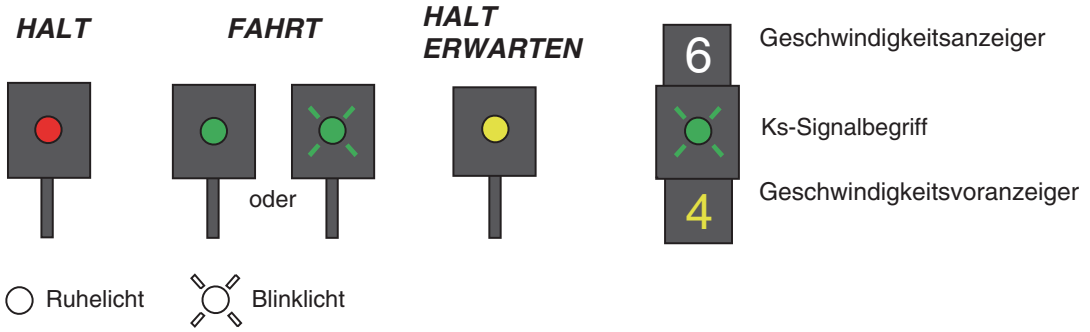
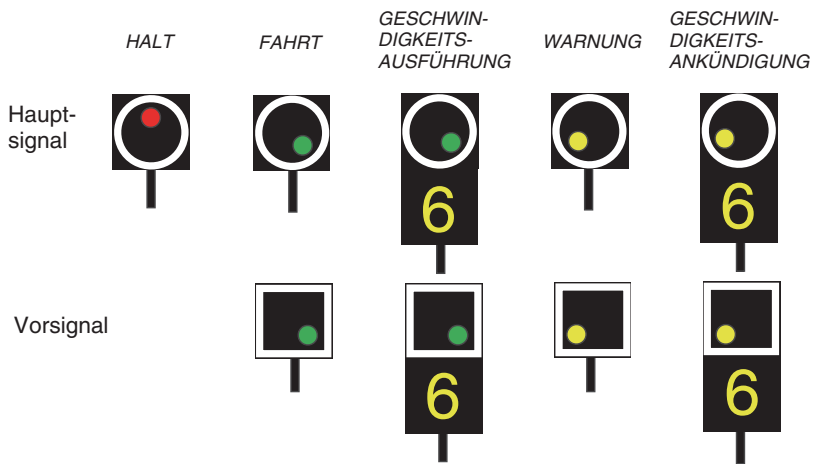


Abb. 8.8 Signalbegriffe im Ks-Signalsystem

Abb. 8.9 Signalbegriffe im System N



Zusammenarbeit der Eisenbahnen (OSŽD) eingeführte Signalsystem. Es ist in Osteuropa nach wie vor stark verbreitet und wird von einigen Bahnen auch in Neuanlagen verwendet. Das OSŽD-Signalsystem war unter der Bezeichnung HI-Signalsystem auch das Standardsignalsystem an Lichtsignalen der ehemaligen Deutschen Reichsbahn der DDR (Bezeichnung HI abgeleitet von Hauptlichtsignalen). Es ist dort in Altanlagen auch heute noch in größerer Zahl vorhanden. Das OSŽD-Signalsystem kann je nach Signalabstand wahlweise als Einabschnittssignalsystem oder Zweiabschnittssignalsystem verwendet werden und verfügt über eine integrierte mehrstufige Geschwindigkeitssignalisierung. Die signalisierbaren Geschwindigkeiten weichen bei den einzelnen Bahnen geringfügig voneinander ab. Abbildung 8.10 zeigt die Geschwindigkeits-

stufen für das HI-Signalsystem der ehemaligen Deutschen Reichsbahn der DDR.

8.3.2 Verwendung der Signale

8.3.2.1 Haupt- und Vorsignale

Hauptsignale Hauptsignale dienen der Regelung der Zugfahrten. Sie werden an folgenden Stellen angeordnet:

- wo eine Zustimmung zur Zugfahrt signalisiert werden muss
- wo durch Verwendung als fahrtbildloses Zielsignal (Hauptsignal, das für Züge einen Haltbegriff, jedoch keinen Fahrtbegriff zeigen kann) am Ende eines Einfahrweges eine Beschränkung der Einfahrtsgeschwindigkeit vermieden werden soll.

Abb. 8.10 Signalbegriffe im HI-Signalsystem

| | | Geschwindigkeit am nächsten Signal | | | |
|--|-----------|------------------------------------|-----------|----------|----------------------------|
| | | auf von | V_{max} | 100 km/h | 40 km/h oder 60 km/h |
| Geschwindigkeit im anschließenden Weichenbereich | V_{max} | | | | |
| | 100 km/h | | | | |
| | 60 km/h | | | | |
| | 40 km/h | | | | |
| | HALT | | | | |

Ruhelicht
 Blinklicht

Nach der betrieblichen Funktion werden Haupt-signale wie folgt eingeteilt:

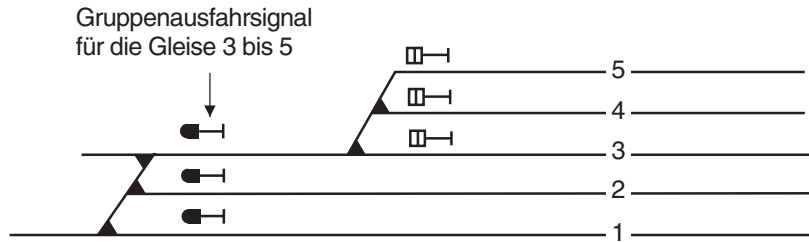
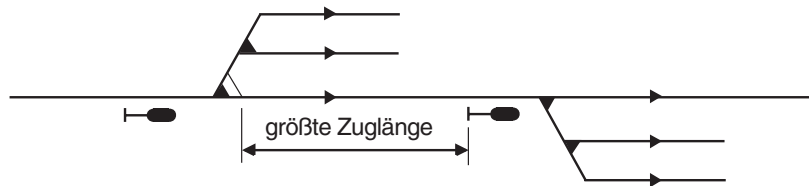
- Einfahrtsignale
- Ausfahrtsignale
- Zwischen- oder Gleisabschnittssignale
- Blocksignale
- Deckungssignale.

Einfahrtsignale bilden die Grenze des Bahnhofs und signalisieren die Einfahrstraßen von der freien Strecke in den Bahnhof. Am Einfahrtsignal endet der letzte vor dem Bahnhof liegende Blockabschnitt. An jedem in einen Bahnhof führenden Streckengleis, das im Regelbetrieb von Zügen befahren wird, wird ein Einfahrtsignal aufgestellt. Bei Zusammenführung mehrerer Strecken sind die Einfahrtsignale so anzuordnen, dass für den Triebfahrzeugführer eine zweifelsfreie Zuordnung der Signale zu den jeweiligen Streckengleisen gewährleistet ist.

Ausfahrtsignale signalisieren die Ausfahrstraßen auf die freie Strecke. Am Ausfahrtsignal beginnt der erste auf den Bahnhof folgende Blockabschnitt. Ausfahrtsignale sind nur an Gleisen erforderlich, aus denen planmäßig ausgefahren wird. Der Standort der Ausfahrtsignale ist so zu wählen, dass

- die längsten Züge noch vor ihnen halten können, ohne die Ein- oder Ausfahrt anderer Züge zu behindern
- die Reisezüge auch bei Halt zeigendem Ausfahrtsignal an den Bahnsteig gelangen können,
- Bahnübergänge durch haltende Züge nicht besetzt werden.

Bei zwei oder mehr Ausfahrtsignalen für die gleiche Richtung wird in der Regel für jedes Gleis ein Ausfahrtsignal vor dem Zusammenlauf der Ausfahrwege aufgestellt. Wenn es die Betriebsverhältnisse erlauben, kann entsprechend den Planungsgrundsätzen der jeweiligen Bahn in

Abb. 8.11 Gruppenausfahrtsignal**Abb. 8.12** Zwischensignal bei aufeinander folgenden Fahrtverzweigungen im Bahnhof

bestimmten Fällen für mehrere Ausfahrtsignale ein gemeinsames Ausfahrtsignal – Gruppenausfahrtsignal – verwendet werden (Abb. 8.11).

Um eine eindeutige Signalisierung zu gewährleisten, sollen Gruppenausfahrtsignale neben oder hinter dem Zusammenlauf der zugehörigen Fahrstraßen, aber vor dem Zusammenlauf dieser Fahrstraßengruppe mit anderen Fahrstraßen stehen. Die zu einem Gruppenausfahrtsignal gehörenden Ausfahrtsignale werden in der Regel durch Sperrsignale (Abschn. 8.3.2.2) oder vereinfachte Hauptsignale (Hauptsignale, die für Zugfahrten nur einen Haltbegriff zeigen können und betrieblich abgeschaltet werden, wenn eine Zugstraße am Signal vorbeiführt) abgeschlossen. Gruppenausfahrtsignale sind nur dann zu verwenden, wenn die zugehörigen Ausfahrtsignale

- die gleiche Stellung aller spitz befahrenen Weichen und Schutzweichen erfordern
- außerhalb der durchgehenden Hauptgleise beginnen
- vor ihrem Zusammenlauf nicht durch andere Fahrstraßen gekreuzt werden.

Zwischensignale (in der Schweiz als *Gleisabschnittssignale* bezeichnet) dienen bei sehr langen Bahnhöfen oder bei bestimmten Spurplanfällen der Unterteilung eines Bahnhofsgleises in mehrere Abschnitte. Das ist insbesondere dann üblich, wenn innerhalb des Bahnhofs mehrere Fahrtverzweigungen aus demselben Hauptgleis aufeinander folgen (Abb. 8.12). Analog zu den

bei Ausfahrtsignalen beschriebenen Grundsätzen können auch Zwischensignale als Gruppensignale (Gruppenzwischensignale) angeordnet werden.

Blocksignale sind Hauptsignale der freien Strecke, die die Einfahrt in einen Blockabschnitt sichern. Mit Blocksignalen sind mindestens alle Abweig- und Überleitstellen auszurüsten. Wenn es das Leistungsverhalten der Strecke erfordert, können zur Verkürzung der Mindestzugfolgezeiten weitere Blocksignale angeordnet werden, die nur der Zugfolgeregulierung dienen und keine ortsfesten Gefahrenpunkte decken. An Haltepunkten und Haltestellen sollen Blocksignale in Analogie zu Ausfahrtsignalen so angeordnet werden, dass Züge auch bei Halt zeigendem Blocksignal an den Bahnsteig gelangen können.

Deckungssignale sind Hauptsignale der freien Strecke zur Deckung von Gefahrenstellen (z. B. bewegliche Brücken). In der Schweiz wird die Bezeichnung Deckungssignal nur dann benutzt, wenn dieses Signal nicht zugleich die Funktion eines Blocksignals hat.

Für jedes Hauptsignal, welches Weichen deckt, ist ein sog. *anschließender Weichenbereich* festgelegt. Der anschließende Weichenbereich (in der Schweiz als *die zugehörigen Weichen eines Signals* bezeichnet) ist der auf das Signal folgende Bereich, in dem eine signalisierte oder bei ersatzweiser Zulassung der Zugfahrt durch einen schriftlichen Befehl geltende Geschwindigkeitsbeschränkung einzuhalten ist.

Der anschließende Weichenbereich hinter Hauptsignalen für Fahrten in ein Bahnhofsgleis (Einfahrsignale, Zwischen- bzw. Gleisabschnittssignale) endet am folgenden Hauptsignal oder am planmäßigen Halteplatz des Zuges. Der anschließende Weichenbereich hinter Hauptsignalen für Fahrten in ein Streckengleis (Ausfahrtsignale, Blocksignale an Abzweig- und Überleitstellen) endet nach der letzten auf das Signal folgenden Weiche. Da eine Fehleinschätzung des anschließenden Weichenbereichs durch den Triebfahrzeugführer zu Unfällen führen kann, wenden die Bahnen unterschiedliche Verfahren an, um dem Triebfahrzeugführer die Orientierung zu erleichtern. In Österreich und der Schweiz werden für diesen Zweck in Verbindung mit Hauptsignalen besondere Kennzeichnungen verwendet. So erhält in Österreich jedes Hauptsignal eine Tafel, aus der die Funktion dieses Signal eindeutig hervorgeht. Wenn die Rolle eines Hauptsignals von der eingestellten Fahrstraße abhängt (z. B. Ausfahrtsignal, das für bestimmte Fahrstraßen als Zwischensignal gilt), so sind an diesem Signal mehrere Tafeln mit entsprechenden Zuordnungspfeilen angebracht. In der Schweiz werden im Signalsystem N diejenigen Signale, auf die das Einfahrsignal eines Bahnhofs folgt, durch eine Merktafel über dem Signalschirm gekennzeichnet (weiße Raute auf schwarzem Grund). Das Einfahrsignal trägt zusätzlich eine Tafel mit dem Kurzzeichen des Bahnhofs über dem Signalschirm. An allen Fahrstraßen, die in ein Streckengleis führen, ist nach dem Ende des anschließenden Weichenbereichs die Stelle, ab der wieder die Streckengeschwindigkeit gilt, durch eine Merktafel gekennzeichnet (schwarzer, nach oben zeigender Winkel auf weißem Grund). In Deutschland ist für jede Betriebsstelle das Ende des anschließenden Weichenbereichs in den Fahrplanunterlagen des Triebfahrzeugführers angegeben. Eine streckenseitige Kennzeichnung durch Signaltafeln wird nicht vorgenommen.

Vorsignale Vorsignale künden im festgelegten Vorsignalabstand den Signalbegriff des folgenden Hauptsignals an. Bei mehrabschnittsfähigen Signalsystemen ist bei kurzen Signalabständen, die den Bremsweg nicht wesentlich überschrei-

ten, die Vorsignalisierung in die Signalanzeige des rückliegenden Hauptsignals integriert. Bei reinen Einabschnittssignalsystemen wird bei kurzen Signalabständen das Vorsignal am Standort des rückliegenden Hauptsignals aufgestellt (bei Lichtsignalen als separater Signalschirm am Mast des Hauptsignals).

In folgenden Fällen kann es erforderlich sein, die Signalanzeige innerhalb des Vorsignalabstandes zu wiederholen:

- wenn das Hauptsignal bei beschränkter Sicht innerhalb der erforderlichen Mindestsichtweite nicht durchgehend zu erkennen ist
- zur Verbesserung der Betriebsflüssigkeit, indem der Triebfahrzeugführer nach dem Passieren einer Haltankündigung das nachträgliche Freiwerden des folgenden Hauptsignal früher aufnehmen kann.

Die Verwechslung eines solchen Wiederholungssignals mit einem allein stehenden Vorsignal durch den Triebfahrzeugführer kann zu Gefährdungen führen, da hinter diesem Signal nicht mehr der volle Bremsweg zur Verfügung steht. Daher werden Signalwiederholer besonders gekennzeichnet, entweder durch zusätzliche Kennzeichen oder durch Verwendung von Signalbildern, die sich von den an Haupt- und Vorsignalen gezeigten Signalbildern unterscheiden.

Bei deutschen Bahnen kommen zur Signalwiederholung *Vorsignalwiederholer* zur Anwendung, die nur die Vorsignalinformation des rückliegenden Signals wiederholen. Im Ks-Signalsystem zeigen Vorsignalwiederholer ein weißes Zusatzlicht, sofern ein die Fahrt einschränkender Signalbegriff vorsignalisiert wird. In der Schweiz werden *Wiederholungssignale* verwendet, die nicht nur die Vorsignalinformation, wiederholen, sondern auch eine ab dem Standort des Wiederholungssignals geltende Geschwindigkeitsausführung anzeigen können. Wiederholungssignale werden durch eine Merktafel über dem Signalschirm gekennzeichnet (zwei schwarze Sterne auf weißem Grund). In Österreich werden zur Signalwiederholung sog. *Signalnachahmer* verwendet, die die Stellung des folgenden Hauptsignals in vereinfachter Form mit weiß leuchtenden Lichtstreifen nachbilden (nicht zu verwechseln mit den in Deutschland

üblichen Fahrtanzeigern am Bahnsteig, die der Zugaufsicht die Fahrtstellung des Ausfahrtsignals anzeigen, die jedoch für den Triebfahrzeugführer keine Bedeutung haben). Dadurch ist eine Verwechslung mit einem allein stehenden Vorsignal ausgeschlossen. Da ein Signalnachahmer nicht die Signalanzeige eines rückliegenden Signals wiederholt, sondern die Stellung des folgenden Signals vorwegnimmt, ist auch die Darstellung des Ersatzsignals (Abschn. 8.3.2.3) möglich.

Signalisierung verkürzter Signalabstände Auf Strecken mit sehr dichter Zugfolge kann es zur Gewährleistung einer auskömmlichen Leistungsfähigkeit erforderlich sein, Hauptsignale in einem Abstand anzuordnen, der den Regel-Vorsignalabstand unterschreitet. In diesem Fall ist der Bremsweg mit speziellen Signalisierungsverfahren auf mehrere Blockabschnitte zu verteilen. Dazu bestehen folgende grundsätzliche Möglichkeiten:

- Vorwarnung
- doppelte Warnung
- abgestufte Geschwindigkeitssignalisierung.

Die *Vorwarnung* läuft auf das bereits erläuterte Prinzip der Dreiabschnittssignalisierung hinaus. Dabei muss die Bedeutung des Signals, das den Haltbegriff des übernächsten Signals ankündigt, so festgelegt werden, dass der Triebfahrzeugführer weiß, dass ihm ab dem nächsten Signal nicht mehr der volle Vorsignalabstand als Bremsweg zur Verfügung steht. Bei der Bestimmung der Sperrzeit entspricht daher die Annäherungsfahrzeit immer der Fahrzeit in zwei Blockabschnitten. Die Vorwarnung wird bei den betrachteten Bahnen nur in der Schweiz beim Signalsystem N angewandt. Dort erscheint als Signalbegriff zur Vorwarnung ein gelbes Signallicht zusammen mit einem gelb leuchtenden Winkel in Form eines „V“.

Doppelte Warnung bedeutet, dass der Signalbegriff „Halt erwarten“ bereits am zweiten Signal vor dem Halt zeigenden Signal gezeigt wird. Am nächsten Signal wird dieser Signalbegriff dann noch einmal wiederholt. Dabei wird zur Vermeidung von Signalverwechslungen die Wiederholung der Haltankündigung für den Triebfahrzeugführer besonders kenntlich gemacht. Dies setzt

voraus, dass im betreffenden Signalsystem eine aktiv anschaltbare Kennzeichnung der Wiederholerfunktion möglich ist. Bei der Deutschen Bahn AG wird eine solche Signalisierung, bei der die Blockabschnittslänge dem halben Vorsignalabstand entspricht, als „Halbregelabstand“ bezeichnet. (Abb. 8.13). Das die Warnung wiederholende Signal zeigt das Signalbild „Halt erwarten“ mit einem weißen Zusatzlicht (gleiche Signalisierung wie bei Vorsignalwiederholern). Auf Strecken mit HV-Signalen wird zusätzlich der am gleichen Mast befindliche Hauptsignal-schirm abgeschaltet und zeigt Kennlicht (weißes Licht am ansonsten dunklen Signalschirm zur Kennzeichnung eines betrieblich abgeschalteten Signals).

Bei *abgestufter Geschwindigkeitssignalisierung* (auch als *Mehrabschnittsbremung* mit *Hochsignalisierung* bezeichnet) wird der Bremsweg durch Geschwindigkeitssignalisierung auf mehrere Blockabschnitte verteilt. Nach dem Freifahren eines Blockabschnitts werden die an den rückliegenden Signalen signalisierten Geschwindigkeitsstufen nachträglich aufgewertet (hochsignalisiert). Vorsignalisiert wird jedoch immer nur über einen Abschn. (Abb. 8.14). Die Signalabstände können dadurch sehr flexibel gewählt werden. Bei sehr dichter Blockteilung, wie sie insbesondere auf Stadtschnellbahnen üblich ist, werden dabei häufig mehr als zwei Geschwindigkeitsstufen verwendet.

Eine besondere Anwendung verkürzter Signalabstände stellen Nachrücksignale dar. Ein Nachrücksignal ist ein zwischen einem Einfahrtsignal oder einem einen Bahnsteig deckenden Blocksignal und dem Bahnsteiganfang angeordnetes, zusätzliches Hauptsignal. Nachrücksignale werden auf Stadtschnellbahnen mit sehr dichter Zugfolge zur Reduktion der Bahnsteigwechselzeiten (Zeitspanne von der Abfahrt eines Zuges bis zur Ankunft des folgenden Zuges am gleichen Bahnsteig) angewendet. Zwischen dem Nachrücksignal und dem rückliegenden Hauptsignal besteht nur ein sehr kurzer (oft unterzuglanger) Blockabschnitt. Der Durchrutschweg hinter dem Nachrücksignal reicht in der Regel bis in den Bereich des Bahnsteiges hinein, so dass bei einem am Bahnsteig haltenden Zug sowohl das

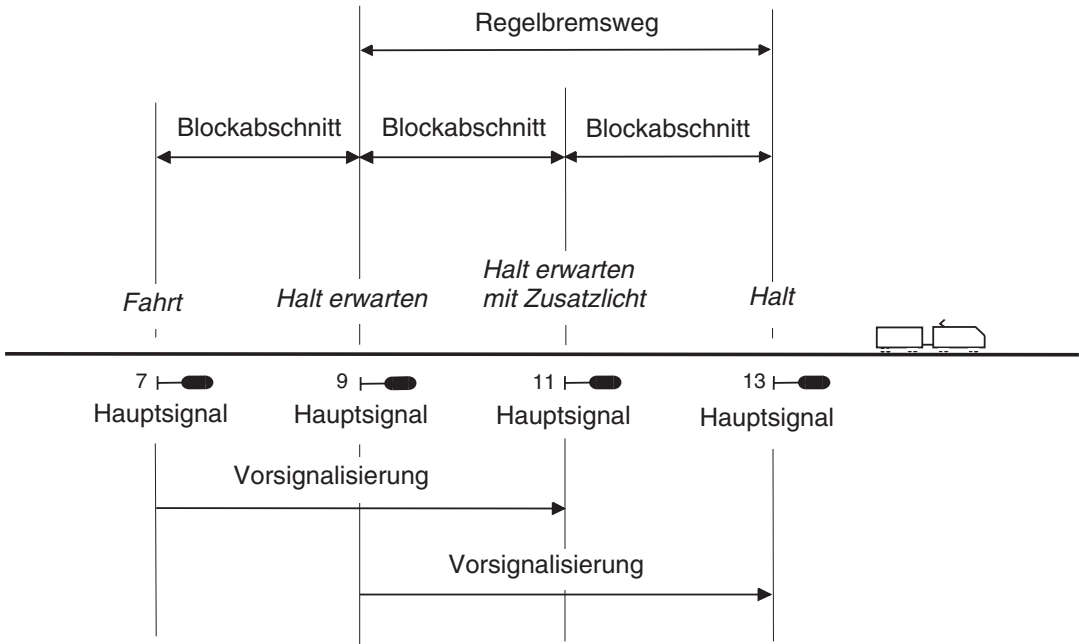


Abb. 8.13 Signalisierung im Halbregelabstand

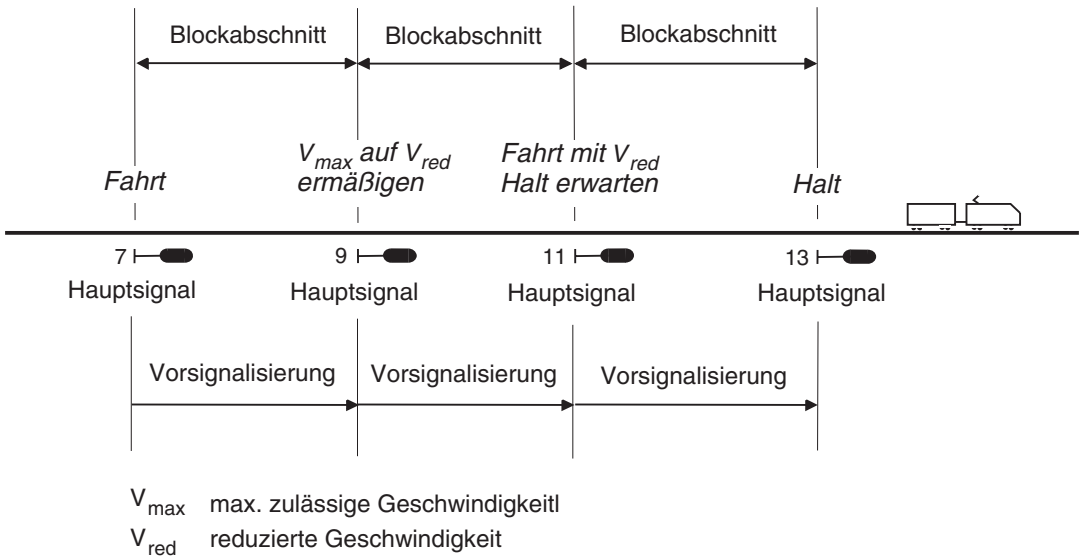


Abb. 8.14 Abgestufte Geschwindigkeitssignalisierung

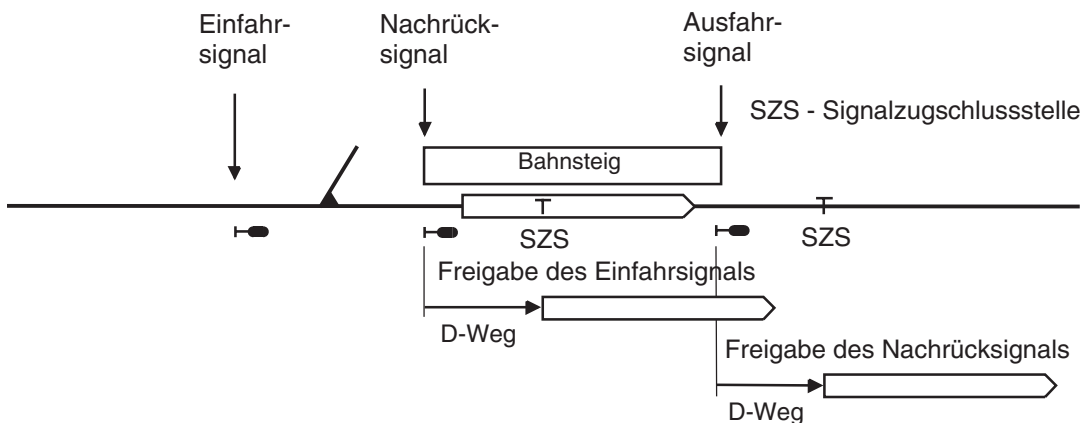


Abb. 8.15 Nachrücksignal

Nachrücksignal als auch das rückliegende Hauptsignal einen Haltbegriff zeigen (Abb. 8.15).

Wenn ein ausfahrender Zug die Signalzugschlusssstelle des Nachrücksignals geräumt hat, kann das rückliegende Hauptsignal bereits wieder auf Fahrt gestellt werden. Ein folgender Zug kann damit bereits nachrücken, bevor das Bahnsteiggleis vollständig geräumt ist. Da ein ausfahrender Zug normalerweise nicht stehen bleibt, wird das Nachrücksignal so zeitig freigegeben, dass ein folgender Zug am Nachrücksignal rechtzeitig einen Fahrtbegriff erhält. Ein Halt vor dem Nachrücksignal tritt nur ein, falls der voraus gefahrene Zug während der Ausfahrt plötzlich bremst (z. B. beim Ziehen der Notbremse). Betrieblich gelten Nachrücksignale in Bahnhöfen als Zwischensignale (Gleisabschnittssignale), ansonsten als Blocksignale. Mitunter werden auf dicht befahrenen Stadtschnellbahnen auch mehrere Nachrücksignale angeordnet.

8.3.2.2 Schutz- und Rangiersignale

Unter dem Oberbegriff Schutz- und Rangiersignale werden hier alle ortsfesten Signale zusammengefasst, die zur Regelung des Rangierbetriebes und zum Decken von Gefahrenpunkten, an denen ein Hauptsignal nicht erforderlich ist, verwendet werden. Die Klassifizierung und Einordnung dieser Signale weicht in den Signalvorschriften der einzelnen Bahnen teilweise stark voneinander ab. Daher wird hier eine neutrale Klassifizierung vorgenommen, die sich nicht

mit der Terminologie aller betrachteten Bahnen deckt. Es wird dann aber auch jeweils auf die Bezeichnungen und Realisierungsformen bei den einzelnen Bahnen eingegangen.

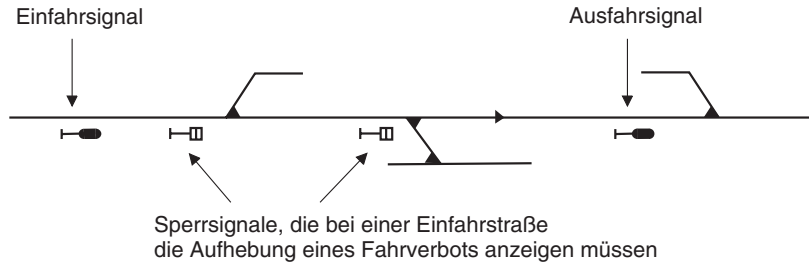
Sperr- und Rangierhaltssignale Sperr- und Rangierhaltssignale werden dort angeordnet, wo ein Haltbegriff für Zug- oder Rangierfahrten und die Aufhebung eines Fahrverbots, jedoch keine Zustimmung zur Zugfahrt signalisiert werden muss, sofern für diesen Zweck kein fahrtbildloses Hauptsignal vorgeschrieben ist. Sperr- und Rangierhaltssignale sind meist als niedrig stehende Signale ausgeführt und haben eine geringere Mindestsichtweite als Haupt- und Vorsignale.

Sperrsignale können einen Haltbegriff für Züge und Rangierfahrten signalisieren. Die Signalisierung der Aufhebung des Fahrverbots an einem Sperrsignal gilt als Zustimmung zur Rangierfahrt. Da der Haltbegriff eines Sperrsignals auch für Züge gilt, müssen Sperrsignale die Aufhebung des Fahrverbots nicht nur als Zustimmung zur Rangierfahrt sondern auch dann anzeigen, wenn eine an einem rückliegenden Hauptsignal beginnende Zugfahrt am Sperrsignal vorbei führt (Abb. 8.16).

Sperrsignale werden in folgenden Fällen verwendet:

- als Flankenschutzeinrichtung mit Schutzwirkung gegen Zug- und Rangierfahrten
- zum Abschluss der zugehörigen Gleise eines Gruppensignals

Abb. 8.16 Sperrsignale am Fahrweg einer Zugfahrt



- zur Begrenzung des Einfahrweges eines Zuges, sofern für diesen Zweck kein fahrtbildloses Hauptsignal vorgeschrieben ist
- zur Unterteilung eines Bahnsteiggleises in mehrere Gleisabschnitte, in die nacheinander mit Zügen eingefahren werden kann, sofern für diesen Zweck kein Hauptsignal vorhanden ist
- an Stellen, wo regelmäßig eine Zustimmung zur Rangierfahrt signalisiert wird, sofern bei der betreffenden Bahn für diesen Zweck keine Rangierhaltssignale angewendet werden.

Rangierhaltssignale signalisieren einen Haltbegriff, der nur für Rangierfahrten gilt. Sie brauchen daher nicht auf Fahrt gestellt zu werden, wenn eine Zufahrt am Signal vorbei führt. Der Fahrtbegriff am Rangierhaltssignal dient ausschließlich als Zustimmung zur Rangierfahrt. Rangierhaltssignale werden in folgenden Fällen verwendet:

- als Flankenschutzeinrichtung mit Schutzwirkung ausschließlich gegen Rangierfahrten
- an Stellen, wo regelmäßig eine Zustimmung zur Rangierfahrt signalisiert wird.

Bei deutschen Eisenbahnen kommen in Neuanlagen überwiegend Sperrsignale in der Ausführung als Lichtsperrsignal zur Anwendung. Lichtsperrsignale zeigen in Haltstellung entweder ein rotes Licht oder zwei rote Lichter waagrecht nebeneinander. Bei Aufhebung des Fahrverbots erscheinen zwei weiße, nach rechts steigende Lichter. Der Fahrtbegriff eines Lichtsperrsignals wird auch an Hauptsignalen gezeigt, um einer Rangierfahrt die Zustimmung zur Vorbeifahrt am Halt zeigenden Hauptsignal zu erteilen. Im Unterschied zu einem reinen Sperrsignal erscheint an einem Hauptsignal die Aufhebung des

Fahrverbots zusammen mit dem Haltbegriff, da das Haltgebot für Züge bestehen bleibt.

Es gibt auch Rangierhaltssignale in Form der sog. Wartezeichen. In Neuanlagen ist die Anwendung von Wartezeichen außerhalb reiner Nebengleisanlagen (z. B. Betriebswerke, Abstellanlagen) jedoch eher unüblich.

In Österreich werden Sperrsignale im hier verwendeten Sinne als Schutzsignale bezeichnet. Diese Schutzsignale, die in der Regel wie Hauptsignale mit hohem Mast ausgeführt sind, zeigen in Haltstellung ein rotes Licht und bei Aufhebung des Fahrverbots zwei weiße Lichter senkrecht übereinander. Schutzsignale werden nur dort angeordnet, wo ein Haltbegriff für Zugfahrten erforderlich ist. Zur reinen Regelung des Rangierbetriebes dienen Versubsignale, deren Haltbegriff nur für Versubfahrten gilt. Versubsignale zeigen in Haltstellung zwei weiße Lichter nebeneinander und in Fahrtstellung zwei weiße Lichter nach rechts steigend. Versubsignale am Mast eines Hauptsignals zeigen keinen Haltbegriff.

In der Schweiz kommen in Neuanlagen nur noch sog. Zwergsignale zu Anwendung, die im hier verwendeten Sinne die Funktion von Sperrsignalen haben. Im Unterschied zur Signalisierung in Deutschland und Österreich sind die schweizerischen Zwergsignale dreibegriffig mit den Signalbegriffen „Halt“ (zwei weiße Lichter waagrecht nebeneinander), „Fahrt mit Vorsicht“ (zwei weiße Lichter nach links steigend) und „Fahrt“ (zwei weiße Lichter senkrecht übereinander).

„Fahrt mit Vorsicht“ bedeutet, dass unmittelbar nach dem Zwergsignal mit einem Hindernis gerechnet werden muss (z. B. einem besetzten Gleis oder einem Halt zeigenden Signal). Bei

„Fahrt“ ist das Gleis bis zum nächsten Zwergsignal frei, und das nächste Zwergsignal zeigt „Fahrt“ oder „Fahrt mit Vorsicht“. Zwergsignale, an denen eine Zugfahrt vorbeiführt, zeigen „Fahrt“, das letzte Zwergsignal vor einem Halt zeigenden Hauptsignal zeigt auch für Züge „Fahrt mit Vorsicht“. Bei Ausfahrten auf die Strecke zeigt das letzte Zwergsignal für Zugfahrten „Fahrt“ und für Rangierfahrten auf die Strecke „Fahrt mit Vorsicht“. Wenn ein Zwergsignal in Höhe der Weichenmitte neben einer Weiche aufgestellt ist, haben Fahrten, denen dieses Zwergsignal in spitz befahrener Richtung Halt gebietet, bereits vor den Weichenzungen anzuhalten. Zwergsignale werden auch am Standort eines Hauptsignals als separates, niedrig stehendes Signal ausgeführt (zugehöriges Zwergsignal eines Hauptsignals) und nicht in die Anzeige am Signalmast des Hauptsignals integriert.

Haltsignale zum Decken von unbefahrten Stellen im Gleis Haltsignale zum Decken unbefahrter Stellen im Gleis werden in folgenden Fällen verwendet:

- zum Abriegeln vorübergehend unbefahrter Gleisabschnitte, z. B. bei Bauarbeiten
- zum behelfswisen Decken eines Zuges oder Zugteiles bei Einfahrt in ein teilweise besetztes Gleis, wenn ein Haupt- oder Sperrsignal nicht zur Verfügung steht
- zum Herstellen eines provisorischen Haltsignals bei außerplanmäßiger Einfahrt in ein Gleis, in dem kein Zielsignal zur Verfügung steht
- an Gleisabschlüssen.

Zum Abriegeln unbefahrter Gleisabschnitte und zum ersatzweisen Herstellen eines Haltsignals wird in Deutschland und Österreich eine Haltscheibe in Form einer rechteckigen roten Tafel mit weißem Rand verwendet. In der Schweiz besteht das analoge Signalbild aus einer runden roten Scheibe mit einem nach rechts steigenden weißen Streifen. Als Nachtzeichen verwenden alle Bahnen ein rotes Licht. In Deutschland und der Schweiz wird diese Signalisierung auch an Gleisabschlüssen verwendet. In Österreich gibt es an Gleisabschlüssen eine davon abweichende Signaltafel (weißer Ring auf schwar-

zem Grund), die im österreichischen Regelwerk als Sperrsignal bezeichnet wird und auch zur Signalisierung aufgelegter Sperrschuhe verwendet wird. In Deutschland sind in Altanlagen auch noch abweichende Signalisierungen an Gleisabschlüssen anzutreffen.

Signale an Weichen und Gleissperren Die Anzeige der Weichenstellung durch Weichensignale ist in folgenden Fällen zwingend erforderlich:

- bei ortsgestellten Weichen
- bei ferngestellten Weichen in Bereichen, wo ohne Fahrstraßensicherung rangiert wird.

Weichensignale in Lichtsignalausführung werden bei elektrisch ortsgestellten Weichen verwendet. Diese zeigen neben der Stellung der Weiche auch die überwachte Endlage an. Gleissperren (in Österreich als Sperrschuhe, in der Schweiz als Entgleisungsvorrichtungen bezeichnet) werden wegen des Gefährdungspotenzials auch in Neuanlagen häufig mit einer drehbaren Laterne oder Scheibe ausgerüstet. Davon kann lediglich abgesehen werden, wenn sichergestellt ist, dass alle Rangierfahrten über die Gleissperre auf verschlossenen Fahrstraßen stattfinden, bei denen sich die Gleissperre in Abhängigkeit vom freigebenden Signal befindet.

Rangierhalttafel Die Rangierhalttafel (in Österreich als Verschiebhalttafel bezeichnet) kennzeichnet die Stelle, bis zu der an einem an einen Bahnhof anschließenden, in Einfahrrichtung befahrenen Streckengleis in Richtung der freien Strecke rangiert werden darf (Abb. 8.17).

Die Rangierhalttafel steht in einem festgelegten Gefahrpunktabstand hinter dem Einfahrsignal. Auf deutschen Eisenbahnen wird die Rangierhalttafel auf zweigleisigen Strecken in der Regel nur am Einfahrgleis aufgestellt, auch auf Strecken mit Zweirichtungsbetrieb (Ausnahmen möglich). Auf dem Ausfahrgleis darf beim Rangieren im erforderlichen Maß ausgezogen werden, solange keine Zugfahrt auf dem Gegengleis stattfindet. Die Grenze, bis zu der rangiert werden darf, wenn sich eine Zugfahrt auf dem Gegengleis nähert, ist in örtlichen Unterlagen festgelegt. In Österreich wird auf zweigleisigen

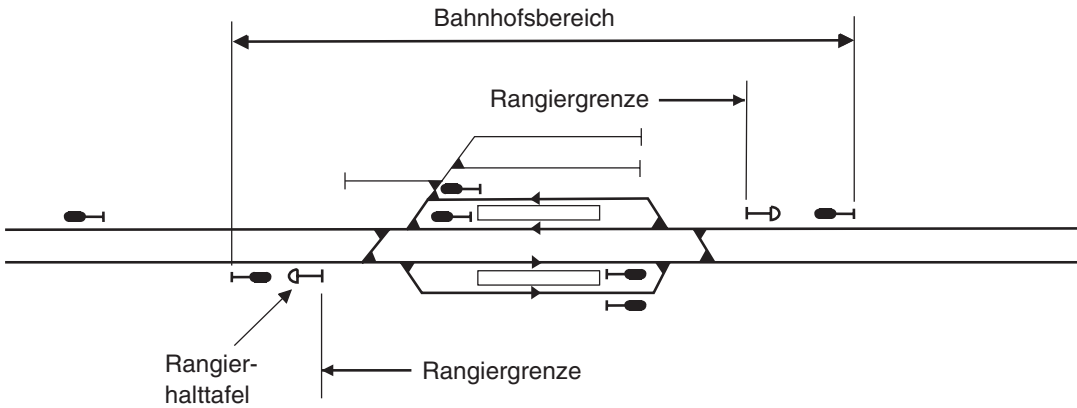


Abb. 8.17 Rangierhalttafel

Strecken mit Zweirichtungsbetrieb an beiden Streckengleisen eine Verschubhalttafel aufgestellt.

In der Schweiz gilt das Einfahrsignal als Rangiergrenze. Auf der Rückseite des Einfahrsignals kann eine Tafel mit dem Signalbild des schweizerischen Rangierhaltsignals angebracht sein. Dieses hat für Rangierbewegungen auf die Strecke keine Gültigkeit.

Grenzzeichen und Isolierzeichen Das *Grenzzeichen* (in Österreich als *Grenzmarke*, in der Schweiz als *Sicherheitszeichen* bezeichnet) kennzeichnet bei zusammenlaufenden Gleisen an Weichen, Kreuzungen und Gleisverschlingungen die Stelle, bis zu der ein Gleis besetzt werden darf, ohne Fahrten auf dem anderen Gleis zu behindern. In Deutschland und der Schweiz ergibt sich die Lage des Grenz- bzw. Sicherheitszeichens rein aus der Gleisgeometrie. In Österreich wird in den Fällen, wo in Gleisen ohne Gleisfreimeldeanlage auf die betreffende Weiche eine Fahrstraßenzugschlussstelle folgt, die Grenzmarke an der Fahrstraßenzugschlussstelle angeordnet. Wenn die Lage der Fahrstraßenzugschlussstellen in beiden Weichensträngen differiert, werden an beiden Gleisen getrennte Grenzmarken vorgesehen. In den Fällen, in denen sich die Grenzmarke durch die Anordnung an der Fahrstraßenzugschlussstelle an einer Stelle befindet, die nicht mehr mit der beim Verschub einzuhaltenen Grenze der Gleisbesetzung übereinstimmt, wird

an letzterer Stelle zusätzlich eine sog. Verschubgrenzmarke angeordnet.

Das *Isolierzeichen* kennzeichnet die Grenze einer Gleisfreimeldeanlage, durch deren Besetzen die Bedienung von Sicherungsanlagen (z. B. das Umstellen von Weichen) verhindert wird. Isolierzeichen werden nur angeordnet, wenn dafür ein betriebliches Bedürfnis besteht und die Grenze der Gleisfreimeldeanlage nicht anderweitig (z. B. durch gelb gestrichene Gleisanschlusskästen) zu erkennen ist.

8.3.2.3 Wichtige Zusatzsignale

Zusatzsignale ersetzen einen schriftlichen Befehl oder ergänzen die Signalanzeige eines Haupt- oder Vorsignals.

Zusatzsignale zur Signalisierung von Geschwindigkeiten

Die Signalisierung unterschiedlicher Geschwindigkeiten durch Zusatzsignale als Ergänzung der Signalanzeige eines Haupt- oder Vorsignals wird in folgenden Fällen vorgesehen, sofern die Geschwindigkeitsinformation nicht bereits durch den Signalbegriff des Haupt- oder Vorsignals ausgedrückt wird:

- wenn im anschließenden Weichenbereich eine ständige Geschwindigkeitsbeschränkung besteht
- wenn fahrstraßenabhängig unterschiedliche Geschwindigkeiten zugelassen sind
- wenn aus einem Bahnhofsgleis wegen Befahrens von Mittelweichen mit unterschiedli-

chen Geschwindigkeiten ausgefahren werden muss

- zur abgestuften Geschwindigkeitssignalisierung bei verkürzten Signalabständen
- bei der Einfahrt in Stumpfgleise und Gleise mit verkürztem oder teilweise besetztem Einfahrweg (nicht bei allen Bahnen üblich, siehe weiter unten folgenden Abschnitt zu Zusatzsignalen zur Signalisierung restriktiver Bahnhofseinfahrten).

Zur Signalisierung der Geschwindigkeiten gibt es drei grundsätzliche Prinzipien:

- a. Für jede Geschwindigkeitsstufe wird sowohl eine Geschwindigkeits-Ankündigung als auch eine Geschwindigkeits-Ausführung signalisiert.
- b. Auf die Signalisierung der Geschwindigkeits-Ankündigung wird bei Mehrabschnittssignalen verzichtet, wenn die Geschwindigkeit des Zuges nicht weiter herabzusetzen ist. Teilweise wird auch auf die Ankündigung einer nur geringfügigen Geschwindigkeitsverringerung verzichtet.
- c. Wie b, zusätzlich wird auf die Signalisierung der Geschwindigkeits-Ausführung verzichtet, wenn ab dem betreffenden Signal die Geschwindigkeit gegenüber der am rückliegenden Signal signalisierten Geschwindigkeits-Ankündigung weiter reduziert werden muss.

Das Verfahren nach a ist bei Geschwindigkeitssignalisierung durch Zusatzsignale unüblich, da es zu einer unnötigen Vermehrung der anzuzeigenden Geschwindigkeitsziffern führen würde. Es ist jedoch bei einigen Signalsystemen mit integrierter Geschwindigkeitssignalisierung zu finden, besonders ausgeprägt beim OSŽD-Signalsystem. Auch das deutsche HV-Signalsystem, das österreichische Signalsystem und schweizerische Signalsystem L sind grundsätzlich diesem Verfahren zuzuordnen.

Das Verfahren nach b wird beim deutschen Ks-Signalsystem verwendet, allerdings nur in den Fällen, in denen die an einem Mehrabschnittssignal signalisierte Geschwindigkeitsbeschränkung bis zum nächsten Hauptsignal gilt. Dies betrifft nach den Regeln des anschließenden Weichenbereichs (Abschn. 8.3.2.2) alle Einfahr- und Zwischensignale, während an Ausfahr- und

Blocksignalen nach dem Verlassen der letzten auf das Signal folgenden Weiche wieder beschleunigt werden darf. Daher wird an Ausfahr- und Blocksignalen, wenn diese bei einem folgenden kurzen Blockabschnitt als Mehrabschnittssignal ausgeführt sind, für eine am nächsten Signal angezeigte Geschwindigkeitsbeschränkung auch dann eine Voranzeige signalisiert, wenn die Geschwindigkeit nicht weiter herabzusetzen ist. Die ab einem Signal geltende Geschwindigkeit wird mit weiß leuchtenden Ziffern und die Voranzeige mit gelb leuchtenden Ziffern dargestellt. Geschwindigkeitsanzeiger und Geschwindigkeitsvoranzeiger können auch allein stehend angeordnet werden, z. B. zur abgestuften Aufwertung der Geschwindigkeit in langen Weichenbereichen. Allein stehende Geschwindigkeitsanzeiger und Geschwindigkeitsvoranzeiger sind auch bei HV-Signalen sowie im ÖBB-Signalsystem möglich.

Das Verfahren nach c kommt beim schweizerischen Signalsystem N zur Anwendung. Dabei kann an einem Signal immer nur eine Geschwindigkeitsziffer gezeigt werden, die je nachdem, ob sie zusammen mit einem grünen oder mit einem gelben Signallicht erscheint, als Geschwindigkeits-Ausführung oder Geschwindigkeits-Ankündigung gilt. Die Stelle, ab der auf der freien Strecke nach einer signalisierten Geschwindigkeits-Ausführung wieder die Streckengeschwindigkeit gilt, wird dem Triebfahrzeugführer durch eine Merktafel angezeigt. Fehlt diese Tafel, gilt eine signalisierte Geschwindigkeitsausführung immer bis zum nächsten Signal. Dem Vorteil, dass der Triebfahrzeugführer eine geringere Informationsmenge aufzunehmen hat, steht eine geringere Flexibilität in der Anwendung gegenüber, da die Geschwindigkeitsanzeige nur zusammen mit einem Haupt- oder Vorsignal gezeigt werden kann. Allein stehende Geschwindigkeitsanzeiger sind nicht möglich.

Zusatzsignale zur Signalisierung der Fahrtrichtung

Eine Signalisierung der Fahrtrichtung kann vorgesehen werden, wenn auf ein Hauptsignal Streckenverzweigungen folgen und am Signalbild des Hauptsignals nicht zu erkennen ist, in welche Richtung die Fahrstraße führt. Diese, für die Führung des Zuges an sich unnö-

tige Information soll es dem Triebfahrzeugführer ermöglichen, im Falle einer Fehlleitung durch Fehler der Fahrdienstleitung oder Fehlfunktion der Zuglenkung den Zug anzuhalten. Eine solche Signalisierung wird jedoch in der Regel nur dort angewendet, wo durch Fehlleitungen von Zügen Betriebsgefährdungen oder erhebliche Betriebsbehinderungen entstehen können. Dies ist insbesondere in folgenden Fällen gegeben:

- bei Überleitung einer elektrifizierten in eine nicht elektrifizierte Strecke
- bei Überleitung in eine Strecke mit eingeschränktem Lichtraumprofil (z. B. S-Bahn)
- bei Überleitung in eine Strecke mit einer niedrigeren zulässigen Geschwindigkeit
- bei Überleitung in eine Strecke mit technisch nicht gesicherten Bahnübergängen oder Bahnübergängen mit besonderen Einschaltkriterien.

Als Zusatzsignale zur Signalisierung der Fahrtrichtung kommen bei allen betrachteten Bahnen weiß leuchtende Kennbuchstaben zur Anwendung. In Deutschland und Österreich wird in bestimmten Fällen (Durchfahrwege mit höheren Geschwindigkeiten) eine Voranzeige in Form eines gelb leuchtenden Buchstabens vorgesehen. In der Schweiz werden Richtungsanzeiger nur in Verbindung mit Hauptsignalen des Signalsystems L verwendet. Im Signalsystem N wird auf die Richtungssignalisierung vollständig verzichtet. In Deutschland werden Richtungsanzeiger bei Parallelführung mehrerer, alternativ nutzbarer eingleisiger Strecken auch dazu benutzt, dem Triebfahrzeugführer anzuzeigen, in welches Streckengleis die Fahrstraße führt.

Zusatzsignale zur ersatzweisen Erteilung der Zustimmung zur Zugfahrt Zusatzsignale zur ersatzweisen Erteilung der Zustimmung zur Zugfahrt ersetzen den schriftlichen Befehl des Fahrdienstleiters zur Vorbeifahrt an einem Halt zeigenden oder gestörten Hauptsignal. Sie dienen durch Einsparung des Zeitbedarfs für das Ausstellen und Übermitteln eines schriftlichen Befehls der Betriebsbeschleunigung bei Störungen und Abweichungen vom Regelbetrieb. Sol-

che Zusatzsignale werden in zwei Ausführungen verwendet:

- Zusatzsignale, die den Auftrag zur Vorbeifahrt am Halt zeigenden oder gestörten Hauptsignal erteilen und nach dem Passieren des anschließenden Weichenbereichs die Weiterfahrt mit der im Fahrplan festgelegten zulässigen Geschwindigkeit gestatten
- Zusatzsignale, die den Auftrag zur Vorbeifahrt am Halt zeigenden oder gestörten Hauptsignal erteilen und anschließend das Fahren auf Sicht bis zum nächsten Hauptsignal vorschreiben.

In beiden Fällen hat der Fahrdienstleiter sicherzustellen, dass der Fahrweg des Zuges gesichert ist. Das Zusatzsignal ohne Auftrag zum Fahren auf Sicht wird in Deutschland und Österreich als *Ersatzsignal* bezeichnet, in der Schweiz existiert ein solches Signal nicht. Es wird bei beiden Bahnen durch ein weißes Blinklicht dargestellt, in Deutschland gibt es im Bereich der ehemaligen Deutschen Bundesbahn in Anlagen mit HV-Signalen das Ersatzsignal auch in Form von drei weißen Lichtern in Form eines „A“. Die Anwendung des Ersatzsignals setzt voraus, dass der Fahrdienstleiter zusätzlich zur Fahrwegsicherung feststellen kann, dass der zu befahrende Gleisabschnitt frei ist. Dies ist in zentralisierten Steuerbereichen immer seltener möglich, weshalb das Ersatzsignal zunehmend an Bedeutung verliert. Das Zusatzsignal mit Auftrag zum Fahren auf Sicht wird überall dort angewandt, wo das Freisein eines Gleisabschnitts nicht festgestellt werden kann. Ein solches Signal wird in Deutschland und Österreich als *Vorsichtsignal* und in der Schweiz als *Hilfssignal* bezeichnet. Das zugehörige Signalbild besteht in Deutschland aus drei gelben Lichtern in Form eines „V“, in Österreich aus einem roten Blinklicht (zusätzlich zum roten Signallicht des Hauptsignals), in der Schweiz im Signalsystem L aus einem nach rechts steigenden gelben Lichtstreifen und im Signalsystem N aus einem roten Blinklicht durch Blinken des roten Signallichtes des Hauptsignals.

Zusatzsignale zur Signalisierung restriktiver Bahnhofseinfahrten Unter restriktiven Bahnhofseinfahrten werden hier durch Hauptsignal zugelassene Einfahrten in Bahnhofsgleise ver-

standen, die auch im Regelbetrieb eine besondere Vorsicht erfordern. Dazu zählen:

- Einfahrten in Stumpfgleise und andere Gleise ohne Durchrutschweg
- Einfahrten mit verkürztem Einfahrweg; dazu zählen auch Einfahrten in teilweise besetzte Bahnhofsgleise, bei denen der besetzte Teil des Gleises durch ein Haltsignal gesichert ist
- Einfahrten in teilweise besetzte Bahnhofsgleise ohne Sicherung durch ein Haltsignal.

Die dafür üblichen Signalisierungsgrundsätze weichen bei den einzelnen Bahnen stärker voneinander ab. Bei der Deutschen Bahn AG wird bei Einfahrten in Stumpfgleise und Gleise ohne Durchrutschweg entweder durch Geschwindigkeitsanzeiger eine Einfahrtsgeschwindigkeit von 30 km/h signalisiert (traditionelle Lösung im Bereich der ehemaligen Deutschen Bundesbahn) oder der *Stumpfgleis- und Frühhaltanzeiger* (nach links umgelegtes, gelb leuchtendes „T“) zusammen mit einer Geschwindigkeitsbeschränkung auf 40 km/h gezeigt (traditionelle Lösung im Bereich der ehemaligen Deutschen Reichsbahn). Bei Einfahrten in teilweise besetzte Gleise, bei denen der bereits im Bahnhofsgleis befindliche Zug- oder Zugteil durch ein Haltsignal gedeckt wird, wird entweder eine Einfahrtsgeschwindigkeit von 20 km/h signalisiert (traditionelle Lösung im Bereich der ehemaligen Deutschen Bundesbahn) oder ebenfalls der Stumpfgleis- und Frühhaltanzeiger zusammen mit einer Geschwindigkeitsbeschränkung auf 40 km/h gezeigt (traditionelle Lösung im Bereich der ehemaligen Deutschen Reichsbahn). Als Zugdeckungssignal für den besetzten Teil des Bahnhofsgleises wird in der Regel ein Sperrsignal verwendet (Abschn. 8.3.2.2), das in Grundstellung, auch bei besetztem Bahnhofsgleis, betrieblich abgeschaltet ist (dunkler Signalschirm mit einem weißen Kennlicht) und nur dann einen Haltbegriff zeigt, wenn es als Zielsignal einer Einfahrstraße bedient wird. Alternativ kann auch ein fahrtdildloses Hauptsignal vorhanden sein. Dieses zeigt in Grundstellung Halt und wird betrieblich abgeschaltet, wenn eine Zugfahrt am Signal vorbei führt. Neuerdings sind bei der Deutschen Bahn AG auch Einfahrten in teilweise besetzte Bahnhofsgleise zugelassen, ohne dass

der besetzte Teil des Gleises durch ein Haltsignal gesichert ist. In diesem Fall wird immer eine Einfahrtsgeschwindigkeit von 20 km/h signalisiert.

In Österreich wird bei verkürztem Einfahrweg eine Einfahrtsgeschwindigkeit von 20 km/h oder 30 km/h signalisiert. Als Zugdeckungssignal für den besetzten Teil des Bahnhofsgleises wird in der Regel ein Schutzsignal verwendet (Abschn. 8.3.2.2). Bei Einfahrten in Stumpfgleise ohne gleichzeitige Verkürzung des Einfahrweges gilt eine Einfahrtsgeschwindigkeit von 40 km/h. Einfahrten in teilweise besetzte Gleise ohne Deckung des besetzten Teils durch ein Haltsignal sind in Österreich unzulässig.

In der Schweiz werden im Signalsystem N Einfahrten mit verkürztem Einfahrweg durch das Zusatzsignal *Kurze Fahrt* (waagerechter, gelb blinkender Lichtstreifen) signalisiert. Im Signalsystem L wird Kurze Fahrt nicht durch ein Zusatzsignal, sondern einen besonderen Hauptsignalbegriff (gelb über gelb) signalisiert. Der besetzte Teil des Bahnhofsgleises ist dabei immer durch ein Hauptsignal gedeckt. Bei Einfahrten in teilweise besetzte Bahnhofsgleise ohne Deckung des besetzten Teils durch ein Haltsignal erscheint am Einfahrtssignal als Zusatzsignal das *Besetztsignal* (waagerechter gelber Lichtstreifen). Mindestens 200 m vor dem Gleisabschnitt, der besetzt sein kann, wird durch ein Zwergsignal „Fahrt mit Vorsicht“ signalisiert (Abschn. 8.3.2.2). Alle folgenden Zwergsignale bis zum besetzten Abschnitt zeigen ebenfalls „Fahrt mit Vorsicht“. Bei Einfahrten in Stumpfgleise ohne gleichzeitige Verkürzung des Einfahrweges gilt wie in Österreich eine Einfahrtsgeschwindigkeit von 40 km/h. Tabelle 8.2 gibt einen Überblick über die Verfahren zur Signalisierung restriktiver Bahnhofseinfahrten.

Zusatzsignale für Fahrten gegen die gewöhnliche Fahrtrichtung Die betrieblichen Regeln für Fahrten gegen die gewöhnliche Fahrtrichtung differieren bei den betrachteten Bahnen erheblich, so dass hier auf Einzelheiten nicht eingegangen werden kann. Zusatzsignale, die dem Triebfahrzeugführer anzeigen, dass der Fahrweg in das Gegengleis einer zweigleisigen Strecke führt, gibt es nur in Deutschland. Wenn Züge mit

Tab. 8.2 Verfahren zur Signalisierung restriktiver Bahnhofseinfahrten

| Bahnunternehmen | Einfahrt in | | |
|-----------------|--|---------------------------|--|
| | Gleis mit verkürztem Einfahrweg | teilweise besetztes Gleis | Stumpfgleis |
| DB | 20 km/h oder 40 km/h + Stumpfgleis- und Frühhaltanzeiger | 20 km/h | 30 km/h oder 40 km/h + Stumpfgleis- und Frühhaltanzeiger |
| ÖBB | 20 km/h oder 30 km/h | – | 40 km/h |
| SBB | Signal Kurze Fahrt | Besetztsignal | 40 km/h |

Hauptsignal in das Gegengleis eingelassen werden, erscheint zusammen mit dem Fahrtbegriff des Hauptsignals der Gegengleisanzeiger (nach links steigender, weiß leuchtender Lichtstreifen; die Enden können senkrecht abgebogen sein). An Hauptsignalen, an denen alle Fahrstraßen ins Gegengleis führen (z. B. während Bauarbeiten), kann der Gegengleisanzeiger auch als Signaltafel ausgeführt sein. Der Gegengleisanzeiger kann entweder direkt am Hauptsignal oder allein stehend nach dem Zusammenlauf mehrerer Fahrwege aber vor der Überleitung ins Gegengleis angeordnet sein.

Wenn Züge ohne Fahrtbegriff am Hauptsignal in das Gegengleis eingelassen werden sollen, kann als ersatzweise Signalisierung das Gegengleisfahrersatzsignal vorhanden sein. Dieses besteht aus dem blinkenden Signalbild des Gegengleisanzeigers und wird zusammen mit dem Haltbegriff des Hauptsignals gezeigt. Die Bedeutung entspricht dem Ersatzsignal mit der Zusatzinformation, dass der Fahrweg ins Gegengleis führt. Bei allein stehendem Gegengleisanzeiger ist die Anwendung des Gegengleisfahrersatzsignals nicht möglich.

8.3.2.4 Signalisierung der zulässigen Geschwindigkeit der Strecke

Die Signalisierung der zulässigen Geschwindigkeit der Strecke erfolgt bei allen betrachteten Bahnen durch Signaltafeln unterschiedlicher Ausführung. Dabei sind drei Verfahren zu unterscheiden:

- Die zulässige Geschwindigkeit der Strecke wird mit allen Geschwindigkeitswechseln durchgehend signalisiert.
- Es werden nur Geschwindigkeitswechsel mit Verminderung der zulässigen Geschwindigkeit signalisiert (und i. d. R. erst ab einer

bestimmten Größe des Geschwindigkeitswechsels).

- Es werden nur Anfang und Ende von Gleisabschnitten mit verminderter Geschwindigkeit signalisiert („ständige Langsamfahrstellen“).

Die durchgehende Signalisierung aller Geschwindigkeitswechsel ist heute die Standardlösung in Deutschland und Österreich. Bei der Deutschen Bahn AG ist während einer Übergangszeit in bestehenden Anlagen im Bereich der ehemaligen Deutschen Bundesbahn noch die Beschränkung der örtlichen Signalisierung auf Geschwindigkeitswechsel mit Verminderung der zulässigen Geschwindigkeit zugelassen (frühere Standardlösung der Deutschen Bundesbahn). Im Schweizer Regelwerk ist sowohl die durchgehende Signalisierung der Geschwindigkeitswechsel als auch das Verfahren der Signalisierung „ständiger Langsamfahrstellen“ zugelassen.

8.4 Flankenschutz der Fahrwege

Flankenschutzmaßnahmen sollen verhindern, dass ein Zug durch in seinen Fahrweg einmündende Fahrten (sog. Flankenfahrten) gefährdet wird. Flankengefährdungen sind möglich durch:

- feindliche Zugfahrten
- feindliche Rangierfahrten
- unbeabsichtigt ablaufende Wagen
- das Strecken von Zügen nach der Einfahrt.

8.4.1 Flankenschutz gegen feindliche Zugfahrten

Der Flankenschutz gegen feindliche Zugfahrten kann bewirkt werden durch:

- Fahrstraßenausschlüsse

- Schutzweichen.

Zwei Fahrwege, die nicht in ihrer ganzen Länge getrennt voneinander verlaufen, sind gegenseitig auszuschließen. Zur Fahrweglänge rechnet auch der Durchrutschweg. In Deutschland kann von einem gegenseitigen Ausschluss abgesehen werden, wenn ein Zusammenstoß nur eintreten kann, wenn beide Züge gleichzeitig durchrutschen. Dies ist auch in der Schweiz zulässig, allerdings erst in einem bestimmten Mindestabstand hinter dem Hauptsignal. In Österreich existieren Durchrutschwege nur noch in Form der sehr kurzen Schutzwege. Ausschlüsse durch Konflikte zwischen Schutzwegen sind sehr unwahrscheinlich.

8.4.2 Flankenschutz gegen feindliche Rangierfahrten und unbeabsichtigt ablaufende Wagen

Der Flankenschutz gegen feindliche Rangierfahrten kann durch unmittelbare oder mittelbare Flankenschutzmaßnahmen gewährleistet werden. Unmittelbarer Flankenschutz wird durch Flankenschutzeinrichtungen bewirkt. Als Flankenschutzeinrichtungen können Schutzweichen, Gleissperren (Sperrschuhe, Entgleisungsvorrichtungen) und Halt zeigende Signale verwendet werden. Im Unterschied dazu wird mittelbarer Flankenschutz nicht mit Flankenschutzeinrichtungen, sondern nur durch betriebliche Anordnungen (Rangier- und Abstellverbote) bewirkt. Heute wird in der Regel der unmittelbare Flankenschutz verwendet. Der Flankenschutz gegen unbeabsichtigt ablaufende Wagen ist nur unmittelbar durch Schutzweichen oder Gleissperren zu bewirken. Gleissperren werden als Flankenschutzeinrichtung vorgesehen, wenn Schutz vor unbeabsichtigt ablaufenden Wagen erforderlich, jedoch eine Schutzweiche nicht vorgeschrieben ist. Dies ist meist dort der Fall, wo ein Nebengleis, auf dem regelmäßig Fahrzeuge abgestellt werden, in ein Hauptgleis einmündet.

8.4.3 Flankenschutz gegen das Strecken von Zügen

Sind zum Schutz gegen das Strecken von Zügen keine Fahrwegweichen mit Flankenschutzfunktion vorhanden, so kann der Streckenschutz durch Anordnung von Streckeschutzlängen gewährleistet werden. Bei einfachen Verhältnissen lässt sich die Streckeschutzlänge durch Verlängerung des Freimeldeabschnitts der Verzweigungsweiche realisieren. Günstiger ist die Anordnung eines besonderen Freimeldeabschnitts hinter der Verzweigungsweiche. Zur Fahrstraßenauflösung muss dieser Streckeschutzabschnitt von einem einfahrenden Zug freigefahren werden, kann aber anschließend durch das Strecken des Zuges wieder besetzt werden, ohne das Umstellen der Weiche zu behindern [14].

8.4.4 Erfordernis von Schutzweichen

Halt zeigende Signale sind als Flankenschutzeinrichtung auskömmlich, wenn auf dem einmündenden Gleis kein starker Rangierverkehr herrscht und nicht regelmäßig Fahrzeuge abgestellt werden. Dies ist an Abzweig- und Überleitstellen immer gegeben. In Bahnhöfen ist bei einmündenden Hauptgleisen die Frage, ob Flankenschutz durch ein Halt zeigendes Signal ausreichend oder eine Schutzweiche erforderlich ist, häufig nicht pauschal zu beantworten. Das Flankenfahrtrisiko hängt im Einzelfall von folgenden Einflussgrößen ab:

- Art und Anzahl der Züge auf dem zu schützenden und dem einmündenden Fahrweg
- zulässige Geschwindigkeiten der Züge
- Anzahl der Rangierfahrten und Abstellvorgänge auf dem einmündenden Fahrweg
- Vorhandensein von Sicherheitseinrichtungen, die das Flankenfahrtrisiko reduzieren (Zugbeeinflussung, Gleisfreimeldeanlagen)
- örtliche Besonderheiten, die die Unfall schwere beeinflussen können.

Die einzelnen Bahnen haben unterschiedliche Regeln, welche dieser Einflussgrößen zur Beurteilung des Erfordernisses einer Flankenschutzweiche herangezogen werden. Der Flankenschutz

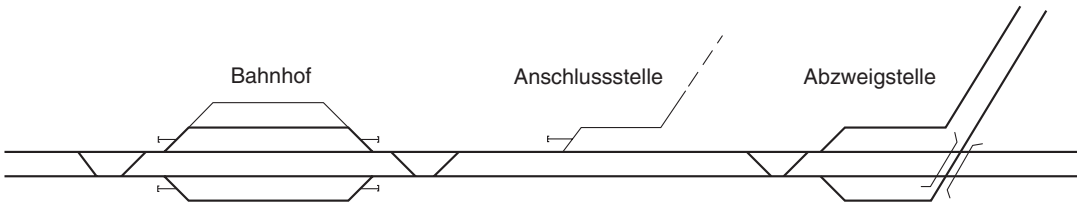


Abb. 8.18 Charakteristische Anwendung von Schutzweichen auf einer Hochgeschwindigkeitsstrecke

für Gleise mit einer zulässigen Geschwindigkeit von mehr als 160 km/h muss in Bahnhöfen und Anschlussstellen aber generell durch Schutzweichen bewirkt werden (Abb. 8.18).

8.5 Bauen im Betrieb

8.5.1 Sicherung von Arbeitsstellen im Gleis

8.5.1.1 Der Gefahrenbereich des Gleises

Der Gefahrenbereich eines Gleises (in Österreich als Gefahrenraum, in der Schweiz als Gleisbereich bezeichnet) ist der Bereich auf und neben einem Gleis, in dem Mitarbeiter durch vorbeifahrende Züge gefährdet werden können. Die Gefahr geht dabei insbesondere von der geschwindigkeitsabhängigen Druckwelle aus, durch die zu nahe am Gleis stehende Mitarbeiter mitgerissen oder durch herum fliegende Teile gefährdet werden können. Der Gefahrenbereich ist nicht mit der Breite des Lichtraums identisch, er kann je nach Geschwindigkeit das Lichtraumprofil unter- oder überschreiten. Außerhalb des Gefahrenbereichs muss ein ausreichender Sicherheitsraum (in der Schweiz als Fluchtraum bezeichnet) zur Verfügung stehen, in dem sich Mitarbeiter bei der Vorbeifahrt von Zügen sicher aufhalten können. Bei der Planung von Strecken mit mehr als zwei parallelen Streckengleisen sind die Sicherheitsräume bei der Planung der Gleisabstände zu berücksichtigen. Abbildung 8.19 und Tab. 8.3 zeigen die Größe von Gefahrenbereich und Sicherheitsraum nach den in Deutschland geltenden Regeln.

8.5.1.2 Einteilung der Sicherungsmaßnahmen

Hinsichtlich ihrer Wirksamkeit sind Sicherungsmaßnahmen im Gleisbereich wie folgt zu reihen:

- Organisatorische Maßnahmen zum Ausschluss von Gefährdungen der Mitarbeiter aus dem Zugbetrieb, z. B. Gleissperrungen (evtl. in Kombination mit Absperrungen oder sichtbaren Abgrenzungen) oder Einrichtung von Schutz-Langsamfahrstellen zur Verringerung der erforderlichen Gefahrenräume
- Einsatz technischer Sicherungseinrichtungen wie automatische Ankündigungs- und Warnanlagen
- Einsatz von Sicherungsposten.

In Deutschland dürfen Arbeiten in Gleisen, die mit mehr als 200 km/h befahren werden, nur im gesperrten Arbeitsgleis ausgeführt werden. In der Schweiz gilt diese Regel bereits bei Geschwindigkeiten von mehr als 160 km/h.

8.5.1.3 Einsatz von Sicherungsposten

Da es nicht möglich ist, bei allen Bau- und Instandhaltungsarbeiten im Gleisbereich die betreffenden Gleise immer zu sperren, spielt die Baustellensicherung durch Sicherungsposten (in der Schweiz als Sicherheitswärter bezeichnet) noch immer eine wichtige Rolle. Dieses Sicherungsverfahren kann in folgenden Fällen zur Anwendung kommen:

- bei Arbeiten in nicht gesperrten Gleisen und
- bei Arbeiten in gesperrten Gleisen, wenn Mitarbeiter durch Fahrten auf nicht gesperrten Nachbargleisen gefährdet werden können.

Das Prinzip besteht darin, dass ein oder mehrere Sicherungsposten in der Nähe der Arbeitsstelle platziert werden, um bei sich nähernden Zügen Warnsignale zu geben. Die Warnsignale werden meist mit einem Druckluft-Signalthorn (Tyfon)

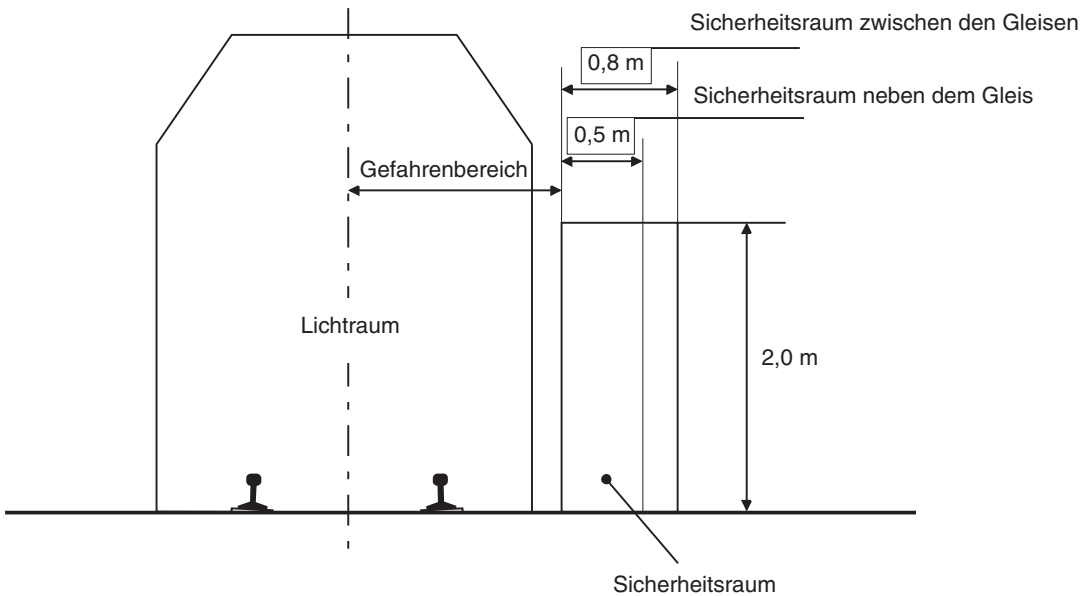


Abb. 8.19 Gefahrenbereich und Sicherheitsraum nach deutschen Regeln

Tab. 8.3 Breite des Gefahrenbereichs nach den Regeln der Deutschen Bahn AG

| Zulässige Geschwindigkeit | Breite des Gefahrenbereichs ab Gleismitte |
|---------------------------|---|
| ≤ 40 km/h | 1,85 m |
| ≤ 50 km/h | 2,00 m |
| ≤ 70 km/h | 2,10 m |
| ≤ 90 km/h | 2,20 m |
| ≤ 120 km/h | 2,30 m |
| ≤ 140 km/h | 2,40 m |
| ≤ 160 km/h | 2,50 m |
| > 160 km/h | 3,00 m |

gegeben, dessen Signale den Maschinenlärm der Baustelle sicher übertönen. Bei Baustellen mit geringem Arbeitslärm kann auch ein mundgeblasenes Signalhorn benutzt werden. Dabei kommen die Signale gemäß Tab. 8.4 zur Anwendung.

Die akustischen Signale können durch optische Signale (Blink- oder Rundumleuchten) ergänzt oder ersetzt werden. Wenn beim Räumen des Arbeitsgleises nach einer bestimmten Seite aus dem Gleis zu treten ist, um nicht versehentlich in den Gefahrenbereich eines anderen Gleises zu geraten, kann es erforderlich sein, die Gleisseite, auf der sich der Sicherheitsraum be-

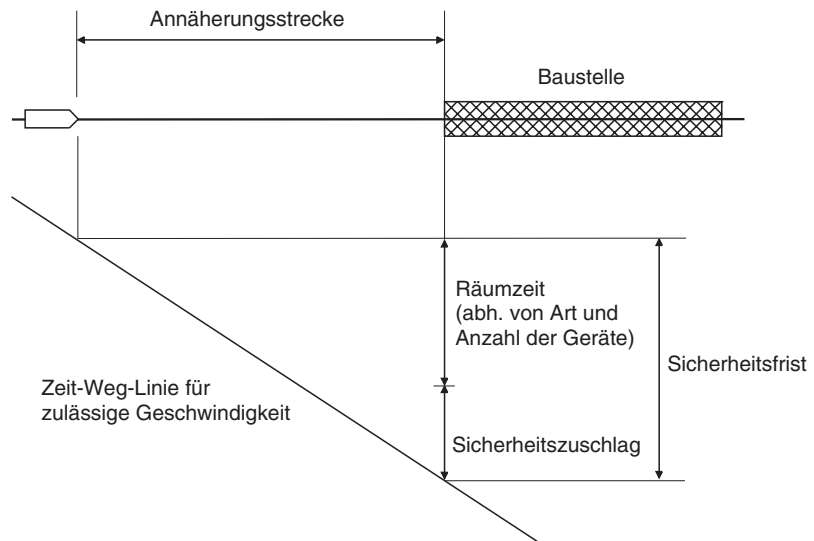
findet, besonders zu kennzeichnen. In Deutschland wird dazu das sog. Fahnschild (fahnenförmige weiße Blechtafel mit schwarzem Rand und einer pfeilförmig eingeschnittenen Schmalseite) benutzt.

Die Signale des Sicherungspostens sind so rechtzeitig zu geben, dass die Mitarbeiter das Arbeitsgleis ohne Hast verlassen und Arbeitsgeräte aus dem Gleis entfernen können. Es ist aber auch eine zu frühzeitige Warnung zu vermeiden, damit sich die Mitarbeiter nicht daran gewöhnen, den Zeitpunkt der Warnung zu ignorieren und unzeitig spät aus dem Gleis zu treten. Zur Bestimmung des optimalen Warnzeitpunktes wird für jede Baustelle eine Annäherungsstrecke berechnet. Die Warnung ist zu geben, wenn der Zug den Beginn der Annäherungsstrecke erreicht. Die Annäherungsstrecke ergibt sich aus der zulässigen Geschwindigkeit der Strecke und der Sicherheitsfrist der Baustelle. Die Sicherheitsfrist ist die Zeitspanne, die zum sicheren Räumen des Arbeitsgleises benötigt wird. Sie setzt sich aus der Räumzeit (abhängig von Anzahl und Art der Geräte) und einem Sicherheitszuschlag (nach deutschen Regeln 15 s) zusammen (Abb. 8.20).

Wenn an der Baustelle eine Langsamfahrstelle eingerichtet ist, reduziert sich die Annäherungs-

Tab. 8.4 Warnsignale des Sicherungspostens

| Signal | Klangbild | Bedeutung |
|------------------------------------|--|---|
| Vorsicht, Fahrt im Nachbargleis! | Ein langer Ton, möglichst als Mischklang aus zwei verschieden hohen Tönen (Fanfare) | Der Gefahrenbereich des Nachbargleises ist unverzüglich zu räumen |
| Arbeitsgleise räumen! | Zwei lange (in Österreich zwei kurze und mehrfach wiederholte) Töne nacheinander, möglichst in verschiedener Tonlage | Der Gefahrenbereich der Arbeitsgleise ist unverzüglich zu räumen und Aufstellung im Sicherheitsraum zu nehmen |
| Arbeitsgleise schnellstens räumen! | Mindestens fünfmal (in der Schweiz viermal) zwei kurze Töne, möglichst in verschiedener Tonlage | Dieses Signal dient als Notsignal für den Fall, dass der Sicherungsposten einen sich nähernden Zug zu spät bemerkt hat und eine unmittelbare Gefahr für die Mitarbeiter besteht. In Österreich wird dieses Signal nicht verwendet |

Abb. 8.20 Annäherungsstrecke (Beispiel ohne Langsamfahrstelle)

strecke um die der Bremszuschlagzeit zum Abbremsen von der zulässigen Geschwindigkeit der Strecke auf die zulässige Geschwindigkeit im Baustellenbereich entsprechende Wegstrecke. Bei beschränkter Sicht auf den Beginn der Annäherungsstrecke (z. B. in Gleisbögen) ist eine Kette von Sicherungsposten einzusetzen, die sich die Warnsignale gegenseitig weitergeben. In diesen Fällen ist bei der Festsetzung der Annäherungsstrecke die Zeit für das Weitergeben der Warnsignale vom Außenposten, der den sich nähernden Zug bemerkt, bis zu den Innenposten an der Baustelle zu berücksichtigen.

Wenn Fahrten in einem gesperrten Arbeitsgleis verkehren, kann auf Sicherungsposten verzichtet werden, wenn die Triebfahrzeugführer angewiesen sind, vor der Arbeitsstelle zu halten und die Mitarbeiter durch Achtungssignal mit der Triebfahrzeugpfeife zu warnen.

8.5.1.4 Automatische Warn- und Ankündigungsanlagen

Automatische *Warnanlagen* ersetzen den Sicherungsposten, indem am Beginn der Annäherungsstrecke ein Gleisschaltmittel installiert wird, bei dessen Befahren optische und/oder akustische Warneinrichtungen in Aktion treten.

Zur Reduktion der Lärmbelästigung für Anwohner existieren auch Lösungen, die die akustische Warnung über Funkkopfhörer in die Helme der Mitarbeiter übertragen, so dass ein den Baustellenlärm übertönendes Tyfon entbehrlich ist. Bei der Anwendung von Warnanlagen ist zu beachten, dass die Montage und Demontage der Anlage als Arbeit im Gefahrenbereich der Gleise ausgeführt und durch Sicherungsposten gesichert werden muss.

Ankündigungsanlagen informieren den Sicherungsposten durch Verbindung mit einem benachbarten Stellwerk über Zugfahrten in Richtung der Arbeitsstelle. Auf Schnellfahrstrecken besteht dabei die Regel, dass ein Zug in Richtung der Arbeitsstelle erst dann abgelassen werden darf, wenn die Mitarbeiter das Arbeitsgleis geräumt haben. Zu diesem Zweck wird eine sicherungstechnische Abhängigkeit zwischen den in Richtung der Arbeitsstelle weisenden Hauptsignalen der benachbarten Betriebsstellen eingerichtet. Wenn der Fahrdienstleiter eine Fahrstraße in Richtung der Arbeitsstelle einstellt, bleibt das Signal zunächst in der Haltstellung und an der Ankündigungsanlage erscheint eine Meldeanzeige für den Sicherungsposten. Der Sicherungsposten lässt daraufhin das Arbeitsgleis räumen und betätigt anschließend eine Quittungstaste an der Ankündigungsanlage. Erst nach dieser Quittungsbedienung geht das Signal auf Fahrt. Problematisch ist bei diesem Verfahren, dass in Abhängigkeit von der Entfernung der Arbeitsstelle von der benachbarten Betriebsstelle das Gleis sehr früh geräumt werden muss, was den Arbeitsablauf ggf. behindern kann.

8.5.2 Betriebliche Maßnahmen zur Durchführung von Baumaßnahmen

8.5.2.1 Gleissperrungen

Eine Gleissperrung (in Österreich und der Schweiz als Gleissperre bezeichnet) ist eine betriebliche Maßnahme, durch die das Befahren eines Gleises im Regelbetrieb verhindert wird. Eine Gleissperrung kann im Voraus angeordnet sein (planmäßige Sperrung) oder durch Unfälle

oder Betriebsstörungen notwendig werden (unvorhergesehene Sperrung). Bei der Durchführung von Baumaßnahmen ist ein Gleis in folgenden Fällen zu sperren:

- wenn das Gleis aufgrund der Baumaßnahme nicht befahren werden kann
- wenn das Gleis zum Schutz der Mitarbeiter an einer Baustelle nicht befahren werden darf
- wenn die betriebliche Abwicklung der Baumaßnahme die Durchführung von Fahrten erfordert, die nur in gesperrten Gleisen verkehren dürfen.

Die Gleissperrung spricht der zuständige Fahrdienstleiter aus. Sofern das gesperrte Gleis für die Durchführung der Bauarbeiten nicht vorübergehend außer Betrieb genommen wird (Abschn. 8.5.2.2), werden alle Fahrten im gesperrten Gleis weiterhin vom Fahrdienstleiter überwacht. Nach Ausführung von Bauarbeiten darf die Sperrung erst wieder aufgehoben werden, wenn

- durch den Fahrdienstleiter festgestellt wurde, dass alle Fahrzeuge das gesperrte Gleis verlassen haben (gilt nicht für vorübergehend außer Betrieb genommene Gleise, Abschn. 8.5.2.2)
- die zuständige Fachkraft der bauausführenden Stelle dem Fahrdienstleiter die Befahrbarkeit des Gleises gemeldet hat.

8.5.2.2 Vorübergehende

Außerbetriebnahme von Gleisen

Bei umfangreichen Baumaßnahmen, bei denen in einem gesperrten Gleis eine größere Anzahl von Fahrten durchzuführen sind, ist es betrieblich vorteilhaft, dieses Gleis vorübergehend für den Zugverkehr außer Betrieb zu nehmen und die Betriebsführung auf diesem Gleis der bauausführenden Stelle in eigener Verantwortung zu überlassen. In Deutschland und Österreich wird ein solches, vorübergehend außer Betrieb genommenes Gleis als *Baugleis* bezeichnet. Fahrten im Baugleis gelten als Rangierfahrten und werden vom Fahrdienstleiter nicht überwacht. In der Schweiz wird ein vergleichbares Verfahren als *Vereinfachtes Vorgehen bei gesperrtem Streckengleis* bezeichnet. In diesem Fall werden die Fahrten im gesperrten Gleis als Rangierbewegungen unter Verantwortung des Sicherheitschefs der

Baustelle durchgeführt, die Regeln für Rangierbewegungen auf die Strecke kommen nicht zur Anwendung.

VorAufhebung der Gleissperrung eines vorübergehend außer Betrieb genommenen Gleises muss die zuständige Fachkraft der bauausführenden Stelle dem Fahrdienstleiter neben der Befahrbarkeit auch das Freisein des Gleises melden.

8.5.2.3 Vorübergehende Langsamfahrstellen

Vorübergehende Langsamfahrstellen können bei Baumaßnahmen aus folgenden Gründen erforderlich werden:

- Herabsetzung der Lagestabilität des Gleises durch Eingriff in den Bahnkörper
- vorübergehende Außerbetriebnahme von Sicherungsanlagen
- Verringerung des erforderlichen Gefahrenraumes eines Nachbargleises zum Schutz von Mitarbeitern an der Arbeitsstelle (Schutz-Langsamfahrstelle)
- Einsatz von Hilfskonstruktionen der Oberleitung, die nicht mit voller Geschwindigkeit befahren werden dürfen.

Vorübergehende Langsamfahrstellen werden am Gleis durch Signaltafeln signalisiert und dem Triebfahrzeugführer zusätzlich in schriftlicher Form bekannt gegeben.

8.5.2.4 Vorübergehendes Befahren eines Streckengleises gegen die gewöhnliche Fahrtrichtung

Bauarbeiten auf zweigleisigen Strecken mit Sperrung eines Streckengleises erfordern zur Weiterführung des Betriebes das Befahren des nicht gesperrten Gleises im Zweirichtungsbetrieb. Auf zweigleisigen Strecken, deren Gleise sicherungstechnisch für Zweirichtungsbetrieb ausgerüstet sind, können dafür die vorhandenen Sicherungsanlagen benutzt werden. Auf zweigleisigen Strecken, die sicherungstechnisch nur für Einrichtungsbetrieb ausgerüstet sind, muss das Befahren eines Streckengleises gegen die gewöhnliche Fahrtrichtung vorübergehend eingerichtet werden. Dabei bestehen folgende grundsätzliche Möglichkeiten:

- vorübergehende Umrüstung des betreffenden Streckengleises auf technisch gesicherten Zweirichtungsbetrieb,
- Sicherung der Zugfahrten im gegen die gewöhnliche Fahrtrichtung befahrenen Streckengleis mit nichttechnischen Verfahren.

Die Sicherung von Fahrten auf dem Gegengleis mit nichttechnischen Verfahren ist nur vertretbar, wenn während der Gleissperrung nur wenige Züge das Streckengleis gegen die gewöhnliche Fahrtrichtung befahren. Bei allen umfangreicheren Baumaßnahmen sollte immer ein technisch gesicherter Zweirichtungsbetrieb nachgerüstet werden. Dies umfasst folgende Maßnahmen:

- Einrichtung von Fahrstraßen mit Hauptsignalbedienung für die Ausfahrten auf das gegen die gewöhnliche Fahrtrichtung befahrene sowie für die Einfahrten von dem gegen die gewöhnliche Fahrtrichtung befahrenen Streckengleis,
- Aufstellen zusätzlicher Signale für Fahrten gegen die gewöhnliche Fahrtrichtung oder – falls möglich – Erklärung von am gesperrten Gleis stehenden Signalen als für das gegen die gewöhnliche Fahrtrichtung befahrene Gleis gültig,
- Einrichtung einer Streckenblockabhängigkeit für den Folgefahrerschutz der Fahrten gegen die gewöhnliche Fahrtrichtung und zum Gegenseitenschutz der Fahrten beider Richtungen.

Zusätzlich kann es in Abhängigkeit von der Gleistopologie erforderlich werden, zur Herstellung der erforderlichen Fahrwege Bauweichenverbindungen einzulegen. Dies betrifft auch Fälle ohne Umrüstung auf technisch gesicherten Zweirichtungsbetrieb.

Die während der Baumaßnahme verfügbare Restleistungsfähigkeit der Strecke hängt entscheidend von der Länge des im Zweirichtungsbetrieb befahrenen Abschnitts ab. Wenn keine geeigneten Betriebsstellen zur Verfügung stehen, um den Zweirichtungsbetrieb auf die für die Baumaßnahme notwendige Länge zu beschränken, lässt sich die Restleistungsfähigkeit durch Einrichtung temporärer Überleitstellen verbessern. Diese bestehen aus einem Bauweichenpaar und werden in der Regel durch eine sog. Hilfsbetriebsstelle gesteuert. Hilfsbetriebsstellen sind

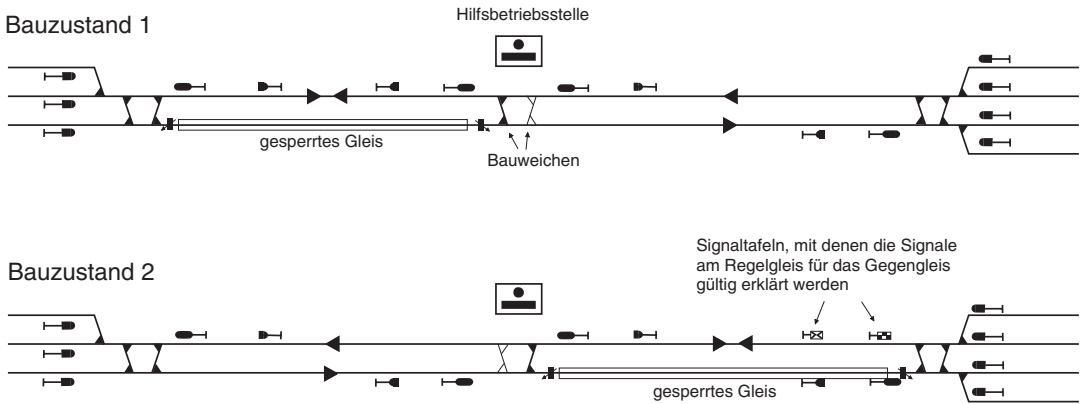


Abb. 8.21 Beispiel für Anwendung einer Hilfsbetriebsstelle als temporäre Überleitstelle (Signalisierung nach deutschen Regeln)

transportable Kleinstellwerke mit einem vorbereiteten Spurplan mit zwei Gleisverbindungen (Weichentrapez) und den zugehörigen Signalen und Streckenblockanpassungen. Von diesem vorbereiteten Spurplan werden nur die jeweils benötigten Elemente freigeschaltet (Abb. 8.21).

8.5.2.5 Koordination zwischen Betriebsführung und bauausführenden Stellen

Zur Durchführung einer Baumaßnahme mit Betriebsbeeinflussung ist zur Gewährleistung der Sicherheit das Zusammenwirken der Betriebsführung mit den bauausführenden Stellen sorgfältig zu planen. Das Ergebnis dieser Planung wird in einer schriftlichen Anweisung zusammengestellt, die alle Beteiligten kennen müssen. In Deutschland und Österreich wird eine solche Anweisung als Betriebs- und Bauanweisung (Beta) und in der Schweiz als Sicherheitsdispositiv bezeichnet. Eine solche Anweisung enthält die folgenden Angaben:

- Beschreibung der Lage der Baustelle mit allen relevanten Besonderheiten, ggf. ergänzt durch eine Lageskizze
- Arbeitszeiten, Dauer der Gleissperrungen, Dauer des Ausschaltens von Oberleitungsanlagen (ggf. mit Auflistung aller betroffenen Gleise)
- zulässige Geschwindigkeiten und Fahrzeitverluste im Arbeits- und Nachbargleis (ggf. zeitlich gestaffelt)

- zuständige Berechtigte mit Betriebsaufgaben: Fahrdienstleiter, für Meldungen an den Fahrdienstleiter zuständige technische Fachkraft an der Baustelle, Verantwortliche für das Ein- und Ausschalten von Oberleitungsanlagen
- Erläuterung der anzuwendenden Betriebsverfahren mit allen relevanten Besonderheiten,
- Angaben zur Arbeitsausführung und zur Sicherung der Baustelle
- Zusammenstellung der in die schriftlichen Unterlagen der Triebfahrzeugführer zu übernehmenden Angaben
- bei Bedarf ergänzende Anlagen wie Lagepläne, Fahrplanbeispiele, Auszüge sicherungstechnischer Planunterlagen u. ä.

Die Aufstellung einer solchen Anweisung kann in folgenden Fällen entfallen:

- bei Arbeiten außerhalb des Gefahrenbereiches der Gleise, wenn Betriebsbeeinflussungen ausgeschlossen sind
- bei unvorhergesehenen Arbeiten zur Störungsbeseitigung (z. B. Beseitigung eines Schienenbruchs)
- bei Arbeiten in Nebengleisen, stillgelegten Gleisen und Gleisen, die noch nicht dem Betrieb übergeben wurden.

In diesen Fällen sind erforderliche Regelungen in einer anderen schriftlichen Form zu veranlassen.

Literatur

1. Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO) vom 8. Mai 1967, zuletzt geändert durch das Gesetz zur Neuordnung des Eisenbahnwesens vom 27. Dezember 1993
2. Eisenbahnverordnung (EisbVO 2003) vom 11. April 2003
3. Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen (Straßenbahn-Bau- und Betriebsordnung – BOStrab) vom 11. Dezember 1987
4. Verordnung über den Bau und Betrieb der Eisenbahnen (Eisenbahnverordnung [EBV]) vom 23. November 1983
5. Deutsche Bahn AG: Richtlinie 408 – Züge fahren und Rangieren – (Modulgruppen 408.01–408.09), gültig ab 15.06.2003, in der Fassung der Bekanntgabe 10 vom 10.06.2012
6. Deutsche Bahn AG (1998) Zug- und Rangierfahrten im Zugleitbetrieb durchführen (ZLB) – Richtlinie 436, gültig ab 24.05.1998
7. Deutsche Bahn AG: Zug- und Rangierfahrten im Signalisierten Zugleitbetrieb durchführen (SZB) – Richtlinie 437, gültig ab 01.03.1998
8. Deutsche Bahn AG: Richtlinie 301– Signalbuch (SB). gültig ab 14.12.2008, in der Fassung der Bekanntgabe 4 vom 05.06.2011
9. Österreichische Bundesbahnen (1996) DV V2– Signalvorschrift. Ausgabe 1996
10. Österreichische Bundesbahnen (1997) DV V3– Betriebsvorschrift. Ausgabe 1997
11. Österreichische Bundesbahnen (1998) DV V5– Zugleitbetrieb. Ausgabe 1998
12. Schweizerische Fahrdienstvorschriften FDV, R 300.1-.15 vom 01.07.2012
13. Gralla D (1999) Eisenbahnbremstechnik. Werner Verlag, Düsseldorf
14. Pacht J (2013) Systemtechnik des Schienenverkehrs – Bahnbetrieb planen, steuern und sichern. 7. Aufl. Springer Vieweg, Wiesbaden

Werner Weigand und Andreas Heppe

Dieses Kapitel behandelt den Prozess der Spurplangestaltung. Dazu werden unter Abschn. 9.1 die Planungsphasen bis zur betrieblichen Aufgabenstellung, unter Abschn. 9.2 die Elemente und typischen Ausprägungen des Spurplans und schließlich unter Abschn. 9.3 die Dimensionierung des Spurplans behandelt.

Zum Verständnis des Kapitels werden die Inhalte des Kap. 8 „Betriebsführung der Infrastruktur“ vorausgesetzt. Um Doppelungen zu vermeiden, werden Inhalte, welche ausführlich im Folgenden unter Kap. 10 „Leit- und Sicherungstechnik“ und Kap. 12 „Trassierung und Gleisplangestaltung“ behandelt werden, bei Bedarf unter Hinweis auf die genannten Kapitel nur kurz angerissen.

Das Kapitel gliedert sich in die drei Hauptabschnitte

- Planungsphasen (Abschn. 9.1),
- Spurplangestaltung (Abschn. 9.2) sowie
- Leistungsuntersuchungen (Abschn. 9.3).

Diese Dreiteilung dient dazu, die drei – eigentlich untrennbaren – Aspekte der *betrieblichen* Infrastrukturplanung durch Konzentration auf das jeweils Wesentliche besser verständlich erläutern zu können. Auf das Zusammenwirken der drei wird jeweils an geeigneter Stelle mit Verweisen aufmerksam gemacht. Zudem erfolgt unter

Abschn. 9.4 eine Zusammenfassung, welche sich für ungeduldige Leser auch als Einleitung eignet.

9.1 Planungsphasen

9.1.1 Planungsphasen der Bauplanung nach HOAI

Da es sich bei den im Folgenden beschriebenen Stufen der Spurplangestaltung um durch die HOAI erfasste Ingenieurleistungen, nämlich Verkehrsanlagen des Schienenverkehrs, handelt, können diese den Leistungsphasen des Leistungsbilds „Verkehrsanlagen“ zugeordnet werden¹. Die Leistungsphasen nach HOAI lauten²:

1. Grundlagenermittlung,
2. Vorplanung,
3. Entwurfsplanung,
4. Genehmigungsplanung,
5. Ausführungsplanung,
6. Vorbereitung der Vergabe,
7. Mitwirkung bei der Vergabe,
8. Objektüberwachung (Bauüberwachung oder Bauoberleitung),
9. Objektbetreuung und Dokumentation.

Hiervon kommen für die im Folgenden beschriebenen Schritte der Spurplangestaltung insbesondere die Leistungsphasen 1 „Grundlagenermittlung“ und 2 „Vorplanung“ sowie die Leistung c)

W. Weigand (✉)
DB Netz AG, 60326 Frankfurt a. M., Deutschland
E-Mail: werner.weigand@deutschebahn.com

A. Heppe
TU Dresden, 01062 Dresden, Deutschland
E-Mail: andreas.heppe@tu-dresden.de

¹ HOAI 2009 §§ 1, 3, 46 und Anlage 12; [1].

² HOAI 2009 § 3; [1].

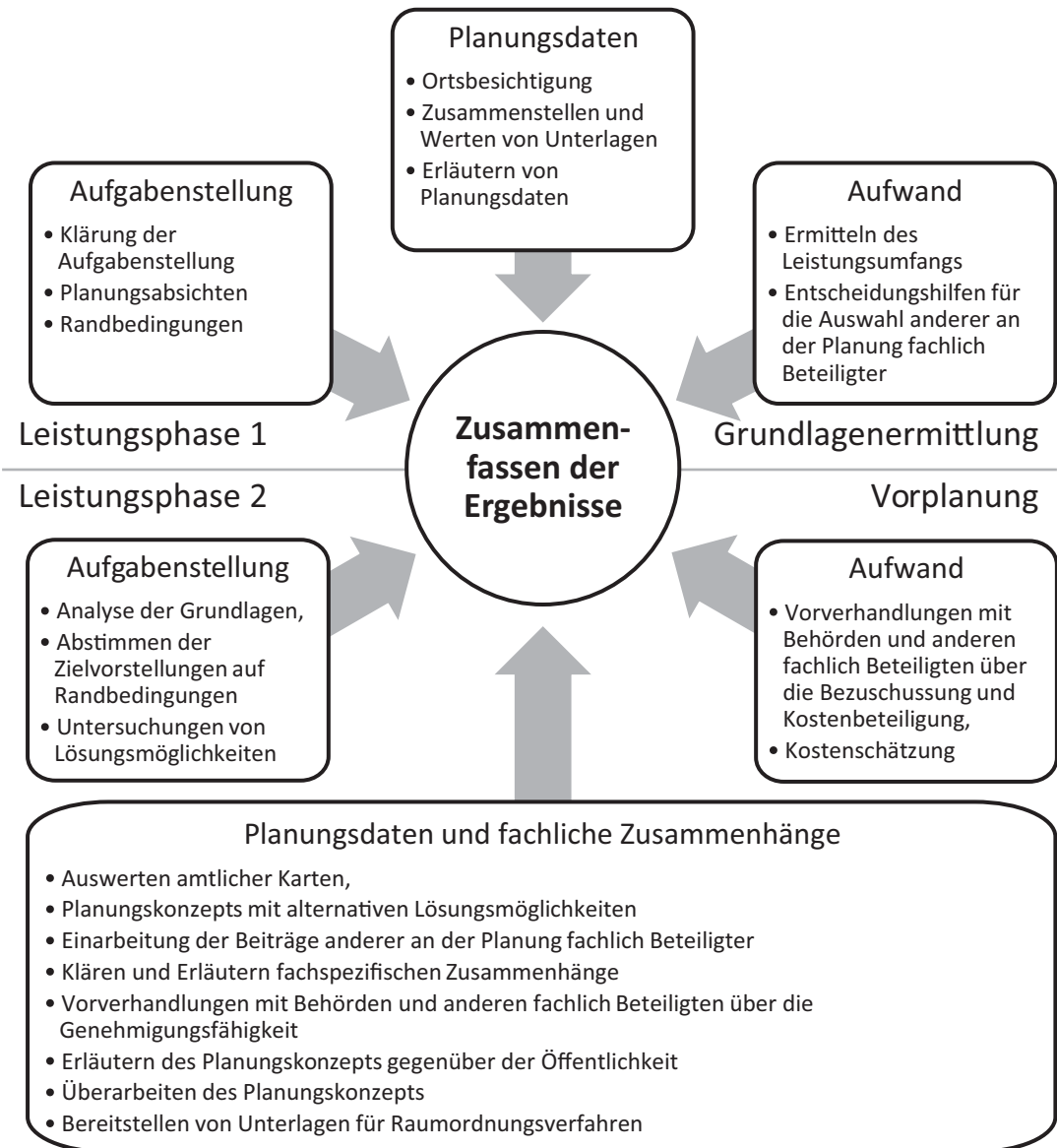


Abb. 9.1 Leistungsphase 1 „Grundlagenermittlung“ des Leistungsbilds „Verkehrsanlagen“ und Leistungsphase 2 „Vorplanung“ des Leistungsbilds „Verkehrsanlagen“ nach HOAI⁴

„fachspezifische Berechnungen“ der Leistungsphase 3 „Entwurfsplanung“ in Betracht³.

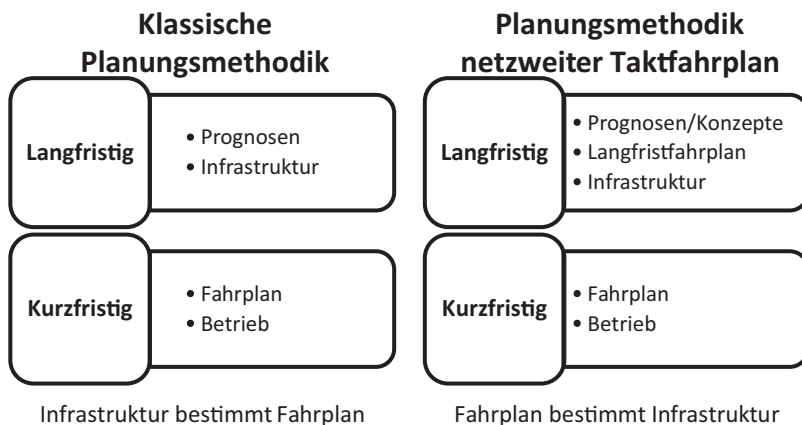
Die wesentlichen Leistungsschritte der ersten beiden Planungsphasen sind in Abb. 9.1 dargestellt.

In beiden Leistungsphasen werden vorrangig die Aufgabenstellung erarbeitet, Planungsdaten zusammengestellt und erste Aufwandsschätzungen vorgenommen. In Leistungsphase 2 werden aber auch schon erste Lösungsmöglichkeiten näher untersucht und bewertet.

³ HOAI 2009 Anlage 12; [1].

⁴ HOAI 2009 in Anlehnung an Anlage 12 Leistungsphase 1 und 2; [1].

Abb. 9.2 Vergleich der „klassischen“ mit der Planungsmethodik „netzweiter Taktfahrplan“



Die Leistungsphasen 1 und 2 nach HOAI entsprechen der Langfristplanung der Infrastruktur. Nach der klassischen Methodik fand in dieser Langfristplanung eine reine Infrastrukturplanung auf Basis von Prognosen statt (Abb. 9.2, linkes Teilbild). Aufgrund der stärkeren Hinwendung zu systematisierten Fahrplänen, welche spezifischere Anforderungen an die Infrastruktur stellen als die früher üblichen streng nachfrageorientierten Fahrpläne, basiert die Langfristplanung heute auf einem Langfristfahrplan (Abb. 9.2, rechtes Teilbild). Die Erstellung dieses Langfristfahrplans ist damit integraler Bestandteil der Spurplangestaltung und bestimmt die Infrastrukturgestaltung maßgeblich mit.

9.1.2 Infrastrukturplanung mittels Langfristfahrplan

Die ersten Ideen für Zukunftsfahrpläne stammen aus der Schweiz. In den 1980er Jahren stellte sich heraus, dass ein landesweites Neubaustreckennetz nicht finanzierbar war. Man überlegte, wie man mit begrenzten Mitteln für möglichst viele Reisendenströme große Verbesserungen erreichen könnte. Die Devise war, durch partielle Beschleunigung Fahrzeitverkürzungen zu erreichen, mit denen in möglichst vielen Knoten bessere Linienverknüpfungen und Anschlüsse hergestellt werden können. Ziel der Maßnahmen war nicht so „schnell wie möglich“, sondern so „schnell wie nötig“, um einen großen Netzeffekt zu erzielen.

In Deutschland gehören vernetzte Taktfahrpläne zum selbstverständlichen Angebotskonzept im Personenfern- und Nahverkehr und werden für die Zukunft weiter entwickelt. Langfristfahrpläne bauen darauf auf und beziehen den Güterverkehr systematisiert ein. Die Kapazität muss dabei über drei Hebel gesichert werden:

- Beseitigung von Engpässen durch Ausbau der Infrastruktur,
- effizientere Nutzung der bestehenden Infrastruktur und
- gleichmäßige Nutzung des Netzes durch Steuerung der Nachfrage.

Da Infrastrukturmaßnahmen teuer sind und einen langen Planungsvorlauf erfordern, müssen sie sehr sorgfältig untersucht und geplant werden. Mögliche Varianten müssen bewertet werden. Der unbedingt notwendige Umfang der Maßnahmen muss geprüft und nachgewiesen werden. Möglichkeiten, die Kapazität durch fahrplantechnische und betriebliche Maßnahmen zu steigern, sollten ausgeschöpft sein (siehe auch Abschn. 9.3).

Die sorgfältige Planung des Betriebes einer Eisenbahn durch „Langfristfahrpläne“, welche die Anforderungen des Marktes im Personen- und im Güterverkehr bündeln, bildet die Grundlage dafür, dass die Produktionsfaktoren

- bei den Infrastrukturunternehmen (EIU)
 - Grund und Boden, Bahnkörper, Brücken Tunnel, ...
 - ortsfeste Anlagen (Gleise, Weichen, Bahnhofsanlagen, Signalanlagen, ...)

- bei den Transporteuren (Eisenbahnverkehrsunternehmen EVU):
 - personeller Aufwand und
 - rollendes Material (Triebfahrzeuge und Wagen)

möglichst wirtschaftlich eingesetzt werden können. Dies bedeutet, dass mit gegebenen Mitteln ein größtmöglicher Erfolg bzw. der angestrebte Erfolg mit so gering wie möglichem Einsatz erreicht wird.

9.1.2.1 Elemente der Langfristfahrplanung

Ziele und allgemeine Herangehensweise Ziel des Langfristfahrplans ist es, für verschiedene Zeithorizonte den Fahrplan und die Infrastruktur so weiter zu entwickeln, dass für alle Verkehrsarten die Markt- und Kundenanforderungen erfüllt werden können. Dabei gilt für die Weiterentwicklung eines Netzes, dass für den Infrastrukturausbau nur begrenzt Mittel zur Verfügung stehen. Eine besondere Herausforderung ergibt sich zusätzlich aus dem Wachstum des Güterverkehrs. Es gilt, nicht nur eine möglichst zielgerichtete Weiterentwicklung für den Personenverkehr zu ermöglichen, sondern dabei auch ausreichend Trassen für den Güterverkehr mit einzuplanen sowie drei maßgebliche Geschwindigkeitsklassen – Schienenpersonenfernverkehr (SPFV), Schienenpersonennahverkehr (SPNV) und Schienengüterverkehr (SGV) – zu berücksichtigen.

Taktfahrplänen kommt eine besondere verkehrliche und betriebliche Rolle zu. Das hohe Verkehrsaufkommen auf vielen Mischbetriebsstrecken erfordert eine Planung der Fahrplanstruktur so, dass für Güterzüge ausreichend Kapazitäten zur Verfügung stehen und diese über eine gute Qualität – das heißt hohe Reisegeschwindigkeit, wenig Überholungshalte und begrenzte Synchronisationswartezeiten – verfügen. Die Trassen für Güterzüge müssen im Taktgefüge des Personenverkehrs von vornherein entsprechend eingeplant sein. Diese insgesamt getaktete Fahrplanstruktur wiederum hat wesentlichen Einfluss auf die Infrastruktur. Nur eine „fahrplanscharfe“ Planung ermöglicht es, die Infrastruktur möglichst zielgerichtet zu dimensionieren.

Der Langfristfahrplan bildet darüber hinaus die Grundlage für Simulationen des Betriebsablaufs. Die Fahrplanstruktur muss „robust“ sein, das heißt so beschaffen sein, dass sich Verspätungen nicht aufschaukeln und unvermeidliche Störungen aufgefangen werden können.

Arbeitsschritte Grundlegend für die Zuordnung der zukünftig verfügbaren Kapazität zu den Verkehrsarten wie auch für die Planung von Kapazitätsänderungen ist die ungefähre Kenntnis der Entwicklung der zukünftigen Verkehrsströme je Verkehrsart. Daher stellen Prognosen des Verkehrsaufkommens den ersten Schritt auf dem Weg zum Langfristfahrplan dar (Abschn. 9.1.2.2).

Neben der Prognose der Verkehrsströme ist es zudem erforderlich, den Zustand des Netzes zum Prognosehorizont und damit die zukünftig verfügbare Kapazität aus dem gegenwärtigen Netzzustand und laufenden Infrastrukturprojekten abzuleiten. Dabei dürfen nur solche Maßnahmen berücksichtigt werden, deren Fertigstellung zum Prognosehorizont sehr wahrscheinlich ist.

Im nächsten Schritt – der Angebotskonzeption – erfolgt die eigentliche Zuordnung der verfügbaren Kapazität zu den Verkehrsströmen. Die Herangehensweise unterscheidet sich dabei deutlich nach Verkehrsart (siehe auch Abschn. 9.2.3).

Die Angebotskonzeption ist die Grundlage jeder Betriebsplanung auf Basis der Marktanforderungen. Wesentliche Teile des Betriebsprogramms sind der Fahrplan und die Fahrzeugeinsatzplanung. Das Angebot ist marktgerecht und wirtschaftlich zu gestalten, um die Nachfrage optimal zu bedienen, den Modal Split zugunsten der Bahn zu beeinflussen und um einen hohen Deckungsbeitrag für die Betreiber zu erzielen.

Bei der Gestaltung des Angebotes sind zu unterscheiden:

- benutzerorientierte Zielsetzungen, die von den Marktanforderungen und der Wettbewerbssituation bestimmt werden,
- betriebsorientierte Zielsetzungen, die aus dem Ziel kostengünstiger Produktion abgeleitet sind,
- hinzu kommen gegebenenfalls volkswirtschaftliche und ökologische Zielsetzungen wie Entlastung der Straßen in Ballungszentren.

Vier wesentliche Merkmale unterscheiden öffentliche Verkehrsmittel von Individualverkehrsmitteln und prägen die Aufgabenstellung der Angebotskonzeption:

- Zeitabhängigkeit (Nutzer muss sich an den Fahrplan anpassen),
- Trennung von Verkehrs- und Angebotsnetz,
- nicht lagerfähiges Produkt (bei nicht marktgerechter Produktion wird vergebens produziert),
- Notwendigkeit zur Bündelung von Verkehrsströmen.

Die Angebotskonzeption des Personenverkehrs (Abschn. 9.1.2.3) besteht aus folgenden Schritten:

- Berechnen der Verkehrsnachfrage,
- Untersuchen der Netzstruktur (Bildung von Angebotsnetzen),
- Aufteilen der Verkehrsnachfrage auf die Angebotsnetze,
- Linienplanung,
- Fahrplanerstellung.

Innerhalb des Personenverkehrs ergeben sich weitere Unterschiede der Herangehensweise zwischen Fern- und Nahverkehr. Zu nennen sind hier insbesondere die Netzstruktur, die zum Einsatz kommenden Zugsysteme, Haltestellenabstände, Reisegeschwindigkeiten, die Priorisierung und die Taktung. Wegen der Anforderungen der Bahnreisenden sind hierbei die Verknüpfungen zwischen den Teilsystemen sowie die Planung von Takt- und integralen Taktfahrplänen von besonderer wirtschaftlicher Bedeutung. Aus der Vertaktung der Angebote resultieren zudem Zwangsbedingungen, welche bei der weiteren Planung berücksichtigt werden müssen.

Die Angebotskonzeption des Güterverkehrs (Abschn. 9.1.2.4) besteht im Wesentlichen „nur“ aus der Umlegung der Verkehrsströme nach Güterarten. Hierbei müssen aber zusätzlich zu den bereits durch den Personenverkehr und dessen Vertaktungen belegten Streckenkapazitäten die verschiedenen Produktionssysteme des Güterverkehrs (Einzelwagen, Ganzzug, kombinierter Verkehr [KV]⁵) sowie die Kapazitäten der ver-

schiedenen Zugbildungseinrichtungen (Rangierbahnhof, Knotenpunktbahnhof, KV-Terminal) berücksichtigt werden. Da die bereits angesprochene Vertaktung des Personenverkehrs und der eher nachfrageorientierte Charakter des Güterverkehrsaufkommens im Widerspruch zueinander stehen, werden in der Zukunft vermehrt sog. Systemtrassen für Güterzüge zum Einsatz kommen. Diese können im Vorfeld gut auf die Erfordernisse des Personenverkehrs abgestimmt werden, wodurch die Gesamtkapazität der Infrastruktur besser ausgenutzt wird als durch für eine konkrete Nachfrage konstruierte Trassen.

Im letzten Schritt – der Erstellung des eigentlichen Langfristfahrplans – müssen schließlich die Angebotskonzepte unter Berücksichtigung der ihnen zugrunde liegenden unterschiedlichen Interessen untereinander koordiniert und zusammengeführt werden (Abschn. 9.1.2.5). Dabei müssen neben technischen Aspekten auch rechtliche und hier besonders die Diskriminierungsfreiheit berücksichtigt werden.

Im Verlauf dieser Arbeitsschritte kristallisieren sich die Anforderungen an die Infrastruktur immer klarer heraus und es liegt schließlich mit dem Langfristfahrplan auch eine Infrastrukturkonzeption im Sinne einer Vorplanung nach HOAI vor.

9.1.2.2 Prognosen

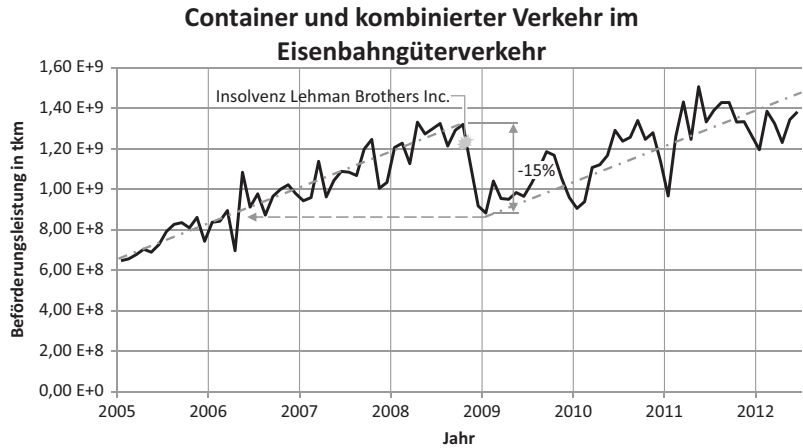
Allgemeines Wer die Zukunft planen will, muss ein Stück nach vorn schauen. Grundlage jeder Planung sind daher Prognosen.

Prognosen für zukünftige Verkehre bauen auf Annahmen zur Entwicklung der Bevölkerung, von Wirtschaft und Handel und von sozioökonomischen Daten auf. Verschiedene Institute prognostizieren diese Entwicklungen und leiten daraus die Entwicklung des Verkehrsaufkommens und der Verkehrsleistung ab.

Die Höhe der Prognosen des künftigen Bahnaufkommens ist von einer Vielzahl von Faktoren abhängig. So spielen die Nutzerkosten wie z. B. Spritpreise, Lohnkosten, Mautkosten, die Entwicklung des Ausbaus der Straßen eine Rolle. Aber auch politisch gesetzte Randbedingungen beeinflussen das Ergebnis.

⁵ siehe auch Abschn. 9.2.3.2.

Abb. 9.3 Auswirkung der 2007 begonnenen Finanzkrise auf die Beförderungsleistung von mit der Eisenbahn transportierten Containern und kombiniertem Verkehr. (Datenquelle: Statistisches Bundesamt: Genesisdatenbank Tabellen-code 46131-0014, Abruf am 30.10.2012, Lehman Brother Inc. musste am 15. September 2008 Insolvenz anmelden)



Der Bund verwendet für seine Planungen Prognosen, die jeweils ca. 15 Jahre in der Zukunft liegen. Zurzeit ist die im Jahr 2010 veröffentlichte Prognose für 2025 maßgebend, die der Überprüfung des Bedarfsplans⁶ zugrunde lag. Werden Schienenwege mit Staatsgeldern ausgebaut, so sind diese Prognosen maßgebend für die Dimensionierung der Anlagen und den Lärmschutz. In begründeten Sonderfällen, z. B. wenn sich für bestimmte Strecken Prämissen geändert haben, kann der Vorhabenträger davon abweichen.

Derzeit sind Prognosen für das Jahr 2030 für die nächste Fortschreibung der Bundesverkehrswegeplanung in Arbeit.

Die jährliche Entwicklung des Verkehrsaufkommens hängt natürlich sehr von konjunkturellen Schwankungen ab (siehe Abb. 9.3). Bei langfristigen Prognosen müssen diese eliminiert werden, denn maßgebend für Infrastrukturauscheidungen muss der langfristige Trend sein – Prognosen, die aus kurzfristigen Trends abgeleitet werden, sind wenig hilfreich. Der Entscheidungsprozess – die verschiedenen Planungsphasen von der Vorplanung über die Finanzierung, die Planfeststellung und die Baubetriebsplanung und Ausführung – erfordern einen Zeitraum, in dem sich die Konjunktur mehrfach wendet. Die Infrastruktur selbst hat aber eine Lebensdauer von etlichen Jahrzehnten.

Um der langfristigen Entwicklung gerecht zu werden und da die Mittel für den Ausbau begrenzt sind, muss die Investitionsplanung so gesteuert werden, dass in zusammenhängenden Korridoren die Kapazität schrittweise erhöht wird. Szenarien für die Entwicklung des Zugangebots und die Fahrpläne müssen daher in zeitlichen Schritten gestaffelt werden.

Die Planungshorizonte der Transporteure auf der Schiene unterscheiden sich deutlich. Wo im Güterverkehr Flexibilität der formulierte Anspruch ist, liegt in Personenverkehrskonzepten des Nahverkehrs der Fokus auf langfristig gesicherten Angebotskonzepten. Auf diesem Wege sollen kostengünstige Ausschreibungen realisiert und die notwendigen Investitionen in Fahrzeuge sichergestellt werden. Im Personenfernverkehr hat man die langfristig in Aussicht stehenden Neubaustrecken und deren angestrebte Reisezeitverkürzungen im Blick, wohl wissend, dass die meisten Reiseketten letztlich eine Nutzung des Nahverkehrs auf der Schiene bedingen. Das bedeutet, dass der Fernverkehr von vornherein so strukturiert werden soll, dass dieser gute Anschlüsse mit dem Nahverkehr ermöglicht.

Der netzweite Ansatz zur Berücksichtigung von Angebotskonzepten im Personen- und Güterverkehr bedingt eine hierarchische Herangehensweise. Die Konzepte des Fernverkehrs müssen mit den Angebotskonzepten des Nahverkehrs zusammengeführt werden (Abb. 9.4).

Dabei gibt der Fernverkehr mit seiner weiträumigen Netzwerke ein Gerüst vor, mit dem die

⁶ Überprüfung des Bedarfsplans für die Bundesschienenwege [2].

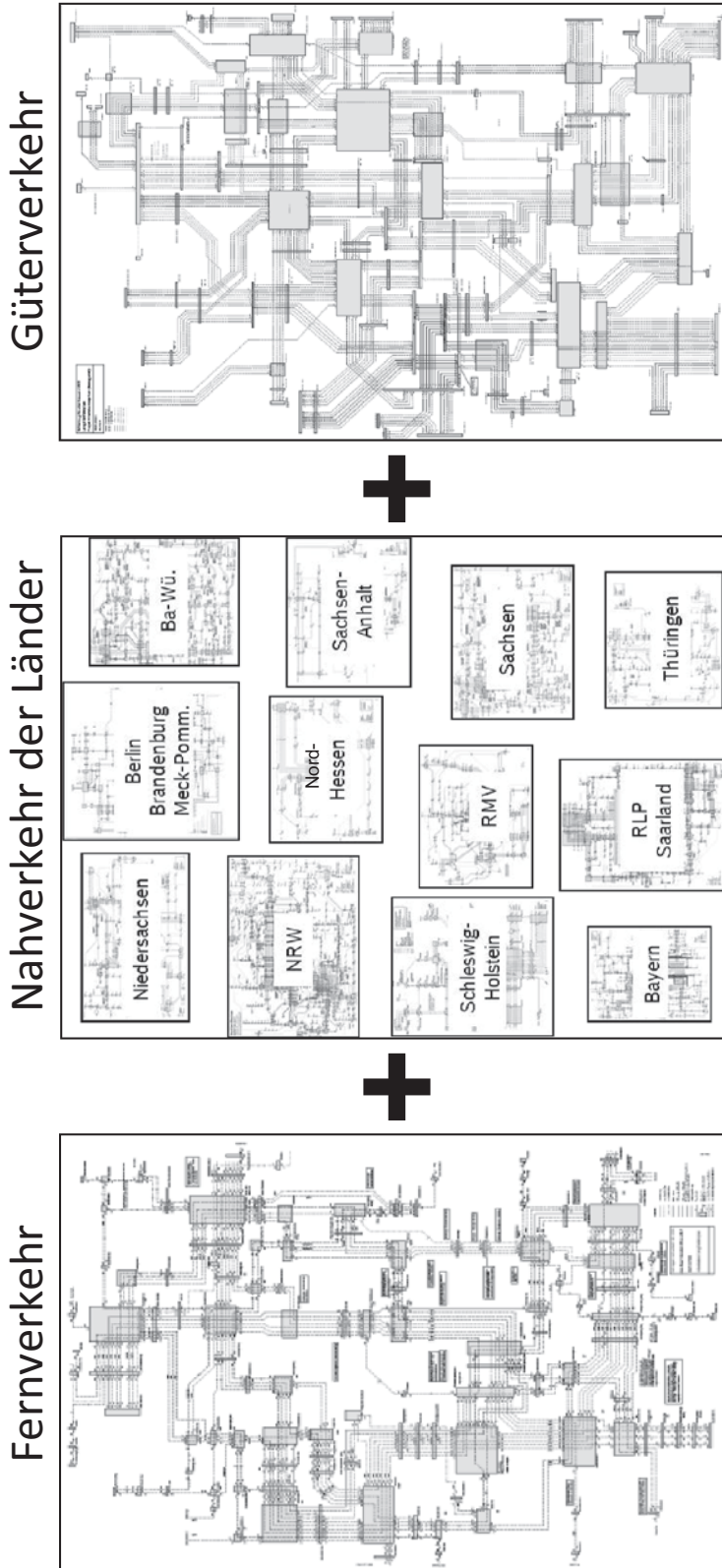


Abb. 9.4 Zusammenführung der Angebotskonzepte

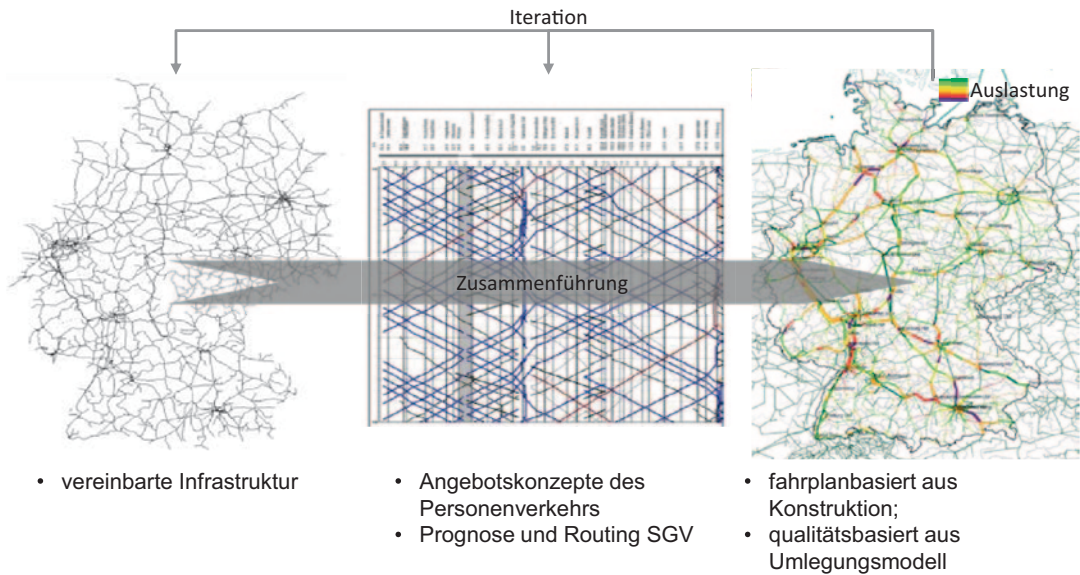


Abb. 9.5 Zusammenführung der Angebotskonzepte unter Berücksichtigung der Kapazität

Nahverkehrskonzepte korrespondieren müssen. Die von Fern- und Nahverkehr gleichermaßen geforderten kurzen Reisezeiten sind gegen optimale Verknüpfungen in Knoten abzuwägen. Im Rahmen des Langfristfahrplans wird bereits zu diesem Zeitpunkt der Güterverkehr auf den Hauptachsen des Netzes in den Fokus gerückt (Abb. 9.5). Der Kapazitätsverbrauch der vielfach unabhängig vom Güterverkehr geplanten Personenverkehrstrassen wird auf Engpassabschnitten kritisch betrachtet. Im Sinne von Trassen für den Güterverkehr werden Überlegungen zur Kapazitätsersparnis angestellt.

Prognose Personenverkehr Schienenpersonenfern- und -nahverkehr sind in Deutschland grundlegend unterschiedlich organisiert und basieren auf unterschiedlicher wirtschaftlicher Grundlage.

Zunächst muss unterschieden werden, ob man beim Fernverkehr über Reisen bzw. Reisende über eine bestimmte Entfernung oder in einem bestimmten „Zugprodukt“ oder aber von tariflichen Regelungen spricht. Steuerrechtlich gesehen, ist Nahverkehr Verkehr bis 50 km, d. h., Reisen bis 50 km werden grundsätzlich mit dem ermäßigten Steuersatz besteuert. Wird nach „Zugprodukten“ unterschieden, spricht man von Zügen des Fern- oder des Nahverkehrs.

Fernverkehrszüge werden in Deutschland grundsätzlich eigenwirtschaftlich betrieben, d. h., ihre Kosten müssen voll aus den Fahrgeleinnahmen bestritten werden. Das Gebot der Eigenwirtschaftlichkeit erfordert, dass Fernverkehrszüge bzw. -linien nur dort eingerichtet werden, wo ein entsprechend kostendeckendes hohes Verkehrsaufkommen zu erwarten ist. Relationen mit niedrigem Fernverkehrsaufkommen können nur mit Zügen des Nahverkehrs bedient werden, die sich grundsätzlich an den Verkehrsströmen des Nahverkehrs ausrichten, aber auch die überregionalen Bedürfnisse berücksichtigen müssen, z. B. in dem sie gut mit den Zügen des Fernverkehrs verknüpft sind und lange Laufwege bedienen.

Im Langfristfahrplan wird ein Fernverkehrskonzept entwickelt, das die Planungen von DB Fernverkehr aufnimmt, dem einzigen Eisenbahnverkehrsunternehmen in Deutschland, das im großen Umfang Fernverkehr anbietet und auf allen nachfragestarken Achsen Taktverkehre fährt. Auf den stark nachgefragten Achsen müssen zusätzlich auch Angebotsmehrunen möglich sein – sei es für Spitzenverkehre oder auch durch neue Markteintreter. Dabei ist der „diskriminierungsfreie“ Zugang zum Markt sicherzustellen.

Nahverkehrszüge werden von den „Aufgabenträgern des Nahverkehrs“ bestellt und finanziert. Aufgabenträger des Nahverkehrs sind grundsätzlich die Bundesländer bzw. die von diesen beauftragten Gesellschaften und Verkehrsverbände. Die Bundesländer erhalten seit der Bahnreform 1994 sog. „Regionalisierungsmittel“, aus denen sie die Nahverkehrsleistungen bestellen und bezahlen. Da es sich um öffentliche Mittel handelt, werden die Verkehrsleistungen grundsätzlich ausgeschrieben und an dasjenige Eisenbahnverkehrsunternehmen vergeben, welches das günstigste Angebot macht. Im Nahverkehr sind die Konzepte aus den Ausschreibungen bzw. Verkehrsverträgen der Aufgabenträger Grundlage jeglicher „Langfristfahrplanung“.

Prognose Güterverkehr Im Güterverkehr sorgen sich die Verkehrsunternehmen im Wesentlichen um die zeitnah zur Verfügung stehenden Kapazitäten auf dem bestehenden Netz. Vorliegende Vorstellungen zum zukünftigen Güterverkehr gehen bei vielen Transporteuren – bis auf einige Spezialverkehre – nicht über die grobe Definition von Produktionskonzepten hinaus. Diese Produktionskonzepte werden in den Prognosemodellen abstrahiert und somit als Kundenwunsch berücksichtigt. Die Erwartungen zur Entwicklung der Verkehrsmengen im Güterverkehr seitens der Transporteure liegen ebenfalls höchstens für wenige Jahre in der Vorschau vor und sind selten „neutral“ zu verwenden. So melden die Häfen für die zukünftige Entwicklung der Umschlagmengen – im Wettbewerb um die großen Schiffe – große Nachfragesteigerungen an, die eine nachgelagerte Gesamtbetrachtung zur Glättung erforderlich macht.

Für die langfristige Entwicklung des Güterverkehrsmarktes auf der Schiene verwendet der Langfristfahrplan daher die vorliegenden Prognosen des Bundes. In diesen Prognosen sind die Produktionsstrukturen auf Basis der vorhandenen und zukünftig zu erwartenden Anlagen abgebildet und die Wünsche der Kunden nach kurzen Transportzeiten berücksichtigt.

In der Prognose bilden sich die Verkehrsströme aus Einzelzügen, die mindestens an einem Werktag pro Jahr verkehren. Diese einzelnen

Züge sind für eine Systematisierung nicht geeignet und können somit nicht im Rahmen der Konstruktion des Langfristfahrplans verwendet werden. Ebenfalls nicht in den Prognosemodellen berücksichtigt sind betriebliche Zwangspunkte aus den Taktfahrplänen des Personenverkehrs sowie die notwendigen Stellen für Lokpersonalwechsel (LPW). Diese sind jedoch letztlich im Fahrplan neben Start und Ziel die für die Kunden wichtigsten Zwangspunkte.

Aus dem Mengengerüst der Prognose ergibt sich, wie viele Trassen für Güterzüge an einem Tag zukünftig benötigt werden. Dabei kommt es zur Trennung „Trasse – Zug“. Die Trassen werden bereits in der langfristigen Taktfahrplangestaltung in ausreichendem Umfang berücksichtigt. Den tatsächlich verkehrenden Zügen werden in einem späteren Prozess zu gegebener Zeit Trassen zugewiesen.

9.1.2.3 Angebotskonzepte Personenverkehr

Angebotsnetze Grundlegend für die Erstellung eines Fahrplans ist die Definition eines Angebotsnetzes. Ziel ist es, das Verkehrsangebot so zu gestalten, dass die aus der Prognose bekannten Verkehrsströme möglichst wirtschaftlich befördert werden können. Auf den stark ausgelasteten Netzbereichen sind dicht vertaktete Angebote anzustreben, während für schwach ausgelastete Netzbereiche im eigenwirtschaftlichen Betrieb möglicherweise kein Angebot geplant werden kann. Dies wird als Netzreduktion bezeichnet.

Die Anforderungen an Angebotsnetze unterscheiden sich – wie bereits festgestellt – zwischen Personenfern- und -nahverkehr. Dies liegt zum einen an der unterschiedlichen Finanzierung, zum anderen aber auch an den verschiedenen Netzformen.

Bezüglich der Finanzierung besteht der Unterschied im Wesentlichen in der bereits erwähnten Eigenwirtschaftlichkeit des Personenfernverkehrs, während der Personennahverkehr mit den Regionalisierungsmitteln staatlich subventioniert wird. Die Motivation des Fernverkehrsangebots besteht demnach in einer Gewinnerzielungsabsicht seitens des Verkehrsunternehmens, während die Motivation des Nahverkehrsangebots in der

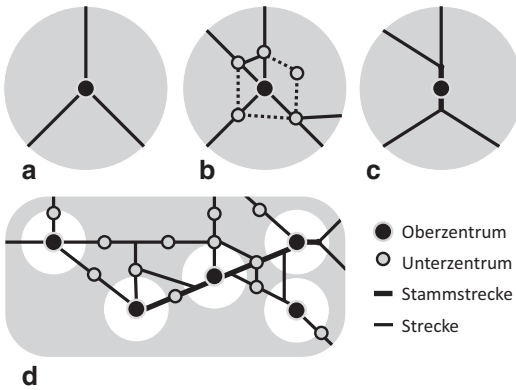


Abb. 9.6 Netzformen

Daseinsfürsorge⁷ des Staates besteht. Hieraus folgt unter anderem, dass sich die Prämissen bei der Netzreduktion unterscheiden (siehe unten).

Die einfachste Netzform besteht aus drei radialen Strecken, welche alle durch einen gemeinsamen Knoten laufen (Abb. 9.6 a), in welchem Umsteigen möglich ist (siehe auch Abschn. 9.2.2). Streicht man in dieser einfachsten Netzform eine Strecke, kann man nicht mehr von einem Netz sprechen. Varianten des Radialnetzes ergeben sich durch Tangentialen und Verzweigungen der Radialen (Abb. 9.6 b) oder durch die Führung der Radialen über eine Stammstrecke (Abb. 9.6 c), welche dann ein sehr dichtes Verkehrsangebot aufweist, deren Betrieb aber wegen der hohen Belegung sehr anspruchsvoll sein kann. Ohne Tangentialen oder Verzweigungen wird die Flächenerschließung nach außen hin aus rein geometrischen Gründen immer schlechter. Die Tangentialen können auch zu Ringen (Abb. 9.6 b, gepunktete Strecken) verbunden werden, wodurch bei stark ausgeprägten Tangentialverkehren Abkürzungen ermöglicht werden. In sehr dicht besiedelten Metropolregionen und im Fernverkehr verschmelzen mehrere Radialnetze zu einem polyzentrischen Netz (Abb. 9.6 d).

Die Netzformen von Fern- und Nahverkehr unterscheiden sich vor allem wegen des unterschiedlichen räumlichen Erschließungscharakters. Das Fernverkehrsnetz ist in Deutschland wegen der Besiedlungsstruktur eher polyzentrisch. In Ländern mit monozentrischer Landesstruktur – wie z. B. Frankreich – können Fernverkehrsnetze aber auch einen monozentrisch radialen Charakter aufweisen. Nahverkehrsnetze sind in Deutschland hingegen häufig monozentrisch auf ein Oberzentrum ausgerichtet und weisen dann oft eine Radialnetzform auf. In sehr dicht besiedelten Metropolregionen – wie z. B. im Ruhrgebiet – können aber auch Nahverkehrsnetze eine polyzentrische Form annehmen.

Im Personenfernverkehr orientiert sich das Gesamtangebot an Reisezügen auf einer Strecke an der Gesamtnachfrage. Es kann ggf. nur ein Zugsystem eingerichtet werden, das alle verkehrlich relevanten Aufkommenspunkte verbindet, es kann aber auch mehrere überlagerte Systeme geben. Um den stärksten Strömen zwischen den aufkommenden Schwerpunkten ein möglichst schnelles und häufiges Angebot machen zu können, wird die Nachfrage auf die gewünschte Anzahl von Hierarchiestufen aufgeteilt. Dadurch entstehen Liniensysteme, die aus mehreren überlagerten Systemen mit unterschiedlichen Haltestellenabständen bestehen. Bei festgelegter Gesamtzugzahl sind unterschiedliche Angebotsvarianten denkbar. Auf Strecken mit starker Nachfrage (Primärnetz) wird ein dichtes Angebot in dichtem Takt angestrebt. Danach werden die Strecken und Knoten herausgefiltert, auf denen ein weiteres, unterlagertes Angebot mit geringerer Bedienungshäufigkeit gerechtfertigt erscheint (Sekundärnetz). Auf Strecken mit weniger starker Nachfrage wird nur ein Zugsystem geplant.

Die Anforderungen der Nutzer an öffentliche Personennahverkehrssysteme betreffen insbesondere die räumliche und zeitliche Verfügbarkeit, die durch eine hohe Erschließungsqualität des Raumes und ein dichtes Angebot gewährleistet werden können. Die Einzugsbereiche der Haltestellen von S-Bahnen liegen in der Kernzone großer Städte bzw. im zentralen Bereich von Mittelzentren in Gebieten mit hoher Nutzungsdichte bei ca. 400 m bis 600 m und in Gebieten

⁷ Gesetz zur Regionalisierung des öffentlichen Personennahverkehrs, § 1 Absatz 1: „Die Sicherstellung einer ausreichenden Bedienung der Bevölkerung mit Verkehrsleistungen im öffentlichen Personennahverkehr ist eine Aufgabe der Daseinsvorsorge.“

mit geringer Nutzungsdichte bei bis zu 1000 m. Im peripheren Bereich kommt der Verknüpfung des Schienenpersonennahverkehrs mit Buslinien und auch dem Park&Ride-Verkehr besondere Bedeutung zu. Eine gute Anbindung auch der Region wird erreicht, wenn in Mittelstädten Stadtbusverkehre und Busverkehre in die Region an einer zentralen Haltestelle, an der zwischen allen Linien umgestiegen werden kann, mit dem Schienenpersonenverkehr verknüpft sind.

Wegen der polyzentrischen Struktur des deutschen Eisenbahnnetzes und der Bedeutung der Verknüpfung des Personenverkehrs in den Knotenpunkten zur Erschließung des ganzen Landes kommt Taktfahrplänen eine besondere verkehrliche und betriebliche Rolle zu. Die Planung der Fahrplanstruktur muss dabei so erfolgen, dass für Güterzüge ausreichend Kapazitäten in guter Qualität zur Verfügung stehen. Die Trassen für Güterzüge müssen im Taktgefüge des Personenverkehrs von vornherein entsprechend eingeplant sein. Diese insgesamt getaktete Fahrplanstruktur hat wiederum wesentlichen Einfluss auf die Infrastruktur. Nur eine „fahrplanscharfe“ Planung ermöglicht es, die Infrastruktur möglichst zielgerichtet zu dimensionieren.

Ein wesentlicher Vorteil des Taktfahrplans im Fernverkehr – vor allem in polyzentrischen Netzen – besteht darin, dass von allen Bahnhöfen des Netzes zu jeder Tageszeit die gleichen guten Verbindungen bestehen. Auch zu Zielen, die nur über Umsteigeverbindungen erreichbar sind, bestehen immer gleich gute Verbindungen, wenn auch – wegen der Zwänge im Netz – nicht in jeder Relation die schnellste.

Beim Taktfahrplan folgen sich die Züge einer bestimmten Zuggattung auf einer Strecke mit konstantem oder nahezu konstantem Zeitabstand, der „Taktzeit“, gelegentlich auch „Taktintervall“ genannt, oder – in verkehrsschwachen Stunden – einem ganzzahligen Vielfachen dieses Zeitabstandes.

Verkehren mehrere Zuggattungen mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten und Halten auf einer Strecke, ergibt sich ein Fahrplanbild mit nicht parallelen Trassen. Der Zeitraum, in dem sich der gesamte Taktfahrplan wiederholt, heißt „Taktperiode“ oder „Taktverträglichkeitszeit-

raum“. Er ist das kleinste gemeinsame Vielfache aller Taktzeiten. Die „Grundtaktzeit“ ist der größte gemeinsame Teiler der einzelnen Taktzeiten.

Aus den mathematischen Gesetzmäßigkeiten in polyzentrischen Netzen geht hervor, dass das Fahrplangefüge ganz bestimmte Fahrzeiten von Bahnhof zu Bahnhof erfordert. Da sich diese im polyzentrischen Netz, das vielfach überbestimmt ist, nicht zwischen allen wichtigen Umsteigeknoten herstellen lassen, muss ein Optimierungsprozess z. B. bezüglich der Personenwarteminuten einsetzen. Tendenziell wird ein derart optimierter Fahrplan auch eine möglichst minimale Gesamtreisezeit aller im Netz beförderten Personen aufweisen.

Linienführung, Verknüpfungen Liniengebundene Angebote sind durch planmäßig bestehende Verkehrsverbindungen gekennzeichnet. Eine Linie ist dabei definiert als eine planmäßig betriebene Transportverbindung zwischen einer festgelegten Anzahl von Haltestellen, die in einer bestimmten Reihenfolge bedient werden. Unter Linienplanung wird das Entwickeln eines öffentlichen, vertakteten, im Linienerverkehr betriebenen nachfrageorientierten Verkehrsangebots für eine abgegrenzte Region verstanden. Ziel dieser Planung ist es, ein entsprechend den definierten Zielvorstellungen optimales Verkehrsangebot zu entwerfen.

Unter einem Liniennetz versteht man den Verlauf der einzelnen Linien im Streckennetz und deren Zuordnung zueinander. Ein Liniennetz lässt sich infolge dessen z. B. als Graph darstellen, bestehend aus Knoten und Kanten. Der Begriff „Liniensystem“ ist gekennzeichnet durch die Struktur des Netzes, die Art des Fahrplansystems und die Beschaffenheit der eingesetzten Transportmittel.

Dabei ist es das Ziel, ein sparsames Netz zu entwickeln und für die Nutzer den Umsteigeaufwand zu minimieren. Die Linienführung orientiert sich an den Verkehrsströmen und betrieblichen Bedingungen. In den Verzweigungsknoten werden die Linien so verknüpft, dass die stärksten Ströme direkt fahren können. Während im Nahverkehr meist reiner Linienbetrieb angewendet wird, werden im Fernverkehr oft flexible

Linienysteme eingeführt. Um möglichst zusätzlich zu den Grundlinien umsteigefreie Verbindungen anbieten zu können, findet in den Verknüpfungsknoten, den Systemknoten, Trassentausch statt. Damit ist gemeint, dass abwechselnd Züge mit verschiedenen Laufwegen eingesetzt werden, die sich so ergänzen, dass im Abstand der Taktzeit Transportketten in allen Relationen und im Verlauf des Tages in unterschiedlichen Relationen umsteigefreie Verbindungen angeboten werden. Linien sollten so gebildet werden, dass sich gleichmäßige Auslastungen ergeben und günstige Fahrzeugumläufe planen lassen.

Um die Wirkung unterschiedlicher Linienstrukturen zu erfassen, werden unterschiedliche Basisvarianten untersucht. In einer Variante des Primärnetzes werden beispielsweise nur wenige Linien betrachtet, die im Wesentlichen starr sind; vom Liniennetzverlauf der Stammlinie abweichende Fahrten oder Fahrten zu Zielen außerhalb des Liniennetzes gibt es nicht. Alternativ sind Varianten mit einem stark verästelten Liniensystem denkbar. Dieses Liniensystem führt durch das Überlagern von Linien, die über weite Linienabschnitte (Stammlinie) den gleichen Verlauf aufweisen, zu einer Taktverdichtung im Stammabschnitt (Stundentakt oder dichter). Um die wechselseitigen Abhängigkeiten der Einflussfaktoren und die sich überlagernden Verkehrsströme im polyzentrischen Netz erfassen und das Angebot optimieren zu können, werden Netzmodelle zur Linienplanung und Fahrplanoptimierung eingesetzt.

Die Belastungssimulation stellt Möglichkeiten zur Untersuchung des Reisendenverhaltens im Netz zur Verfügung. Bei dieser Simulation wird davon ausgegangen, dass in einem eng vermaschten Liniennetz nun nicht mehr nur kürzeste Wege, sondern charakteristische Alternativen im Reiseverhalten berücksichtigt werden müssen:

- eine kürzeste Reisezeit bei häufigerem Umsteigen („reisezeitminimale“ Route) oder
- eine längere Reisezeit mit seltenem oder ohne Umsteigen („umsteigeminimale“ Route).
- Hinzu kommt dort, wo Zugsysteme oder Züge mit unterschiedlicher Tarifierung verkehren oder wo Umwege zu beachten sind, die „kostengünstigste“ Route.

Linienysteme werden nach dem Aufwand und unter Berücksichtigung verschiedener Qualitätskriterien bewertet:

- Umsteigeströme,
- Direktfahreranteil,
- Gleichmäßigkeit der Linienbelastung und
- Reisezeitaufwand.

Nach der Belastungssimulation wird das Liniennetz nach Auswertung der Erfüllung der Qualitätskriterien gegebenenfalls modifiziert. Ein interaktiver Bearbeitungszyklus aus Linienmodifikation und Belastungssimulation wird solange durchlaufen, bis eine gute Qualität erreicht ist. In diesem Stadium der Untersuchung der Linienführung liegt der Linienplanung nicht unbedingt ein konkreter Fahrplan zugrunde oder aber der Fahrplan wird parallel entwickelt. Gegebenenfalls werden in den Knoten Standardumsteigezeiten angenommen. In einem weiteren Schritt nach der Fahrplangestaltung werden dann realistische Knotenzeiten und Umsteigezeiten eingegeben.

Fahrplan, Taktfahrplan, ITF Bei der Fahrplanbildung werden die Vorgaben aus der Linienplanung in einen realisierbaren zeitlichen Ablauf umgesetzt. Dabei müssen insbesondere das Fahrverhalten der einzusetzenden Fahrzeuge auf den Strecken des Liniennetzes und die geplanten Haltezeiten mit den Umsteigebeziehungen zwischen den Linien in Einklang gebracht werden (Details zum Fahrplan siehe Abschn. 8.2.5.6). Die sich daraus ergebenden Umsteigezeiten sollen möglichst kurz gehalten werden. Außerdem muss die Häufigkeit der Fahrten an die Ganglinie der Verkehrsnachfrage angepasst werden. Fahrpläne können prinzipiell sowohl streng nachfrageorientiert als auch streng systematisch erstellt werden. Weiterhin kann die Vertaktung von Fahrplänen so erfolgen, dass während eines Halts in speziellen Knoten zwischen allen Linien gleichzeitig umgestiegen⁸ werden kann (integraler Taktfahrplan, ITF).

„Nachfrageorientierte“ oder auch „unsystematische“ Personenverkehrsangebote stellen die traditionellen Bedienungsformen dar:

⁸ Pachtl J (2008) unter 7.2 „Integraler Taktfahrplan“ auf S. 230; [3].

- die Abfahrten finden in unregelmäßigen Abständen statt und richten sich nach der Ganglinie der Nachfrage, die einzelnen Zügen haben individuelle Fahrpläne;
- für die einzelnen Züge gibt es individuelle Laufwege mit unterschiedlichen Halten.

Beim individuellen Fahrplan, auch als gewachsener oder unsystematischer Fahrplan bezeichnet, orientiert sich das Angebot an den stärksten Verkehrsströmen. Bestimmte Züge sind entsprechend der Ganglinie der Nachfrage vorrangig auf die Geschäftsreisen, bestimmte auf Privatreisen und Pendler ausgerichtet. Diese Angebotsform bewährt sich insbesondere in monozentrischen Netzen. Vom Zentrum aus können die Regionen mit kürzesten Reisezeiten erreicht werden. Besonders intensiv praktizieren die Französischen Bahnen bis heute dieses System. Auffallend ist, dass viele Züge nur eingeschränkte Verkehrstage haben, orientiert an speziellen Verkehrsbedürfnissen. In peripheren Relationen gibt es oft große Angebotslücken, Anschlüsse für „Eckverbindungen“ fehlen häufig.

Um die Wettbewerbssituation gegenüber dem Pkw zu verbessern, sind mehr und mehr Bahnen zu systematischen, vertakteten, liniengebundenen Bedienungsformen übergegangen; sie sprechen auch von Zugsystemen als „Produkten mit Markenartikeleigenschaften“. Systematische Liniennetze, die im Takt betrieben werden, vereinigen die Vorteile für den Kunden (leichte Merkbarkeit, hohe Verfügbarkeit) mit Vorteilen im Produktionsapparat (regelmäßige Abläufe, auf den Fahrplan abgestimmte, gezielte Infrastrukturausbauten, gute Nutzung des Fahrzeugparks, ...) und tragen damit zur Verbesserung des wirtschaftlichen Erfolges der Bahn bei. Diese Entwicklung hat dazu geführt, dass man in sich geschlossene Netze bildet, die sich in ihrer Aufgabe – der Deckung des Verkehrsbedarfs – ergänzen. Wichtig ist jedoch die gute Abstimmung zwischen Fern- und Nahverkehr, um eine nicht unterbrochene Transportkette auch im Zugang zu und dem Abgang von den Fernverkehrsknoten zu erreichen. Aus der Vertaktung des Nahverkehrs ergibt sich die Forderung, auch das Grundangebot im Fernverkehr im Takt zu realisieren. Bei einem „perfekt“ verknüpften Taktfahrplan han-

delt es sich um einen „integralen Taktfahrplan“ (siehe unten).

Wegen der Wiederholung der Betriebsvorgänge nach der Taktperiode erfordert die Taktfahrplangestaltung die genaue Analyse der Vorgänge auf der Strecke und in den Knoten. Auf die Bedienungsqualität einerseits und die Streckenleistungsfähigkeit andererseits wirken sich folgende Parameter aus:

- die Anzahl unterschiedlicher Zugsysteme (Zuggattungen), die auf einer Strecke im Takt verkehren,
- die Anzahl der Systemhaltebahnhöfe,
- die Geschwindigkeit und damit die Trassenneigung der einzelnen Zugsysteme,
- die Taktzeit und damit die Bedienungshäufigkeit und
- die relative zeitliche Zuordnung (Überholungen, Kreuzungen) der Züge.

Unterschiedlich schnelle Züge überholen sich in Abständen, die von der Reisegeschwindigkeit und der Taktzeit abhängen. Sind die Überholungsbahnhöfe Systemhaltebahnhöfe für beide Zugsysteme, können die langsameren Züge Zu- und Abbringerfunktionen übernehmen. Die Abstände zwischen den Überholungsbahnhöfen ergeben sich aus dem Unterschied der Geschwindigkeiten.

Fernfahrpläne weisen in der Regel eine Symmetrie zwischen Richtung und Gegenrichtung bei den Laufwegen und Fahrzeugumläufen auf. So gibt es bei Zügen, die früh ihren Ausgangsbahnhof verlassen und abends zurückkehren, eine Symmetrieachse am frühen Nachmittag. Ein Taktfahrplan enthält weitere Symmetrieeigenschaften:

- er hat zwei „zeitliche Symmetrieachsen“ im Abstand der halben Taktperiode;
- sämtliche Begegnungen zwischen Richtung und Gegenrichtung finden ausschließlich zu den Symmetriezeiten statt.

Diese Symmetrieeigenschaften lassen sich für die kundengerechte Planung in den Knoten nutzen. Die Taktfahrplangestaltung in den Knoten muss die Wünsche nach möglichst günstigen Anschlussbindungen mit der Leistungsfähigkeit der Bahnsteiganlagen, der Fahrstraßenknoten und der Zulaufstrecken abstimmen.

- Aus der Sicht des Kunden, der gute Anschlüsse erwartet, ist es günstig, wenn alle Züge möglichst gleichzeitig ankommen und einige Minuten später gleichzeitig abfahren.
- Aus betrieblichen Gründen ist eine gleichmäßige zeitliche Belastung der Knoten wünschenswert.

Je nach der Struktur der Verkehrsströme werden erforderlichlich:

- Knoten, bei denen die zeitliche Lage der Züge von Richtung und Gegenrichtung unabhängig voneinander festgelegt werden kann,
- Knoten, bei denen die Ankunfts- und Abfahrtszeiten aller Züge wegen der Umsteiger voneinander abhängig sind.

Letztere stellen die Basisknoten des „integralen Taktfahrplans“ dar.

Da im Abstand der Taktzeit Belastungsspitzen entstehen, müssen alle betrieblichen Möglichkeiten zur Leistungssteigerung ausgenutzt werden wie

- Verminderung der Rangierbewegungen durch Verlagerung von Rangieraufgaben, Einsatz von Wendezügen etc. (siehe Abschn. 9.2.5.3),
- Durchbindung von Linien aus rein betrieblichen Gründen,
- Doppelbelegung von Bahnsteiggleisen mit kurzen Zügen (siehe Abschn. 9.2.5.2),
- Verlagerung von Zügen, die nicht in den Taktfahrplan eingebunden sind, in verkehrsschwache Zeiten.

Im Zulauf auf derartige Knoten sind durch entsprechende Blockteilung (siehe Kap. 8 und Kap. 10) möglichst kurze Mindestzugfolgezeiten anzustreben, auch wenn dies aus der Sicht der rechnerischen Streckenleistungsfähigkeit nicht erforderlich wäre, damit die Züge den Knoten in möglichst kurzem zeitlichen Abstand erreichen bzw. verlassen können.

Ziel der Einrichtung eines solchen „Integralen Taktfahrplans“ ist die Schaffung von durchgehenden, lückenlosen Beförderungsketten auf allen Fahrtbeziehungen, so dass auch auf Fahrtbeziehungen mit Umsteigezwang ein optimaler Anschluss gewährleistet ist und für den Hin- und Rückweg einer Reise möglichst gleiche Bedingungen hinsichtlich Reiseroute, Produktwahl und Gesamtreisezeit gegeben sind. Durch

die Rendezvous-Technik (Treffen aller Züge im Taktknoten zu einer Zeit) bestehen optimale Anschlussbedingungen, da aus allen Richtungen in jede Richtung umgestiegen werden kann. Unter Berücksichtigung der Dauer eines Umsteigevorgangs können alle Fahrzeuge kurz nach dem festgelegten Zeitpunkt den Knoten verlassen. Im gesamten Netz wiederholt sich dieser Vorgang in jedem Takt und in jedem ITF-Knoten.

Auf diese Weise entsteht für den örtlichen begrenzten Bereich rund um den betrachteten Bahnhof ein Fahrplan, der die Form einer „Fahrplanspinne“ aufweist. Aus den Symmetrieeigenschaften des Taktfahrplanes folgt, dass eine solche Fahrplanspinne ebenfalls eine „zeitliche Symmetrieachse“ besitzt. Liegen nun in einem idealen Netz die wichtigen Umsteigebahnhöfe in einer zeitlichen Entfernung von einem ganzzahligen Vielfachen der halben Taktzeit, kann ein Netz von Fahrplanspinnen aufgebaut werden. In einem derart systematisierten Netz kann man ohne nennenswerte Wartezeiten von jedem Punkt zu jedem x-beliebigen Punkt gelangen.

Anwendungsgebiet des Integralen Taktfahrplans ist primär der schienengebundene Regional- und der Fernverkehr mit einer Taktzeit von 60 bzw. 120 min. Gerade bei diesen großen Taktzeiten ist eine Anschlusssicherung in Verknüpfungsbahnhöfen zu weiterführenden Zügen wichtig. Problematisch ist es allerdings, wenn weit laufende Fernzüge wegen der Anschlussaufnahme lange Aufenthalte auf Zwischenbahnhöfen erhalten und dafür die weiteren Verbindungen zwischen Ballungsgebieten nur niedrige Reisegeschwindigkeiten erreichen. Für Taktzeiten von weniger als 30 min ist die Erstellung eines integralen Taktfahrplans nicht sinnvoll.

Durch die Koordination der einzelnen Taktverkehre in Form eines idealen Integralen Taktfahrplans entstehen für den Fahrgast Vorteile:

- Reduktion der Wartezeiten beim Umsteigen und somit verkürzte Beförderungszeiten auf Relationen mit Umsteigezwang.
- Die Abfahrtszeiten sind einfach einzuprägen. Ferner braucht der Fahrgast – auch wenn er mehrmals umsteigen muss – nur die Abfahrtszeit an seiner Einstiegshaltestelle zu kennen.

- Die räumliche und insbesondere die zeitliche Verfügbarkeit des Öffentlichen Verkehrs wird erhöht.

Diesen Vorteilen können jedoch insbesondere folgende Nachteile entgegenstehen:

- ein hoher finanzieller Aufwand für die Anschaffung schnellerer Züge und/oder den Ausbau der Infrastruktur (u. U. Ausbau der Streckeninfrastruktur und der Bahnhofsanlagen),
- höhere Betriebskosten durch räumliche und zeitliche Ausweitung der Verkehrsleistungen und
- die Erhöhung der Beförderungszeiten für Fahrgäste, die nicht umsteigen müssen.

Verursacht werden diese Nachteile durch die Randbedingung, die bei der Konzeption des Integralen Taktfahrplans von den Fahrzeiten zwischen den ITF-Knoten eingehalten werden muss: Die Soll-Fahrzeit (inklusive Haltezeiten) zwischen den einzelnen ITF-Knotenbahnhöfen muss die halbe Taktzeit oder ein Vielfaches der halben Taktzeit betragen. Daraus resultiert, dass die vorhandenen realen Fahrzeiten ohne Integralen Taktfahrplan, die nicht von vornherein mit den Soll-Fahrzeiten übereinstimmen, an die Fahrzeiten des Integralen Fahrplans anzupassen sind. Dies kann dazu führen, dass die bisherigen Fahrzeiten gekürzt werden müssen. Hierfür stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung, die zum Teil hohe Investitionen erfordern:

- Ausbau der Strecken für höhere Geschwindigkeiten (siehe auch Abschn. 12.7),
- Ausbau der Bahnhöfe für höhere Ein- bzw. Ausfahrgeschwindigkeiten (siehe Abschn. 12.6),
- Einsatz von schnelleren Zügen,
- Einsatz von Neigezügen (Anpassung der Streckeninfrastruktur erforderlich, siehe Abschn. 12.7.4),
- Streichung von Verkehrshalten.

Andererseits kann es auch vorkommen, dass die bisherigen Fahrzeiten zu kurz sind. Hier kann eine Lösung darin bestehen, dass die Haltezeiten in den Knotenbahnhöfen verlängert werden oder dass entlang der Strecke mehr Zwischenhalte bedient werden oder der Zug mit niedrigerer Geschwindigkeit verkehrt. Um die günstigste

Lösung zu erkennen, ist eine genaue Analyse der Verkehrsströme erforderlich.

Zusammenfassung

Aus dem Prozess der Erstellung der Angebotskonzeption folgt nicht nur ein Konzept für die Ausgestaltung des Personenverkehrsangebots, sondern es ergeben sich auch die folgenden Erkenntnisse für die Infrastrukturgestaltung im Allgemeinen und die Spurplangestaltung im Speziellen:

- Aus der Reduktion des Angebotsnetzes folgen:
 - mögliche Linienlaufwege,
 - Hinweise auf die Trassenanzahl des Personenverkehrs,
 - Hinweise auf die Lage von Haltestellen sowie intra- und intermodaler Umsteigestellen,
 - Hinweise auf die Dimensionierung von Halte- und Umsteigestellen und
 - Hinweise auf die Gefäßgröße der einzusetzenden Fahrzeuge.
- Aus der Linienplanung folgen:
 - die Trassenanzahl des Personenverkehrs,
 - die Lage von Haltestellen sowie intra- und intermodaler Umsteigestellen,
 - die Dimensionierung von Halte- und Umsteigestellen,
 - die Gefäßgröße der einzusetzenden Fahrzeuge und damit die Bahnsteiglängen,
 - Hinweise auf Knoten-, Überholungs- und Kreuzungsbahnhöfe und
 - Hinweise auf die Machbarkeit eines integralen Taktfahrplans und die Lage seiner Systemknoten.
- Aus der Erstellung des Fahrplans folgen:
 - die Lage der Knoten-, Überholungs- und Kreuzungsbahnhöfe;
 - notwendige Spurplaneigenschaften der Personenbahnhöfe und Haltepunkte wie Gleisanzahlen,
 - Notwendigkeit zur gleichzeitigen Ein- und/oder Ausfahrt von Richtung und/oder Gegenrichtung,
 - Bahnsteiglängen,

- Notwendigkeit zur Einfahrt von zwei Zügen in ein Gleis und
 - Notwendigkeit kurzer Umsteigewege;
 - die Machbarkeit eines integralen Taktfahrplans und dessen Systemknoten;
 - notwendige Entwurfsgeschwindigkeiten und
- die Streckenbelegung mit Personenverkehr.

9.1.2.4 Angebotskonzepte Güterverkehr

Wie bereits in Abschn. 9.1.2.1 festgestellt, muss sich der Fahrplan des Güterverkehrs den Erfordernissen des Personenverkehrs teilweise unterordnen. Außerdem unterscheidet sich der Güterverkehr in seinen Eigenschaften grundlegend vom Personenverkehr.

Wesentliche Eigenheiten des Güterverkehrs betreffen die Zugsysteme, die Zugbildung, die Laufwege und die Trassenvergabe.

Zugsysteme und Zugbildung Die Produktionseinheit des Schienengüterverkehrs ist der Zug. Die geringe Rollreibung zwischen Rad und Schiene ermöglicht den energie günstigen Transport von großen Massen je Transporteinheit. Das günstige Lasten-Verhältnis leer/beladen von etwa 1/4 ist ein besonderes Kriterium der Güterbahn mit entsprechend hohen Anforderungen an die Konstruktion der Wagen und an die Fahrdynamik der Züge. Die Güterzüge in Deutschland können bis 740 m lang sein und dabei maximal 250 Achsen aufweisen^{9,10}, wobei die Achslasten bis zu 22,5 t betragen dürfen. Für die zulässige Länge ist die Länge der Gleise in den Zugbildungs- und Überholungsbahnhöfen maßgebend.

Diese Restriktionen aus der Gestaltung der Infrastruktur stellen keineswegs die technische Grenze des Systems Bahn dar. Massengüterzüge mit besonderer betrieblicher Behandlung sind in Deutschland bis zu 5000 t schwer. In den USA

verkehren beispielsweise Züge mit über 30 t Achslast und mit über 2 km Länge.

Der Schienengüterverkehr kann prinzipiell in die Bereiche gebrochener und ungebrochener Verkehr unterschieden werden. Beim ungebrochenen Verkehr wechselt das Transportgut auf seinem Weg vom Versender zum Empfänger das Verkehrsmittel nicht. Sowohl Be- als auch Entladung finden also mit Güterwagen in Gleisanschlüssen statt. Beim gebrochenen Verkehr wird unterwegs das Verkehrsmittel gewechselt. Da das Umladen einzelner Güter von der Straße auf die Schiene in Güterbahnhöfen sehr aufwändig ist, kommt dieser Art des Verkehrs heute nur noch geringe Bedeutung zu, z. B. bei der Holzverladung. „Klassische“ Güterbahnhöfe mit Ladestraße und Kopf- und Seitenrampe gibt es daher kaum noch.

In Abhängigkeit von der Größe der Ladeeinheiten wird eine Aufteilung vorgenommen in (siehe auch Abschn. 9.2.3.2):

- Ganzzug,
- Einzelwagen (Wagenladungsverkehr),
- Kombinierten Verkehr (begleitet und unbegleitet).

Fast völlig auf den LKW abgewandert ist der Kleingut- und Teilladungsverkehr.

Bei der Angebots- und Produktionsform Ganzzug erfolgt der Transport großer Gütermengen in kompletten Zügen ohne Unterwegsbehandlung vom Versender zum Empfänger. Es handelt sich im Allgemeinen um preispfindliche Massen- und Massenstückgüter, an deren Transport keine besonderen zeitlichen und wagentechnischen Anforderungen gestellt werden. Hierzu zählen Rohstoffe und Produkte der Montanindustrie, der Kraftwerkswirtschaft, der Mineralölgesellschaften sowie Baustoffe. Die Bahnen können ihre Systemvorteile – Bildung langer Züge und deren Transport über große Entfernungen mit geringem spezifischem Energieverbrauch – ausnutzen und an die Kunden in Form günstiger Preise weitergeben. In dieser Produktionsform werden in Deutschland seit Jahren etwas mehr als die Hälfte des Transportvolumens befördert mit allerdings relativ geringen Transportweiten und niedrigen spezifischen Erlösen. Die Ganzzüge werden in

⁹ Richtlinie 408.0711 unter 1 Gesamtzug; [4].

¹⁰ Schienennetz-Benutzungsbedingungen, unter 3.3.2.5 „Längere Züge“ sind Streckenabschnitte definiert, auf welchen auch Züge mit einer Länge von bis zu 835 m zwischen Padborg (Dänemark) und dem Rbf Maschen verkehren können; [5].

Absprache mit den Kunden zumeist zur Versorgung der Läger so eingeplant, dass geschlossene Umläufe mit möglichst geringen Kosten entstehen.

Eine besondere Form des Ganzzuges ist der Logistikzug, bei dem das Lieferkonzept zwischen Bahn und Kunde genau abgestimmt ist. Er wird im Zwischenwerksverkehr und im Zulieferverkehr, z. B. für die Automobilindustrie, als Bestandteil des Produktionsprozesses in die logistischen Abläufe der Unternehmen integriert. Durch termingenaue Transporte oft hochwertiger Halbfertigerzeugnisse oder Teile ermöglicht ein Bahntransport den Kunden Reduzierungen von Lagerhaltung, Umschlagtechnik und Fuhrpark und damit der Kapitalbindungskosten. Durch die Forderung nach exakter Einhaltung der Fahrpläne und kurzen Transportzeiten (Just in time) haben die Bahnen einen hohen Aufwand bezüglich der Überwachung und Disposition der Logistikzüge.

Beim Einzelwagenverkehr werden Frachten transportiert, die einen oder mehrere Güterwagen vollständig in Anspruch nehmen. Hinsichtlich der Beförderungszeit wurde in der Vergangenheit unterschieden in Fracht- und Eilgüterverkehr mit verschiedenen betrieblichen und verkehrlichen Behandlungen.

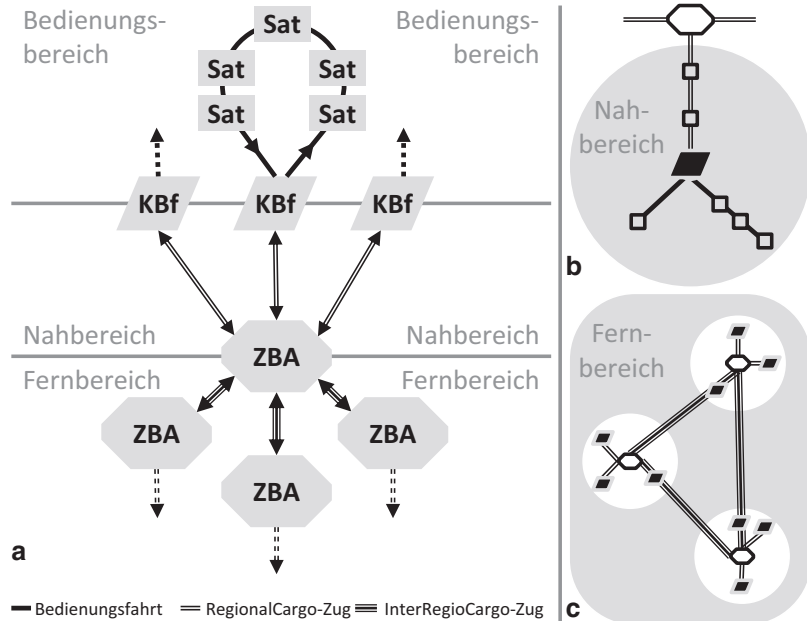
Beim Einzelwagenverkehr werden vom Kunden zumeist in Gleisanschlüssen beladene einzelne Wagen oder kleine Wagengruppen von der Bahn zu deren Zielbahnhof befördert. Für eine effektive Zugbildung ist es erforderlich, Wagen mehrerer Kunden zu sammeln und aus den für die gleiche Richtung bestimmten Wagen größere Leistungseinheiten (Züge) zu bilden, um diese gemeinsam über große Entfernungen zu befördern. Die Bahnen haben dazu Bahnhofs- und Zughierarchien eingeführt. Der hohe infrastrukturelle Aufwand in diesen Zugbildungsbahnhöfen (Rangierbahnhöfen) gepaart mit dem hohen Spitzenaufkommen in wenigen Tagesstunden (Sammeln und Fernzugbildung am Abend, Verteilen in den frühen Morgenstunden) hat hohe Stückkosten im Einzelwagenverkehr zur Folge. Die Zugbildung erfordert Zeit und stellt ein Risiko hinsichtlich Zuverlässigkeit und Pünktlichkeit dar. Als Produktionssystem der DB AG zur Beförderung der Einzelwagen und Wagengruppen wurde das 1975

eingeführte Knotenpunktsystem inzwischen in mehreren Konzentrationsschritten modifiziert. Hierbei werden die Bahnhöfe drei verschiedenen Kategorien zugeordnet (Abb. 9.7 a).

- Satellitenbahnhöfe (Sat) umfassen als kleinste Einheit im Allgemeinen Gleisanschlüsse der Kunden und – heute in geringem Umfang – öffentliche Ladestraßen. Außerdem schließen hier die regionalen Eisenbahnen und Hafenbahnen an. Diese öffentlichen und nicht-öffentlichen Nichtbundeseigenen Eisenbahnen (NE) übernehmen in Kooperation und/oder Wettbewerb auch die Bedienung von Gleisanschlusskunden in der Region. Die Satelliten sollen gemäß der Theorie kein eigenes Rangierpersonal und keine eigenen Rangierloks besitzen und einseitig an einen Knotenpunktbahnhof angeschlossen sein. Im Zuge der Flexibilisierung und Konzentration des Systems sind aber viele Satelliten mit Rangiermitteln ausgestattet worden.
- Knotenpunktbahnhöfe (Kbf) sind Leitstellen für die Steuerung und Kontrolle der Transportabläufe im Einzelwagenverkehr. Sie sind Einsatzzentrale für die Rangierlokomotiven und -personale und Konzentrationspunkt für die Erledigung sonstiger betrieblicher, verkehrlicher und verwaltungstechnischer Funktionen. Zwischen Satelliten und Knotenpunktbahnhöfen verkehren Übergabezüge bzw. RegionalCargo-Züge. Einfache Kbf bilden lediglich einen Abgangszug für den übergeordneten Rangierbahnhof, mehrfach angebundene Kbf sortieren die Abgangswagen vor und benötigen daher eine größere Infrastruktur.
- Rangierbahnhöfe (Rbf) bzw. Zugbildungsanlagen (ZBA) dienen der Bildung und Auflösung von Güterzügen und dem Wagenaustausch (Wagenumstellung). Sie bilden die Schnittstelle zwischen dem Nahbereich, der sich aus Sat, Kbf und Rbf zusammensetzt und dem Fernbereich. Die Verbindung zwischen den Kbf und den Rangierbahnhöfen übernehmen Nahgüterzüge bzw. InterRegioCargo-Züge.

Beim Nahbereich handelt es sich im Allgemeinen um ein monozentrisches Netz (Abb. 9.7 b), während der Fernbereich die Form eines polyzentrischen Netzes (Abb. 9.7 c) aufweist.

Abb. 9.7 Produktionssystem der DB AG zur Beförderung der Einzelwagen und Wagengruppen



Die Anlagen des Schienengüterverkehrs gehören dem Eisenbahninfrastrukturunternehmen und werden von Transporteuren (Eisenbahnverkehrsunternehmen) gegen Entgelt (Anlagenpreissystem) genutzt. Im Zuge der laufenden Anpassungen des Transportsystems mit einer starken Konzentration sind die Bedienungsbereiche immer größer geworden. Die Umstrukturierungen in der Wirtschaft haben zu einem starken Rückgang der sporadischen Gleisanschlussverkehre in der Fläche und zu einer bevorzugten Bedienung der Kunden mit starkem und regelmäßigem Verkehr geführt.

Der Einzelwagenverkehr ist das klassische Rückgrat des Schienengüterverkehrs. Im Einzelwagenverkehr kommt es durch den direkten Wettbewerb mit dem Lkw zu einem enormen Preisdruck. Dennoch hat der Einzelwagenverkehr große Bedeutung für das Gesamtsystem des Güterverkehrs großer Eisenbahnverkehrsunternehmen. So werden alle Rangier- und Bedienfahrten vom Einzelwagenverkehr durchgeführt, so dass ohne ihn eine umfassende Kundenbedienung auch im Ganzzugverkehr und Kombinierten Verkehr nicht möglich wäre. Leerwagen und Schadwagen werden aus dem Ganzzugverkehr und Kombiniertem Verkehr in den Einzelwa-

genverkehr übergeben, um so an Ihr Ziel für die Beladung bzw. Reparatur zu gelangen. Auch im internationalen Einzelwagenverkehr werden die Verkehre an verkehrlich günstigen Punkten des Einzelwagenverkehrs gebündelt und in die Empfangspunkte im Ausland gefahren. Zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit des Einzelwagenverkehrs existiert zudem neben den nationalen Produktionssystemen im europäischen Rahmen eine Produktionsallianz zwischen sieben Güterbahnen¹¹.

Das Fundament des weiterentwickelten Produktionssystems des Einzelwagenverkehrs basiert auf relativ wenigen, aber leistungsstarken Zugbildungsanlagen (ZBA). Die Belastung der Anlagen soll möglichst gleichmäßig über 24 h erfolgen, um so die vorhandenen Ressourcen gut auszulasten und um Spitzen zu glätten. Hierzufahren die Züge zwischen den großen ZBA verstetigt. Allerdings ist mit der angestrebten Verstetigung keine starre, minutengenaue Zugfolge –

¹¹ CD Cargo (Tschechische Republik), CFL cargo (Luxemburg), DB Schenker Rail (Deutschland), Green Cargo (Schweden), Rail Cargo Austria (Österreich), SBB Cargo (Schweiz) und SNCB Logistics (Belgien); <http://xrail.eu/>, Zugriff am 22. Mai 2013.

wie im Personenverkehr – gemeint, sondern eine Verteilung von Zugfahrten über 24 h in möglichst gleichmäßigen Abständen. Gleichwohl wird ein großer Teil des Aufkommens in der Nacht abgewickelt. Dies ergibt sich allein schon aus der Anforderung vieler Kunden, Güter vorwiegend nachmittags zu versenden und morgens zu empfangen.

In Zukunft wird bei DB Schenker Rail eine stärkere Verknüpfung des Ganzzug- und Einzelwagenverkehrs durch Bündelung von Verkehrsströmen nach dem Vorbild nordamerikanischer Bahnen angestrebt (Geschäftsmodell *Netzwerkbahn*¹²). Hierdurch soll einerseits eine bessere Auslastung der Züge sowie andererseits eine bessere Planbarkeit der Einzelwagenverkehre für den Kunden erreicht werden. Kern ist ein Buchungssystem für den Einzelwagenverkehr, welches ein verbessertes Kapazitäts- und Störfallmanagement bei gleichzeitig beschleunigten Wagenumläufen auf Basis von Transportplänen ermöglicht¹². Dabei bilden Wagengruppen aus dem Ganzzug- und Einzelwagenverkehr mit ähnlichen Zielen, welche eine möglichst lange Strecke ohne Änderung der Zugzusammensetzung zurücklegen, als „Ankerblöcke“ die Basis der Zugbildung. Diese Ankerblöcke können bis einen Tag vor Abfahrt mit weiteren Wagen oder Wagengruppen vervollständigt werden. Das neue System bietet mehr Flexibilität für die Ganzzugkunden und erhöht die Planbarkeit für die Einzelwagenkunden.¹³

Der Kombinierte Verkehr ist die Kooperation verschiedener Verkehrsträger im Verlauf von Transportketten, wobei das Transportgefäß beim Wechsel der Transportmittel beibehalten wird. Das Transportgefäß ist standardisiert (Großcontainer, Wechselbehälter und Sattelanhänger) und erleichtert so den Wechsel zwischen den Verkehrsträgern. Der Kombinierte Verkehr ermöglicht ökonomisch und ökologisch günstige Haus-Haus-Transporte, ohne dass das Transportgut selbst umgeschlagen werden muss. Zwischen den Umschlagbahnhöfen erfolgt ein gebündelter

Transport über weite Entfernungen auf der Schiene. Das Sammeln und Verteilen der Transportgefäße in der Fläche erledigt der LKW. Der Kombinierte Verkehr wird aus Bahnsicht in Huckepackverkehr (Straßengüterfernverkehr auf der Schiene) und Großcontainerverkehr unterschieden. Einem eher stagnierenden Binnenverkehr stehen große Wachstumsraten im internationalen KV und im Hafen-Hinterlandverkehr gegenüber.

Die KV-Ladeeinheiten (LE) werden mit einem Straßenfahrzeug vom Versender zum nächsten Umschlagbahnhof (Ubf) befördert. Dort erfolgt die Umladung der Ladeeinheiten auf Spezialwagen für die Weiterbeförderung auf der Schiene mittels elektrischer Großportalkräne. Spezielle und schnelle KV-Züge verbinden die wichtigsten Ubf in Europa bis ca. 700 km über Nacht und darüber in Tag A – Tag C – Verbindungen. Schwächere Relationen werden über Drehscheiben befördert, in denen Wagengruppen zwischen den Zügen des Kombinierten Verkehrs ausgetauscht werden. Sporadische Ströme des Kombinierten Verkehrs werden im Netz des konventionellen Einzelwagenverkehrs transportiert. Vom Empfangsumschlagplatz wird der Behälter mit einem Straßenfahrzeug zum Empfänger geliefert. Es wird aber auch die Be- oder Entladung in Privatgleisanschlüssen praktiziert.

Beim unbegleiteten Kombinierten Verkehr wird das Transportgut in Containern, Wechselbehältern oder –brücken oder Sattelanhängern transportiert. Großcontainer (ISO und Binnencontainer) sind stapelbar und verfügen über einheitliche Eckbeschläge, die zum Umschlag und zur einfachen Befestigung auf den Schienentragwagen und den Lkw erforderlich sind.

Wechselbehälter sind abnehmbare teilweise verstärkte Lastwagenaufbauten, die mit einem universalen Ladegeschirr zwischen Schiene und Straße umgeschlagen werden können. Kleine Wechselbehälter weisen mit ihren Stützfüßen große logistische Vorteile auch außerhalb des Systems des Kombinierten Verkehrs auf.

Kranbare Sattelanhänger werden vertikal auf einen Taschenwagen umgeschlagen. Da die Vor- und Nachläufe und die Umschlagkosten transportweitenunabhängig sind, ist unter heutigen Randbedingungen eine Mindesttransportentfer-

¹² DB Schenker Rail (2012); [6].

¹³ Kraft G (2013) auf Seite 10 unter „Wie funktioniert das neue Geschäftsmodell *Netzwerkbahn*“ und „Verbindlicher Transportplan sorgt für mehr *Verlässlichkeit*“; [7].

nung von 300–500 km erforderlich, um in den Bereich der Wirtschaftlichkeit zu kommen.

Beim begleiteten Kombinierten Verkehr („Rollende Landstraße“) werden komplette Lastzüge und Lkw transportiert. Die Lastwagenfahrer begleiten in einem Liegewagen den Zug. Im Allgemeinen wird diese Form des Kombinierten Verkehrs unter verkehrspolitischen Rahmenbedingungen (Umweltaspekten) eingeführt. Das ungünstige Nutzlast/Totlast-Verhältnis und der konstruktive Aufwand mit extrem kleinen Rädern an den Tragwagen, um wegen begrenzter Lichtraumprofile niedrige Ladeflächen zu erreichen, sprechen gegen diese Technik des Kombinierten Verkehrs.

Zunehmend werden alternative Umschlagtechniken wie Schnellumschlaganlagen oder bimodale Techniken (Roadrailer) eingesetzt. Produktionsformen im Kombinierten Verkehr sind:

auf Relationen mit großem Transportaufkommen:

- Shuttlezüge: Zielreiner Verkehr zwischen zwei Umschlagbahnhöfen (Ubf) ohne An- und Abkuppeln von Wagen (regelmäßig mehr als etwa 15 Sendungen je Tag und Richtung) als Pendel,
- Direktzug: Zielreiner Verkehr zwischen zwei Ubf mit Anpassung der Zuglänge und der Zugzusammensetzung an das Aufkommen, auf Relationen mit geringerem Transportaufkommen:
- Mehrgruppenzüge: Tausch von Zuggruppen in geeigneten Ubf (Drehscheiben) oder/und Aufnahme oder Abgabe von Wagengruppen im Versand- oder Empfangsgebiet.

Der Zwang zu Direktzügen aus qualitativen und wirtschaftlichen Gründen führt zur Konzentration auf wenige große Umschlagbahnhöfe, die allerdings selten allein einen Ballungsraum abdecken können. Zum Anschluss von Neben-Ubf an die hochwertigen Zugverbindungen werden Antennenzüge oder regionale Linienzüge (mit Zwischenhalten) eingesetzt.

In MegaHubs soll das derzeitige Drehscheibensystem perfektioniert werden. Durch Abstimmung der Zugankünfte und Automatisierung des Umschlages der LE von einem Zug zum anderen werden die Aufenthaltszeiten gegenüber dem

Gruppenaustauschverfahren drastisch verkürzt. Ein erstes MegaHub ist im Raum Lehrte bei Hannover in der Realisierung.

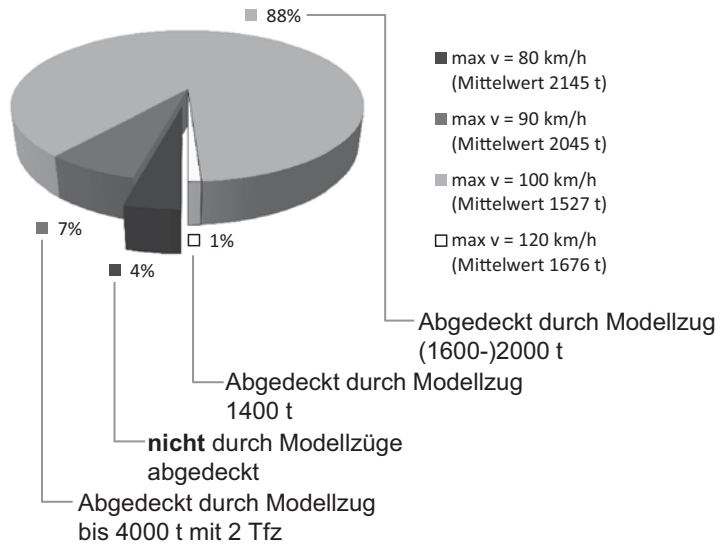
Industrialisierter Fahrplan im Güterverkehr Heute erfolgt die Fahrplanerstellung im SGV rein nachfrageorientiert (unsystematisch) und ist damit starken Schwankungen (z. B. Laufweg und Zugcharakteristik) unterworfen. Sie harmoniert deshalb nicht mit den heute meist systematischen Personenverkehren (siehe Abschn. 9.1.2.3). Ferner müssen im Gelegenheitsverkehr eingehende Trassenbestellungen der EVU in der Reihenfolge des Bestelleingangs abgearbeitet werden, was nicht immer zu einer optimalen Lösung im Sinne der Gesamtkapazität führt.

Für ein langfristiges, netzweites Planungskonzept sind solche Nachfragedetails jedoch unbekannt, weshalb im Langfristfahrplan auf die genannten systematisierten, angebotsorientierten Güterverkehrstrassen mit Modellzügen zurückgegriffen wird (Abb. 9.8). Diese Modellgüterzüge sind darauf ausgelegt, einen möglichst großen Teil der zukünftig zu erwartenden Güterzüge zu repräsentieren. Das Gros der langlaufenden Güterzüge fährt schon heute maximal 100 km/h. Diese Geschwindigkeit ist aus Marktgesichtspunkten ausreichend. Höhere Geschwindigkeiten führen zu überproportional höherem Energieverbrauch. Besonders auf hoch belasteten Strecken mit Personennahverkehr „schwimmen“ Güterzüge mit und drosseln häufig ihre Beförderungsgeschwindigkeit auf 70 bis 80 km/h. Auf ausgewählten Relationen und besonders für den „Nachtsprung“ werden auch Züge mit einer Höchstgeschwindigkeit von 120 km/h geplant. Diese sind auf Strecken ohne Nahverkehr oder mit wenigen Nahverkehrshalten auch kapazitiv zu empfehlen.

Noch stärker als die Höchstgeschwindigkeit sind die Last und Länge der Züge für die Fahrdynamik entscheidend. Während die Länge der Züge Einfluss auf die möglichen Überholpositionen hat, beeinflusst die Last besonders bei Anfahrvorgängen den notwendigen Zeitbedarf und damit auch die Kapazität. Mit der Wahl eines im heutigen Vergleich recht schweren Güterzuges wird für die systematisierten Trassen neben der

Abb. 9.8 Abbildung des Güterverkehrs auf der Strecke Regensburg – Passau durch Modellzüge

Geschwindigkeitsanteil im Güterverkehr auf der Strecke Regensburg - Passau



ausreichenden Transportkapazität (und damit letztlich der Wirtschaftlichkeit) sichergestellt, dass auch Zugkonfigurationen mit etwas geringerer Leistung in der Lage sind, die angebotenen systematischen Trassen zu nutzen. Die Qualität der Trassen bezüglich ihrer Reisezeit stellt ein wichtiges Kriterium für die Beurteilung der Marktakzeptanz dar (Abb. 9.9).

Zusammenfassung

Für die Infrastrukturgestaltung ergeben sich die folgenden Konsequenzen aus der Angebotskonzeption des Güterverkehrs:

- Notwendigkeit von Satellitenbahnhöfen mit entsprechender Ausstattung (Gleise mit Gleisanschlüssen, Gleislänge zur Wagenübergabe),
- Notwendigkeit von Knotenbahnhöfen mit entsprechender Ausstattung (Ein-, Ausfahrgleise; Aufstell-, Abstell-, Rangier- und Lokfahrgleise),
- Notwendigkeit von KV-Terminals und Umschlaganlagen mit entsprechender Spezialausstattung (Portalkran, Querverschiebeeinrichtungen, Schüttgutverladeeinrichtungen, ...),

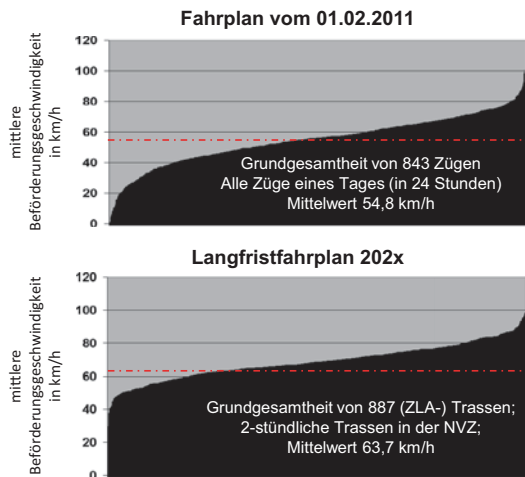


Abb. 9.9 Vergleich der Güterverkehre im Ist-Zustand mit systematischen Gütertrassen im Langfristfahrplan

- Notwendigkeit von leistungsstarken und effektiv arbeitenden Rangierbahnhöfen (Zugbildungsanlagen) mit günstiger Lage im Netz und
- Notwendigkeit von Überhol- und Kreuzungsbahnhöfen (insbesondere bei starkem und/oder schnellem Personenverkehr).

9.1.2.5 Gesamtfahrplan

Rechtliche Rahmenbedingungen Im Netzfahrplan hat der Eisenbahninfrastrukturunternehmer (EIU) die unterschiedlichen Interessen der einzelnen Verkehrsarten – Schienenpersonenfernverkehr, Schienenpersonennahverkehr und Güterverkehr – untereinander zu koordinieren und zu einem Gesamtwerk zusammenzuführen.

Der Wettbewerb nimmt im deutschen Eisenbahnverkehr einen sehr hohen Stellenwert ein. Weit über 300 Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) nutzen das Schienennetz der DB Netz AG. Über die diskriminierungsfreie Vergabe der Trassen – juristisch wird dies auch als Zuweisung von Trassen bezeichnet – wacht die Bundesnetzagentur (BNetzA) als Regulierungsbehörde. Keine Zugangsberechtigten zu diskriminieren, muss wegen der resultierenden Konsequenzen für Infrastrukturmaßnahmen bereits bei der Langfristfahrplanung berücksichtigt werden. Anderenfalls könnte bereits das gezielte Vorenthalten der oben aufgeführten speziellen Infrastrukturanforderungen einzelner Eisenbahnverkehrsunternehmen einem Diskriminierungstatbestand entsprechen.

Fahrplankonstruktion Die Bearbeitung des Fahrplans (siehe Abschn. 8.2.5.1) wird elektronisch mit Hilfe des DV-Verfahrens „Rechnerunterstützte Trassenkonstruktion RUT-K“ durchgeführt. Trassenkonflikte (Unvereinbarkeiten zwischen unterschiedlichen Trassen) müssen aufgelöst werden. Dies geschieht durch Änderungen der zeitlichen oder, wenn nicht anders möglich, räumlichen Trassenlagen, durch betriebliche Halte oder betrieblich bedingte Haltezeitverlängerungen, betrieblich bedingtes Langsamfahren, Überholungen und Kreuzungen. Reichen diese Mittel nicht aus um den Vorgaben der Angebotskonzeption gerecht zu werden, müssen entweder die Angebotskonzeption überarbeitet oder Infrastrukturänderungen (siehe Zusammenfassung von Abschn. 9.1.2.3 und Abschn. 9.1.2.4) vorgehen werden.

Der so konstruierte Fahrplan muss neben der Übereinstimmung mit der Angebotskonzeption (Planungsqualität¹⁴) auch stabil sein und

eine gute Betriebsqualität ermöglichen (siehe Abschn. 9.3). Die Stabilität des Fahrplans ist „seine Fähigkeit, die aus Einbruchs- und Urverspätungen resultierenden Folgeverspätungen zeitlich und räumlich zu begrenzen oder abzubauen“ und „ist eine wesentliche Voraussetzung für eine gute Betriebsqualität“¹⁴. Ein Fahrplan gilt als stabil, wenn

- die Summe der von außen in das Bahnsystem eingetragene Verspätungen (Einbruchsverspätungen) und der im System entstehenden Verspätungen (Urverspätungen) größer ausfällt als
- die Summe der Verspätungen der Züge, welche das System verlassen (Ausbruchsverspätungen) und der Verspätungen der Züge, welche im System enden (Ankunftsverspätungen)¹⁴.

Pufferzeiten¹⁵ und Fahrzeitzuschläge, welche beide einen Verbrauch von Infrastrukturkapazität mit sich bringen, sind die entscheidenden Faktoren für einen stabilen Fahrplan¹⁶. Kann die Fahrplanstabilität mittels geeigneter Nachweisverfahren (eisenbahnbetriebswissenschaftliche Verfahren; siehe Abschn. 9.3) nicht nachgewiesen werden, sind wiederum entweder Änderungen der Angebotskonzeption oder der Infrastruktur notwendig.

9.2 Spurplangestaltung

9.2.1 Einleitung

In Abschn. 9.1.2 wurde der Prozess der Erstellung des Langfristfahrplans beschrieben. Dabei wurde immer wieder auf die Notwendigkeit verwiesen, die Infrastruktur entsprechend der Anforderungen, welche sich aus dem Fahrplan ergeben, anzupassen. Im folgenden Abschnitt werden daher zunächst die Aufgaben der Infrastruktur erläutert, um dann daraus die typischen Elemente des Spurplans abzuleiten und die bei der Anordnung dieser Elemente vorhandenen Freiheitsgrade und Zwangslagen zu beschreiben. Auf geometrische Zwänge wird dabei wegen der Konzentration auf

¹⁴ Pacht J (2008) unter 6.4 „Fahrplanqualität und Fahrplanleistung“ auf S. 218; [3].

¹⁵ siehe Pacht J (2008) 6.2 „Zeitanteile im Fahrplan“ ab Seite 196; [3].

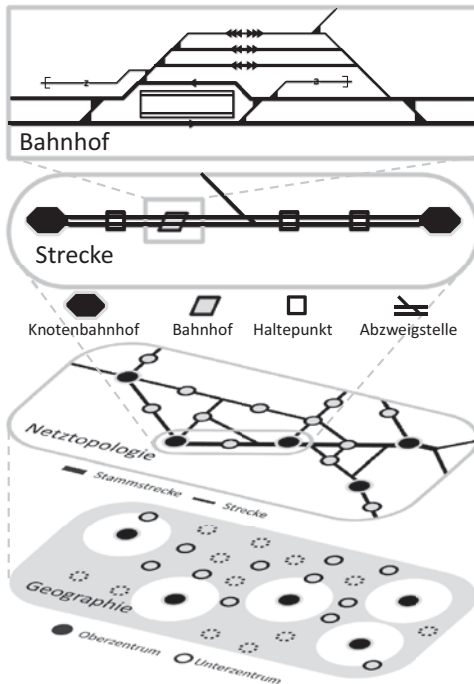


Abb.9.10 Zusammenhang zwischen Netztopologie sowie Strecken- und Bahnhofsspurplan

betriebliche Aspekte nicht eingegangen (für Informationen zur Geometrie [Trassierung] siehe Abschn. 12.6 und für Weichen Abschn. 5.3).

Aus der Erstellung des Langfristfahrplans folgen (siehe Zusammenfassungen am Ende von Abschn. 9.1.2.3 und Abschn. 9.1.2.4) die

- Netztopologie,
- Lage und Art von Betriebsstellen und Verkehrsstationen (z. B. Haltepunkte) im Netz sowie
- Gestaltung und Dimensionierung von Strecken, Betriebsstellen und Verkehrsstationen.

Hierbei handelt es sich bei der Netztopologie um eine makroskopische Sicht auf die Infrastruktur, während die Gestaltung der Betriebsstellen eine mikroskopische Betrachtung erfordert.

In Abb. 9.10 wird die Bahninfrastruktur in drei typischen Skalierungsgraden über der zugrundeliegenden Landesgeographie dargestellt.

Die Netztopologie ist das Ergebnis einer gesellschaftlich-technischen Evolution und hat sich zur Befriedigung bestimmter gesellschaftlicher Bedürfnisse und Interessen herausgebildet. Da

die der Netztopologie zugrundeliegenden gesellschaftlichen Anforderungen einem ständigen Wandel unterliegen, findet auch eine ständige Anpassung des Eisenbahnnetzes statt. Wesentliche Eigenschaften der Netztopologie sind:

- die Lage der Knotenbahnhöfe und Abzweigstellen (siehe Abschn. 8.2.4) in der Landesgeografie,
- die Lage von sonstigen Betriebsstellen (die keine Knoten sind) und Verkehrsstationen sowie
- der Streckenstandard (z. B.: Gleiszahl, Elektrifizierung, Entwurfsgeschwindigkeit, Bahnhofsabstand, Ausbaugrad der Bahnhöfe).

Bei Betrachtung einer Strecke im Detail spielen weitere Eigenschaften eine Rolle, welche auf Ebene der Netztopologie nicht beachtet werden müssen. Einen wichtigen Komplex stellt die Trassierung dar (für Details siehe Kap. 12). Bei der Trassierung wird die Strecke unter Verwendung geometrischer Elemente wie Geraden und Kreisbögen konstruiert. Die Trassierung ist ein technischer Vorgang, welcher vor allem dazu dient, die gestellten Anforderungen bezüglich der Einpassung der Bahn in die Umgebung, der Reisezeiten und der Verfügbarkeit der Strecken für vorgegebene Zugattungen sicher zu stellen.

Neben dieser geometrischen Gestaltung muss eine Strecke aber auch betriebliche und verkehrliche Anforderungen erfüllen, welche bei der Deutschen Bahn in der Ril 413¹⁶ in den bereits erwähnten Streckenstandards geregelt sind. Die Wahl eines Streckenstandards erfolgt nach Maßgabe der spezifischen Anforderungen an die konkrete Strecke und es sind unter anderem folgende Streckeneigenschaften geregelt:

- Verkehrsart (Personen-, Misch-, Güter- oder Regionalverkehrsstrecke),
- Leitgeschwindigkeit, maximale Längsneigung (beides für die Trassierung entscheidend),
- Standardelemente (Anzahl Streckengleise, Gleisabstand, Überholungsgleisabstand, Lichtraum, Streckenklasse [zulässige Achs-

¹⁶ Richtlinie 413.0301 Streckenstandards; [8].

last], Angaben zur Leit- und Sicherungstechnik [unter anderem Blocklänge]),

- Anordnung und Art der Bahnhöfe,
- Ausstattung der Bahnhöfe mit Überholungs- und Kreuzungsgleisen und Bahnsteigen sowie deren Nutzlängen und Ein- bzw. Ausfahrge-
schwindigkeiten,
- Abstand der Überleitverbindungen und die Überleitgeschwindigkeit,
- Traktionsart und
- Tagesganglinien der Anzahl Züge je Stunde nach Verkehrsart.

Für den Spurplan der Streckengleise sind nur die Anzahl der Streckengleise¹⁷ und die Überleitverbindungen relevant. Im Vergleich zu einem Bahnhof weist der Spurplan der Streckengleise daher relativ wenige Freiheitsgrade auf.

Während die Spurpläne von Strecken zwischen den Betriebsstellen (Abschn. 8.2.4) keine Weichen enthalten und die Betriebsstellen der freien Strecke (Abschn. 8.2.4.2) eher einfache Spurpläne aufweisen, fallen die Spurpläne der Bahnhöfe (Abschn. 8.2.4.1) deutlich komplexer aus. Es werden daher verschiedene Gleisarten unterschieden und es besteht die Notwendigkeit, zwischen den Gleisen eines Bahnhofs Verbindungen zu schaffen.

9.2.2 Betriebliche Funktionen von Bahnhöfen

In Deutschland ist ein Bahnhof als Bahnanlage mit mindestens einer Weiche, wo Züge beginnen, enden, ausweichen oder wenden dürfen, definiert.¹⁸

Zur Definition des Begriffs „Zug“ siehe Abschn. 8.2.5.1.

In Abb. 9.11 sind die Begriffe „Beginnen“, „Enden“, „Ausweichen“ und „Wenden“ beispielhaft in einem Bahnhof dargestellt, der in Anlehnung an obige Definition nur über eine Weiche verfügt, also gewissermaßen einen „Minimalbahnhof“ darstellt.

Wie in Abschn. 9.1 beschrieben, ergibt sich die Notwendigkeit, in einem Bahnhof bestimmte betriebliche Vorgänge zu ermöglichen, aus dem Fahrplan und den vorhersehbaren Abweichungen bei seiner Umsetzung im laufenden Betrieb. Die betrieblichen Vorgänge erfordern somit eine bestimmte Bahnhofsinfrastruktur, insbesondere die Anzahl und Länge der Kreuzungs- und Überholungsgleise sowie ihre Ausstattung mit Bahnsteigen (siehe auch Abschn. 9.2.3). Darüber hinaus müssen die Anlagen eines Bahnhofs bei entsprechendem Bedarf das Bilden und Auflösen von Zügen sowie das Beistellen, Abziehen, Umsetzen, Ordnen, Abstellen sowie das Be- und Entladen von Wagen ermöglichen (siehe Abschn. 9.2.5.3).

Als Elemente eines Eisenbahnnetzes weisen Bahnhöfe neben ihren in der EBO definierten Aufgaben nach Abb. 9.11 weitere Funktionen auf, welche im Wesentlichen darin bestehen, Zügen den Übergang auf andere Strecken zu ermöglichen, das heißt die Eisenbahnstrecken zu einem Eisenbahnnetz zu verknüpfen. Unter diesem Blickwinkel werden Bahnhöfe unterschieden in

- Endbahnhöfe (Endbahnhöfe liegen am Ende einer Eisenbahnstrecke),
- Zwischenbahnhöfe (Zwischenbahnhöfe liegen im Verlauf einer einzelnen Eisenbahnstrecke) und
- Knotenbahnhöfe (in Knotenbahnhöfen treffen sich mehrere Eisenbahnstrecken).

Knotenbahnhöfe prägen somit die Gestalt und den Vernetzungsgrad des Eisenbahnnetzes.

Von eisenbahnbetrieblicher Bedeutung ist, welche Qualität die Verknüpfung der Strecken im Knotenbahnhof aufweist. Dies betrifft z. B. die Frage, ob die Möglichkeit besteht, Züge von einer durchgehenden Strecke auf eine im Knotenbahnhof anschließende Strecke übergehen zu lassen und, falls ja, mit welcher Geschwindigkeit dies möglich ist. Es stellt sich also die Frage nach der „Durchlässigkeit“ des Knotenbahnhofs beim Streckenübergang.

Bahnhöfe mit geringer Durchlässigkeit treten in folgenden Fällen auf:

- die verbundenen Strecken unterscheiden sich substanziell in technischer oder regulatorischer Hinsicht (z. B.: verschiedene Spurweite,

¹⁷ in Deutschland maximal zwei Gleise je Strecke, darüber ist formal eine weitere Strecke erforderlich.

¹⁸ siehe Abschn. 8.2.4.1, Satz 3; siehe auch EBO § 4 Abs. (4).

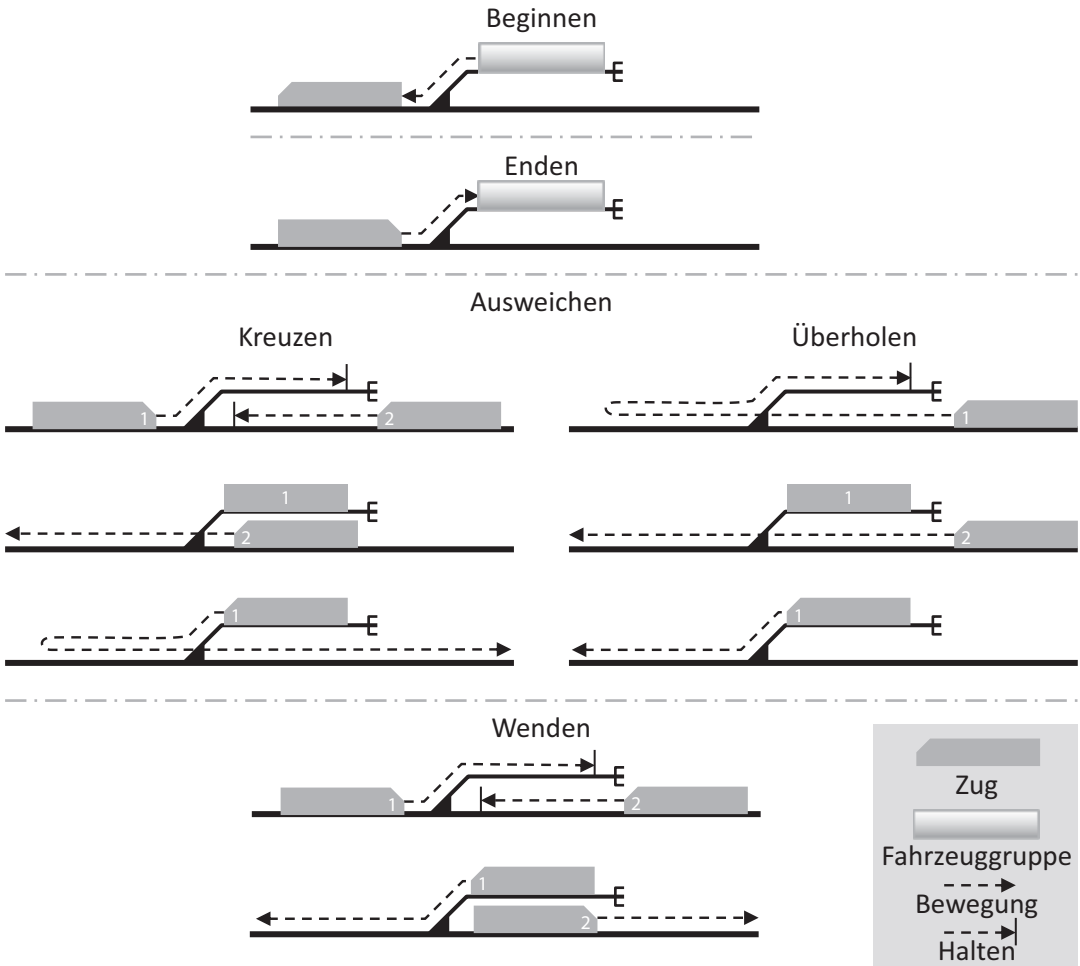


Abb. 9.11 Beginnen, Enden, Ausweichen und Wenden in einem Bahnhof mit einer Weiche

verschiedene Betriebsordnung oder verschiedene Bahnsysteme) oder

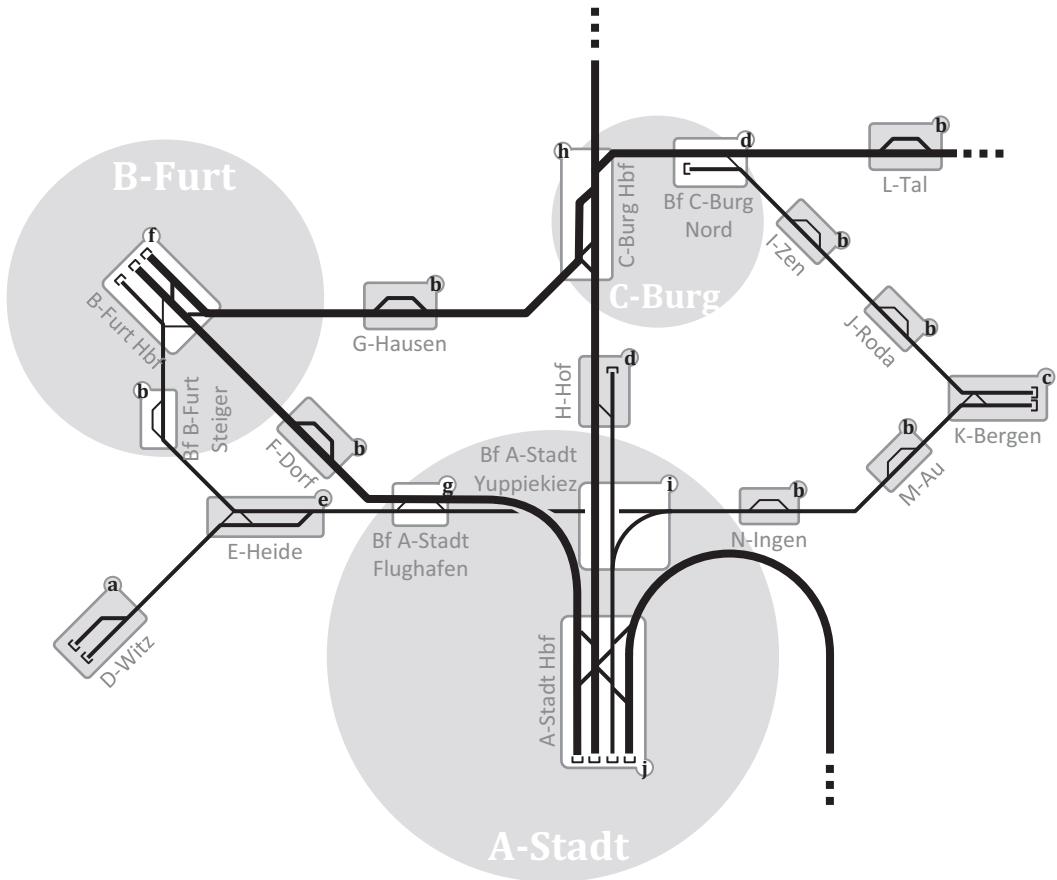
- ein Übergang von Zügen ist fahrplanmäßig nicht vorgesehen (dies ist der häufigste Fall) oder sogar unerwünscht (z. B. zur Zeit der Länderbahnen in Deutschland an Grenzen von Bahnverwaltungen).

Bezüglich ihrer Durchlässigkeit können Knotenbahnhöfe folgendermaßen kategorisiert werden:

- geringe Durchlässigkeit: Anschlussbahnhof (Abb. 9.12 d), Berührungsbahnhof (Abb. 9.12 g) Ein Anschlussbahnhof hat den Charakter einer Kombination aus Zwischenbahnhof der durchgehenden und Endbahnhof der angeschlossenen Strecke. Im Berührungsbahnhof tangieren sich zwei durchgehende Strecken,

- große Durchlässigkeit: Trennungsbahnhof (Abb. 9.12 e; auch Verbindungsbahnhof genannt), Kreuzungsbahnhof (Abb. 9.12 h) Ein Trennungsbahnhof hat (im Unterschied zum Anschlussbahnhof) den Charakter einer Abzweigstelle (siehe Abschn. 8.2.4.2) in Kombination mit Bahnhofsfunktionen. Im Kreuzungsbahnhof¹⁹ kreuzen sich zwei durchgehende Strecken, die im Bahnhof parallel nebeneinander liegen und dadurch den Streckenübergang ermöglichen.

¹⁹ Der Begriff „Kreuzungsbahnhof“ wird außerdem für die Bahnhöfe eingleisiger Strecken verwendet, welche dem Kreuzen von Zügen (siehe Abb. 9.11) dienen.



1. **eine Streckenrichtung**
 - a. **Endbahnhof** als Kopfbahnhof,
2. **zwei Streckenrichtungen:**
 - b. **Zwischenbahnhof** als Durchgangsbahnhof,
 - c. **Zwischenbahnhof** als Kopfbahnhof (mit Spitzkehre; alternativ könnte es sich auch um den Endbahnhof von zwei Strecken handeln),
3. **drei Streckenrichtungen:**
 - d. **Anschlussbahnhof** als Durchgangsbahnhof,
 - e. **Trennungsbahnhof** als Durchgangsbahnhof,
 - f. **Knotenbahnhof** als Kopfbahnhof (mit drei endenden Strecken),
4. **vier und mehr Streckenrichtungen**
 - g. **Berührungsbahnhof** als Durchgangsbahnhof,
 - h. **Kreuzungsbahnhof** als Durchgangsbahnhof,
 - i. **Turmbahnhof** (Durchgangsbahnhof; im Beispiel sechs Streckenrichtungen),
 - j. **Knotenbahnhof** als Kopfbahnhof (mit vier endenden Strecken)

Abb. 9.12 Beispielhaftes Eisenbahnnetz mit Bahnhöfen verschiedener Bauart

Es sind auch Formen mehrfacher Anschluss- oder Trennungsbahnhöfe sowie beliebig komplizierte Kombinationen der vier Grundformen denkbar, die in der einen oder anderen Form auch praktisch im Eisenbahnnetz vorkommen.

Weitere Details zur Gestaltung von Bahnhofs-
surplänen werden unter Abschn. 9.2.5.1 behandelt.

Die aus der Entstehungsgeschichte der Eisenbahn naheliegende Bauform des Endbahnhofs im Sinne seiner gleisplantechnischen Gestalt ist der Kopfbahnhof (Abb. 9.12 a, c, f und j). Sein kennzeichnendes Merkmal sind die stumpf endenden Gleise. Bahnhöfe, in denen die Gleise nicht stumpf enden, werden bezüglich ihrer

Bauform als Durchgangsbahnhöfe (Abb. 9.12 b, d, e, g, h und i) bezeichnet.

Da das Eisenbahnnetz in seiner historischen Entwicklung durch die Verknüpfung einzelner Strecken (mit ihren Kopfbahnhöfen als jeweiligem Endbahnhof) entstanden ist, tritt die Kopfform im heutigen Netz vor allem bei größeren Knotenbahnhöfen in Großstädten auf (z. B. Leipzig Hbf²⁰, Abb. 9.12 f, j). Beim Zwischenbahnhof kommt die Kopfform im Gebirge als Spitzkehre vor (z. B. Bf Michaelstein²¹, Abb. 9.12 c).

Als Besonderheit bei Bahnhöfen in Durchgangsform existiert für Kreuzungsbahnhöfe (und Berührungsbahnhöfe) eine weitere bauliche Sonderform, der Turmbahnhof (Abb. 9.12 i; für Details siehe Abschn. 9.2.5.1). Bei dieser Form kreuzen sich zwei Strecken niveaufrei mit einem mehrstöckigen Empfangsgebäude im Kreuzungspunkt. Diese Form ist bei städtischen Bahnsystemen und im Flachland verbreitet, dort insbesondere dann, wenn eine zweite Strecke in größerem zeitlichen Abstand gebaut wird (z. B. Berlin Hbf). Turmbahnhöfe haben häufig keine Durchlässigkeit bezüglich des Streckenübergangs, weil sie nicht über Verbindungskurven verfügen. Eine Ausnahme stellt z. B. der Turmbahnhof Bf Osnabrück mit seinen 5 aufwendigen Verbindungskurven dar²².

9.2.3 Verkehrliche Funktionen von Bahnhöfen

In der in Abb. 9.10 dargestellten Landesgeographie existieren neben dem Eisenbahnnetz weitere Transportsysteme. Hierzu zählen:

- das Straßennetz,
- das Wasserstraßennetz und Seehäfen,
- Flughäfen sowie
- weitere Bahnsysteme (z. B. städtischer Nahverkehr und Industriebahnen).

Neben ihren betrieblichen Aufgaben (intramodale Funktion) müssen Bahnhöfe daher auch den Übergang von Personen und Gütern zu anderen Verkehrsträgern (intermodale Funktion) ermöglichen.

9.2.3.1 Verkehrliche Funktionen von Bahnhöfen im Personenverkehr

Die verkehrliche Funktion von Bahnhöfen im Personenverkehr besteht darin, den Reisenden den Übergang zwischen Zügen (intramodal) und zu anderen Personenverkehrsträgern (intermodal) wie zum Individualverkehr (sowohl zum motorisierten Straßenverkehr als auch zum Fußgänger- und Fahrradverkehr), zum öffentlichen Straßenpersonenverkehr, zum Flugverkehr oder zum Schiffsverkehr zu ermöglichen.

Die unmittelbare Schnittstelle des Personenverkehrs zum Eisenbahnsystem ist der Bahnsteig, dessen wichtigste Funktion darin besteht, den Reisenden die Möglichkeit zu geben, sicher und bequem ein- und auszusteigen.

Bahnsteige haben Ausstattungen zu²³:

- der Gewährleistung einer angemessenen Aufenthaltsqualität,
 - dem Schutz der Fahrgäste vor Witterungseinflüssen,
 - der Information der Fahrgäste und
 - der betrieblichen Abwicklung.
- Zu diesen Ausstattungen zählen²³:
- Witterungsschutz,
 - Wegeleit- und Informationseinrichtungen,
 - Fahrscheinautomaten und gegebenenfalls Entwerter,
 - kommerzielle Anlagen (Werbung, öffentliche Fernsprecher, Verkaufseinrichtungen),
 - Abfallbehälter,
 - sonstige Telekommunikationsanlagen (TV-Anlagen zur Zugabfertigung, Notruf, Uhren) sowie
 - Beleuchtungsanlagen.

Der Grad und Umfang der Ausstattungen ist abhängig von der Bedeutung des Bahnhofs als Personenverkehrsstation.

²⁰ Eisenbahnatlas Deutschland, Seite 58 B3 und Seite 130–131; [9].

²¹ Eisenbahnatlas Deutschland, Seite 44 B4; [9].

²² Das große Archiv der deutschen Bahnhöfe: Osnabrück; [10]; Eisenbahnatlas Deutschland, Seite 40 C1 (bzw. C2); [9].

²³ Richtlinie 813.0204 „Ausstattung der Bahnsteige und ihrer Zugänge“; [11].

Die Längen der Bahnsteige folgen primär aus der Angebotskonzeption (siehe Abschn. 9.1.2.3). Für die Breite der Bahnsteige ausschlaggebend sind das zu bewältigende Reisendenaufkommen, aber auch Aspekte der Sicherheit und Ergonomie.

Je nach Art der intermodalen Verknüpfung mit anderen Verkehrsträgern werden Bahnhöfe ggf. mit entsprechenden Bezeichnungen versehen wie z. B.

- Flughafenbahnhof (Beispiele: Frankfurt (Main) Flughafen Fernbahnhof, Frankfurt (Main) Flughafen Regionalbahnhof²⁴),
- Fährbahnhof (siehe auch Abschn. 9.2.3.2) oder
- Messebahnhof (Beispiel: Bahnhof Hannover Messe/Laaten²⁵)

Ihre Ausgestaltung und Ausstattung unterstützen dabei die jeweils besonderen Anforderungen (Beispiele: Gepäckförderanlagen im Flughafenbahnhof, Fähranleger im Fährbahnhof).

Die Einbettung des Bahnhofs in seine Umgebung spielt für die Gestaltung des Bahnhofs als intermodale Schnittstelle eine wichtige Rolle. Häufig liegen Einrichtungen anderer Verkehrsträger – wie Parkhäuser, Busbahnhöfe oder Zentralstationen des öffentlichen Personennahverkehrs (Straßenbahn- und Bushaltestellen) – in unmittelbarer Nähe.

9.2.3.2 Verkehrliche Funktionen von Bahnhöfen im Güterverkehr

Die wesentliche verkehrliche Funktion von Güterbahnhöfen besteht wie beim Personenverkehr darin, intermodale Übergänge zu ermöglichen, und zwar durch Umladen des Transportguts bzw. Transportbehälters mit Umschlaganlagen. Die Umschlaganlagen des Güterverkehrs entsprechen unter diesem Blickwinkel funktional den Bahnsteigen des Personenverkehrs.

Bei den umzuschlagenden Gütern bzw. Behältern werden folgende Arten unterschieden^{26,27}:

- Ladeeinheiten des Kombinierten Verkehrs:
 - Container, Wechselbehälter, kranbare und nicht kranbare Sattelaufleger, komplette Lastkraftwagen („Huckepackverkehr“, „rollende Landstraße“),
- Schüttgut:
 - Land- und forstwirtschaftliche Güter (wie Getreide, Dünger, Holzschnitzel, Zucker),
 - Gestein sowie Bergbau- und Bauprodukte (wie Baustoffe, Erze, Salz, Kohle),
- Kesselgut:
 - Flüssigkeiten (Öl, sonstige flüssige chemische Stoffe),
 - Gase (Erdgas, sonstige gasförmige chemische Stoffe),
- stückige Güter:
 - alle bisher aufgeführten Güter, wenn sie in kleineren Behältern (Kisten, Kanister, Flaschen) geladen sind,
 - alle weder schütt- noch fließfähigen, insbesondere aber als ein Stück handhabbaren Güter (Halbzeuge, Industriewaren, Holz).

Seit der Einstellung des Stückgutverkehrs auf der Eisenbahn vor einigen Jahrzehnten ist stückiges Gut als Transportgut der Eisenbahn nur noch dann von Bedeutung, wenn zu seiner Beförderung mindestens ein kompletter Wagen benötigt wird (Wagenladung).

Die Umschlagrichtungen unterscheiden sich nach den umzuschlagenden Gütern bzw. Behältern (Stückgut, Schüttgut, Kesselgut, Ladeeinheiten des KV) und ggf. dem korrespondierenden Verkehrsträger (Straßenverkehr, Schifffahrt, Luftverkehr).

Seit dem Aussterben des „klassischen“ öffentlichen Güterbahnhofs mit seinen Ladestraßen und Laderampen in den letzten Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts stehen an hinreichend flächendeckend verfügbaren öffentlichen Umschlaganlagen nur noch die Umschlagrichtungen des KV zur Verfügung, hauptsächlich in Form der Portalkrananlagen für den Umschlag von Containern und kranbaren Sattelauflegern. Diese sind häufig ergänzt um private oder kommunale Güterverkehrszentren, in denen vor- bzw. nachgelagerte Logistikdienstleistungen angeboten werden.

²⁴ beide Bahnhöfe: Eisenbahnatlas Deutschland Seite 152 C3; [9].

²⁵ Eisenbahnatlas Deutschland Seite 122 D3; [9].

²⁶ für Kombinierten Verkehr siehe Abschn. 9.1.2.4.

²⁷ Grau B (1966) unter 10.2.4.3.2 „Wagenladungsgut und seine Umschlagtechnik“ auf Seite 251; [12] (Beispiele wurden ergänzt).

Umschläge auch mit anderen Umschlageinrichtungen als denen des KV (Ladestraßen, Laderampen, Abfüllstationen, Schüttbunker, ...) finden in geringem Maß noch bei nichtbundes-eigenen Eisenbahnen statt sowie in privaten bzw. kommunalen Anschlussbahnen (Industriebahnen, Gleisanschlüsse), zu denen der Bahnkunde Zugang haben muss. Es ist allerdings die Tendenz erkennbar, dass in Zukunft Logistikanbieter über den KV hinaus gehende am konkreten Bedarf orientierte öffentlich nutzbare Angebote entwickeln und dazu auch eigene Güterbahnhöfe mit Umschlageinrichtungen und nachgeordneten/vorgelagerten Dienstleistungsangeboten aufbauen. Entsprechende Logistikzentren mit Bahnanschluss existieren bereits in Form sog. Railports [13, 14].

Beim Personenverkehr finden intramodale Übergänge durch Umsteigen der Reisenden unter Nutzung von Bahnsteigen statt (früher auch durch Umsetzen von Kurswagen). Vergleichbar dazu steigen Ladeeinheiten des KV zwischen Linienzügen um, in dem sie mit einem Portalkran umgeladen werden. Intramodale Verknüpfungen von Wagenladungen werden dagegen in den Bahnhöfen des jeweiligen Produktionssystems (z. B. in den Zugbildungsbahnhöfen des Einzelwagenverkehrs, siehe Abschn. 9.1.2.4) durch Auflösen und Bilden von Zügen oder durch das Abziehen und Beistellen von Wagen realisiert.

Analog zum Personenverkehr werden auch Güterbahnhöfe mit speziellen Aufgaben nach den angeschlossenen Verkehrsträgern unterschieden in Hafengebäude (Beispiele: Fährhafen Sassnitz²⁸, Hafengebäude Hamburg Hohe Schaar²⁹, Hafengebäude Duisburg-Ruhrort Hafen³⁰), Anlagen des kombinierten Verkehrs³¹ (Beispiele:

Umschlaganlagen der „rollenden Landstraße“³²; für den CargoBeamer³³ oder Modalohr³⁴ und vor allem für Container) und Flughafenbahnhöfe (Beispiele: Gleisanschluss DHL Luftfrachtdrehkreuz Leipzig/Halle³⁵).

9.2.4 Gleisarten

Die Erläuterung zur betrieblichen Einteilung der Gleise in Hauptgleise der freien Strecke, durchgehende Hauptgleise, sonstige Hauptgleise und Nebengleise findet sich in Abschn. 8.2.4.3 Zur Abgrenzung der Bahnhöfe gegenüber der freien Strecke siehe Abschn. 8.2.4.1.

9.2.4.1 Hauptgleise

Hauptgleise in Bahnhöfen werden danach unterschieden, ob sie

- Durchfahrten von Zügen erlauben (durchgehende Hauptgleise; Durchfahrten in sonstigen Hauptgleisen sind eine Frage der sicherungstechnischen Projektierung)
- Ein- und Ausfahrten von Zügen erlauben (Überholungs- und Kreuzungs-gleise)
- nur Einfahrten oder nur Ausfahrten von Zügen erlauben (Einfahrtsgleise, Ausfahrtsgleise). Ein- und Ausfahrtsgleise kommen hauptsächlich in Zugbildungsanlagen als Gruppen paralleler Gleise vor, wo eingefahrene Züge als Rangierfahrten in Nebengleise übergehen und ausfahrende Züge aus Rangierfahrten gebildet werden, die aus Nebengleisen zugeführt werden.

wird.“ (TERMINOLOGIE DES KOMBINIERTEN VERKEHRS unter 1.2 auf Seite 18; [15]).

³² begleiteter kombinierter Verkehr (vom Fahrer des Kraftfahrzeugs begleitet), siehe auch TERMINOLOGIE DES KOMBINIERTEN VERKEHRS unter 1.5 auf Seite 21; [15].

³³ CargoBeamer AG, Werkstättenstraße 4, D-04319 Leipzig, <http://www.cargobeamer.com>.

³⁴ Modalohr, BP1 Hangenbieten, F-67838, Tanneries Cedex, <http://www.modalohr.com>.

³⁵ Deutsche Post AG Zentrale Pressestelle, http://www.dp-dhl.com/de/logistik_populaer/aus_den_unternehmensbereichen/hub_leipzig.html; Eisenbahnatlas Deutschland Seite 131 A2; [9].

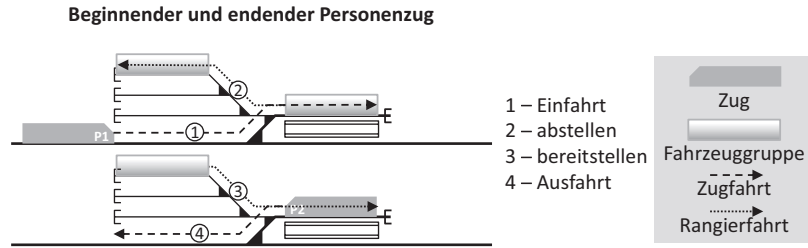
²⁸ Fährhafen Sassnitz GmbH, D-18546 Sassnitz/Neu Mürkan, <http://www.fahrhafen-sassnitz.de/>; Eisenbahnatlas Deutschland Seite 7 C2; [9].

²⁹ Hamburg Port Authority, Neuer Wandrham 4, 20457 Hamburg, <http://www.hamburg-port-authority.de/>; Eisenbahnatlas Deutschland Seite 121 D3; [9].

³⁰ Eisenbahnatlas Deutschland Seite 136 D3; [9].

³¹ „Intermodaler Verkehr, bei dem der überwiegende Teil der in Europa zurückgelegten Strecke mit der Eisenbahn, dem Binnen- oder Seeschiff bewältigt und der Vor- und Nachlauf auf der Straße so kurz wie möglich gehalten

Abb. 9.13 Nutzung eines Hauptgleises als Einfahr- bzw. Ausfahr Gleis



Die Vorgänge für unterbrochene Zugfahrten (endend, dann wieder beginnend) unter Nutzung von Nebengleisen sind, basierend auf Abb. 9.11, in Abb. 9.13 dargestellt. Der dargestellte Spurplan eignet sich als kostengünstige Lösung für von links kommende endende S-Bahnen- oder Regionalbahnlinien, wenn Wendezüge zum Einsatz kommen.

Hauptgleise werden in Lageplänen mit ihrer Gleisnummer sowie durch Pfeile und Linienstärken gekennzeichnet. Durchgehende Hauptgleise werden dicker dargestellt als die sonstigen Hauptgleise. Hauptgleise für Reise- bzw. für Reise- und Güterzüge werden mit einem, Hauptgleise nur für Güterzüge mit zwei Pfeilen, jeweils in Befahrungsrichtung, gekennzeichnet. Darüber hinaus werden Hauptgleise bei Bedarf und abhängig vom Plantyp mit weiteren Markierungen zur Verdeutlichung ihrer Funktion versehen (z. B. Pfeil im Kreis für durchgehende Hauptgleise, ausgefüllter Kreis neben der Pfeilmarkierung für S-Bahn-Gleise).

Betriebsüberholungsgleise für Güterzüge wurden herkömmlich auch mit dem Kürzel Dg (Durchgangsgüterzug) und Verkehrsüberholungsgleise für Güterzüge, welche Wagen übergeben oder übernehmen, mit dem Kürzel Ng (Nahgüterzug) gekennzeichnet. Zur Verdeutlichung der Funktion von Gleisen werden diese Kürzel im Folgenden verwendet, obwohl die entsprechenden Zuggattungen heute von den Verkehrsunternehmen anders bezeichnet werden.

9.2.4.2 Nebengleise

Nebengleise dürfen regulär nur von Rangierfahrten, das heißt mit niedriger Geschwindigkeit und auf Sicht befahren werden. Auf ihnen finden alle mit Schienenfahrzeugen zusammen hängenden Hilfsprozesse im Vorfeld oder Nachlauf von Zug-

fahrten statt bis hin zur langfristigen Abstellung von Wagen. Die dafür erforderlichen Gleise dienen entweder dem Aufenthalt von Fahrzeugen (in der Regel Wagen), der Verbindung von Gleisen oder einer Kombination davon.

Nebengleise mit Aufenthaltsfunktion (für Beispiele siehe Abschn. 9.2.5):

- Aufstellgleise: Bereitstellen von Güterwagen im Vorfeld eines Beförderungsprozesses,
- Abstellgleise: längerfristige Abstellung von Wagen,
- Ordnungsgleise (Sortiergleise): zum Sortieren von Wagen, häufig in Verbindung mit einem Ausziehgleis (siehe unten),
- Umschlaggleise, Ladegleise: Gleise mit bzw. an Umschlaganlagen,
- Behandlungsgleise: Gleise zur Durchführung von Arbeiten an Fahrzeugen,
- Wartegleise: Gleis zur Zwischenabstellung von Zuggarnituren, Wagengruppen oder Triebfahrzeugen, in der Regel im Vorfeld einer kurz bevorstehenden Verwendung.

Nebengleise mit Verbindungsfunktion:

- Verkehrsgleise (Durchlaufgleise): Verbindung von Gleisgruppen bzw. Bahnhofsteilen,
- Ausziehgleise: Gleis zum Ausziehen einer Wagengruppe mit dem Zweck, sie in ein anderes Gleis umzusetzen,
- Kehrgleis (Wendegleis): zum Umsetzen von Triebfahrzeugen von einem Zugende an das andere oder zum Ändern der Fahrtrichtung von Wendezügen.

In Nebengleisen mit Verbindungsfunktion dürfen Fahrzeuge, wenn überhaupt, nur kurzfristig abgestellt werden.

Ein Nebengleis mit besonderer Funktion ist der Schutzstumpf. Er ist ein an den abweisen Strang einer Flankenschutzweiche (siehe Abschn. 8.4.4) anschließendes kurzes Gleisstück

ohne Nutzlänge (bezüglich Nutzlänge siehe Abschn. 9.2.5.2).

Nebengleise werden mit dünner Strichstärke gezeichnet.

Typische Gleismarkierungen von Nebengleisen sind:

- a Abstellgleis, Aufstellgleis,
- W Wartegleis,
- z Ausziehgleis,
- S Ordnungsgleis (Sortiergleis),
- L Ladegleis, Umschlaggleis,
- Kgl Kehrgleis,
- ▶▶▶ Verkehrsgleis (Durchlaufgleis).

9.2.5 Anordnung der Gleise und Gleisgruppen

9.2.5.1 Hauptgleise der freien Strecke und durchgehende Hauptgleise

Streckengleise Eine Eisenbahnstrecke hat ein oder zwei Streckengleise. Liegen mehr als zwei Streckengleise auf einem Bahnkörper, handelt es sich eisenbahnbetrieblich um mehr als eine Eisenbahnstrecke, jeweils mit eigener Streckennummer.

Für die Anordnung der Gleise auf einem viergleisigen Bahnkörper wie auch für die Anordnung der durchgehenden Hauptgleise in Trennungs- und Kreuzungsbahnhöfen existieren drei grundsätzliche Möglichkeiten:

- Linienbetrieb,
- symmetrischer Richtungsbetrieb und
- verschränkter Richtungsbetrieb.

Wie in Abb. 9.14 dargestellt, bestehen die Unterschiede in der Anordnung der Fahrrichtungen der Gleise. Beim Linienbetrieb liegen zwei Strecken (Linien) nebeneinander, während beim Richtungsbetrieb die Gleise nach ihrer Fahrrichtung angeordnet sind. Der Unterschied zwischen symmetrischem und verschränktem Richtungsbetrieb besteht in der Sortierung der Gleise nach Streckenzugehörigkeit: Beim symmetrischen Richtungsbetrieb werden die Gleise der Strecken symmetrisch um die gemeinsame Achse des Gleisbündels angeordnet, wodurch die eine Strecke mittig und die andere Strecke außen liegt. Im Unterschied dazu werden die Gleise des

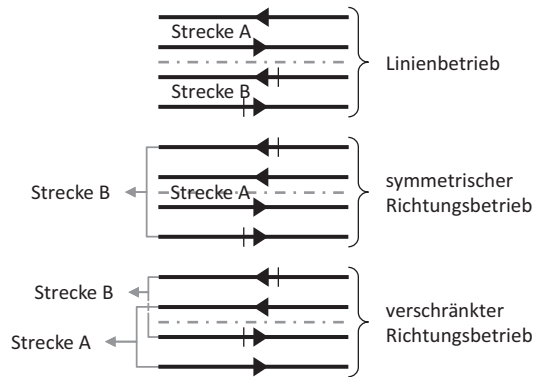


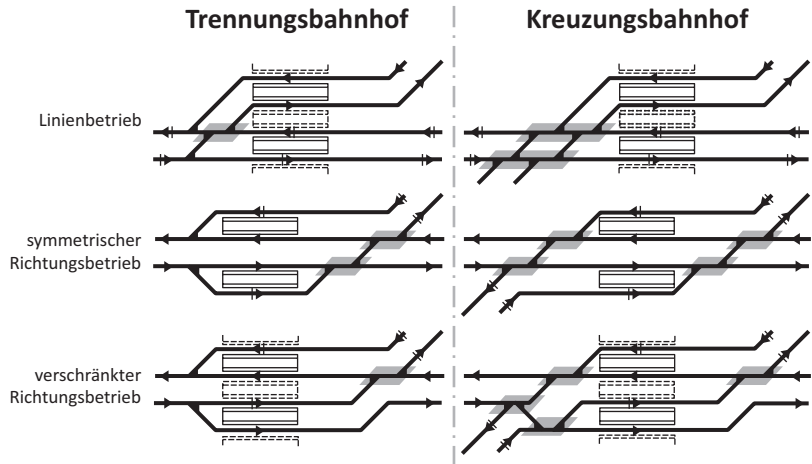
Abb. 9.14 Linien- und Richtungsbetrieb auf der freien Strecke

verschränkten Richtungsbetriebs für beide Richtungen in der gleichen Reihenfolge angeordnet, wodurch die Gleise beider Strecken ineinander greifen (verschränkt sind). Der Linienbetrieb ist z. B. für S-Bahnstrecken neben Fernbahnstrecken typisch. Bei gleichartigen Strecken insbesondere in Trennungs- und Kreuzungsbahnhöfen bringt jedoch der Richtungsbetrieb unter der Maßgabe kurzer Umsteigewege Vorteile mit sich.

Durchgangsbahnhöfe In Abb. 9.15 sind typische niveaugleiche Trennungs- und Kreuzungsbahnhöfe an zweigleisigen Strecken im Linien- und Richtungsbetrieb dargestellt. Dabei sind nur die für den Linien- bzw. Richtungsbetrieb notwendigen Gleisverbindungen dargestellt, für Gleisverbindungen siehe Abschn. 9.2.5.2 und Abschn. 9.2.5.3. Im Linienbetrieb muss beim richtungsgleichen Umsteigen auf die andere Strecke immer der Bahnsteig gewechselt werden. Dies ist beim Richtungsbetrieb bei entsprechender Bahnsteiganordnung nicht erforderlich. Im Trennungsbahnhof weist der symmetrische Richtungsbetrieb den Nachteil auf, dass bei der Ausfahrt auf einer der beiden Strecken beide Streckengleise der anderen Strecke gekreuzt werden müssen. Beim verschränkten Richtungsbetrieb entfällt diese zusätzliche Kreuzung, allerdings zu Lasten einer weniger gestreckten Gleisführung.

Die in Abb. 9.15 niveaugleich dargestellten Kreuzungspunkte können, mit höherem baulichen Aufwand, niveaufrei ausgebildet werden. Dadurch entfällt der betriebliche Nachteil des

Abb. 9.15 Linien- und Richtungsbetrieb in niveaugleichen Trennungs- und Kreuzungsbahnhöfen. (Abbildung ähnlich zu Abb. 5.6c, d, e und Abb. 5.41a, d, f aus Grau B (1966); [12])



symmetrischen gegenüber dem verschränkten Richtungsbetrieb. Im Kreuzungsbahnhof ist es dann in der Regel zweckmäßig, die durch die niveaufreie Ausbildung entfallenden Gleisverbindungen zusätzlich vorzusehen, um auf die jeweils andere Strecke wechseln zu können oder um in Verbindung mit weiteren Gleisverbindungen Gleise unabhängig von deren Streckenzuordnung oder Fahrtrichtung nutzen zu können.

Umsteigevarianten ergeben sich durch die alternative Anordnung von Inselbahnsteigen zwischen den mittleren Gleisen in Kombination mit Randbahnsteigen an den äußeren Gleisen (in Abb. 9.15 gestrichelt). Dies schafft im Linien- und im verschränkten Richtungsbetrieb günstige Umsteigebeziehungen im Eckverkehr (aber nur in einer Richtung) zu Lasten der Umsteigebeziehungen in gleicher Richtung an den oben besprochenen Inselbahnsteigen zwischen den Gleisen gleicher Fahrtrichtung. Es ist zudem möglich durch den Tausch von Gleisen der Richtung und Gegenrichtung einer Strecke günstige Umsteigebeziehungen zu erzielen, allerdings zu Lasten zusätzlicher Konfliktpunkte. Sinnvoll kann dies sein in Kopfbahnhöfen sowie in Bahnhöfen des integralen Taktfahrplans, in denen aufgrund zeitlich konzentrierter Ein- und Ausfahrten Konflikte zwischen Ein- und Ausfahrten nicht auftreten (Abschn. 9.1.2.3). Alternativ können weitere Hauptgleise sowie Gleisverbindungen (siehe auch Abschn. 9.2.5.2) zwischen den durchge-

henden Hauptgleisen angeordnet werden, um im Extremfall wie in Abb. 9.16 alle Bahnsteige von allen Streckengleisen niveaufrei und ohne längeres Befahren der Gleise der Gegenrichtung oder Kreuzen durchgehender Hauptgleise³⁶ zu erreichen oder um gleichzeitig niveaufreie Eckverkehre möglich zu machen.

Schließlich kann es für Gütereckverkehr (oder im Einzelfall auch für Personenfernverkehr ohne Halt) sinnvoll sein, für die Eckverkehre Kurven unter Umgehung des Bahnhofs anzuordnen.

Turmbahnhöfe Der bereits in Abb. 9.12 i dargestellte Turmbahnhof stellt eine Sonderform des Kreuzungsbahnhofs dar. Dabei handelt es sich gewissermaßen um eine extreme Form des Linienbetriebs. Um Übergänge zwischen den Strecken (insbesondere für Güterzüge und Personenfernverkehr ohne Halt) zu schaffen, sind in den entsprechenden Quadranten, in welchen solche Übergänge erforderlich sind, Verbindungskurven anzuordnen. Die Beispiele in Abb. 9.12 und Abb. 9.17 verbinden jeweils die beiden Strecken über den unteren rechten Quadranten und ermöglichen damit in diesem Quadranten einen

³⁶ Hierbei ist zu beachten, dass Abb. 9.16 nur topologisch, nicht aber geometrisch korrekt dargestellt ist. Die Streckenabschnitte welche über die Brücken führen, sind wegen der zu überwindenden Höhendifferenz deutlich länger als die Weichengruppen vor den Bahnsteigen.

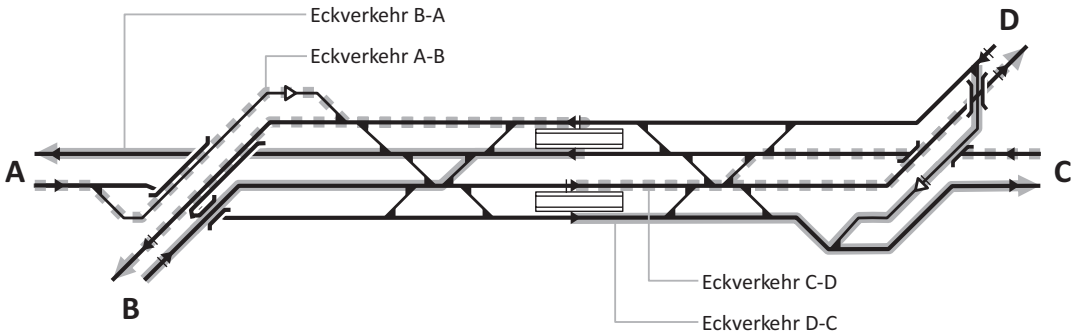


Abb. 9.16 Niveaufreier Kreuzungsbahnhof im verschränkten Richtungsbetrieb für niveaufreien Eckverkehr mit der Möglichkeit alle Bahnsteige zu erreichen

direkten Eckverkehr A-D und D-A unter Umgehung des Empfangsgebäudes, was für den Güterverkehr vorteilhaft, für den Personenverkehr aber möglicherweise nachteilig ist. Die anderen drei Eckverkehre sind mehr oder weniger undurchführbar, weil sie ein- oder sogar zweimaliges Kopfmachen im Bahnhofsvorfeld notwendig machen. Wenn die betrieblichen Nachteile niveaugleicher Lösungen (siehe die zwei Kreuzungen der Streckengleise der Richtung D-A im linken Teilbild von Abb. 9.17) nicht toleriert werden können, sind kreuzungsfreie Lösungen (wie im rechten Teilbild von Abb. 9.17) anzustreben.

Bei der Anlage derartiger Verbindungskurven sind folgende trassierungstechnische Fragen (siehe auch Kap. 12) zu behandeln³⁷:

- Entwurfsgeschwindigkeit,
- maximale Längsneigung zur Überwindung des Höhenunterschieds der Strecken von mindestens etwa 10 m,
- die Länge der Kurve sollte mindestens einer Zuglänge entsprechen,
- Umweg sowie die unterschiedlicher Fahrzeitbedarf wegen der Asymmetrie³⁸ von Richtung und Gegenrichtung sowie
- Baukosten (Streckenlänge, Erdbauwerke und Überwurfungsbauwerke).

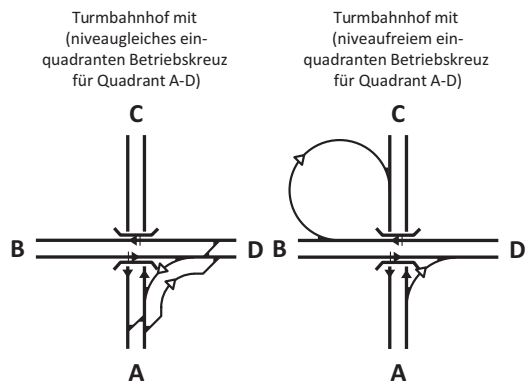


Abb. 9.17 Beispiele für Turmbahnhöfe als Ein-Quadranten Betriebskreuze. (entspricht einer schematischen Kombination des rechten Teilbildes von Abb. 5.32 und Abb. 5.34 aus Grau B (1966); [12])

In städtischer Lage dürften heutzutage Gleisanlagen, die derart in die städtische Bebauung eingreifen (insbesondere die 270°-Kurve), allerdings nicht mehr realisierbar sein.

9.2.5.2 Sonstige Hauptgleise

Gleise dienen generell dazu, Verbindungen herzustellen (Verbindungsfunktion) und/oder Fahrzeuge aufzunehmen (Aufnahmefunktion). Gleise, die Fahrzeuge aufnehmen sollen, benötigen eine Nutzlänge, die mindestens so lang ist wie das kürzeste aufzunehmende Fahrzeug, während Gleise ausschließlich mit Verbindungsfunktion keine Nutzlänge haben müssen.

Hauptgleise mit Nutzlänge sind z. B. Überholungs- und Kreuzungsgleise, Hauptgleise ohne Nutzlänge sind z. B. Gleisverbindungen (Verbin-

³⁷ Grau B (1966) unter 5.3.2.2.1. „Ausbildung zum Betriebskreuz“ ab Seite 270; [12].

³⁸ dies ist für Taktfahrpläne vor allem wegen des Symmetriebruchs ungünstig (siehe auch Taktfahrpläne unter Abschn. 9.1.2.3).

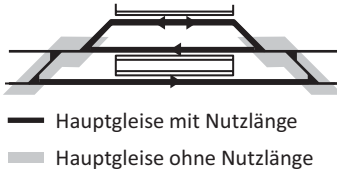


Abb. 9.18 Hauptgleise mit und ohne Nutzlänge

dung zwischen zwei benachbarten Gleisen geringen Abstands, hergestellt durch zwei Weichen mit einem kurzen dazwischen liegenden Gleisstück, siehe Abb. 9.18).

Sonstige Hauptgleise mit Nutzlänge Überholungsgleise liegen seitlich der durchgehenden Hauptgleise. Die Möglichkeiten für deren Anordnung sind in Abb. 9.19 zusammengefasst. An einer zweigleisigen Strecke ergeben sich für die Anordnung eines Überholungsgleises grundsätzlich drei Möglichkeiten (siehe Abb. 9.19 a, b, c):

- seitlich in Fahrtrichtung rechts,
- seitlich in Fahrtrichtung links (bei der Ein- und Ausfahrt wird die Gegenrichtung gekreuzt) sowie
- in Mittellage zwischen den aufgespreizten durchgehenden Hauptgleisen.

Werden sowohl Reisezug- als auch Güterzugüberholungsgleise benötigt, können diese

- nebeneinander (Breitenentwicklung) oder
- hintereinander (Längenentwicklung)

liegen (siehe Abb. 9.19 d, e, f).

Für die Wahl der Anordnung sind neben der erforderlichen Art und Anzahl an Überholungsgleisen vor allem

- das Platzangebot in Quer- und Längsrichtung,
- die Länge der verfügbaren flachen Gelände-neigung in Bahnhofslängsrichtung (maximale Längsneigung im Bereich der Nutzlänge von Bahnhofsgleisen 2,5 ‰, siehe Abschn. 12.1.2),
- die erträgliche betriebliche Behinderung bei der Ein- und Ausfahrt sowie
- die Hinnehmbarkeit einer Aufspreizung der durchgehenden Hauptgleise in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit durchfahrender Züge und der Gelände-erfügbarkeit

ausschlaggebend.

Die Lösungen in Abb. 9.19 weisen folgende prinzipiellen Nachteile auf:

- einseitige Überholungsgleise (Abb. 9.19 b) für beide Richtungen führen auf zweigleisigen Strecken für eine Fahrtrichtung immer zu einer Behinderung durch die Gegenrichtung.
- die mittige Anordnung eines Überholungs-gleises (Abb. 9.19 c) zur Nutzung durch beide Richtungen erfordert mehr Weichen als zwei seitenrichtige Überholungsgleise sowie meist die Aufspreizung der Gleise und ist dabei nicht viel leistungsfähiger als ein seitliches Überholungs-gleis,
- die Längenentwicklung (Abb. 9.19 d) von Reise- und Güterzugüberholungs-gleisen erfordert mehr Weichen im durchgehenden Hauptgleis³⁹,
- die Breitenentwicklung mit nur zwei Weichen im durchgehenden Hauptgleis (Abb. 9.19 f) hat den Nachteil der langsamen (weil langen) Ein- bzw. Ausfahrt aus dem Reisezugüberholungs-gleis.

Bei der Breitenentwicklung von Reise- und Güterzugüberholungs-gleisen mit drei Weichen im durchgehenden Hauptgleis (Abb. 9.19 e) wird im Fall eines Güterzugbetriebsüberholungs-gleises die durchgezogene Anordnung gewählt, im Fall eines Güterzugverkehrsüberholungs-gleises zwecks uneingeschränkter Sicht entlang des Zuges bei der Zugbehandlung die gestrichelte Anordnung. Die gestrichelte Anordnung wäre auch dann vorzuziehen, wenn „vor Kopf“ des Reisezugüberholungs-gleises Platz für ein Wendegleis für endende/beginnende Züge benötigt wird.

Für die Auslegung der Überholungs-gleise nach der geforderten Gleisnutzlänge sind zudem sicherungstechnische Fragen von Bedeutung (Signalpositionen, Durchrutschwege, Flanken-schutz; siehe Abschn. 10.7.3.2).

Sonstige Hauptgleise ohne Nutzlänge (Gleis-verbindungen) Gleisverbindungen dienen vor allem der Schaffung

- von Verbindungen zwischen Hauptgleisen in Bahnhöfen,

³⁹ vermeidet aber die Belästigung von Reisenden auf dem Bahnsteig durch Halt-bremsende Güterzüge.

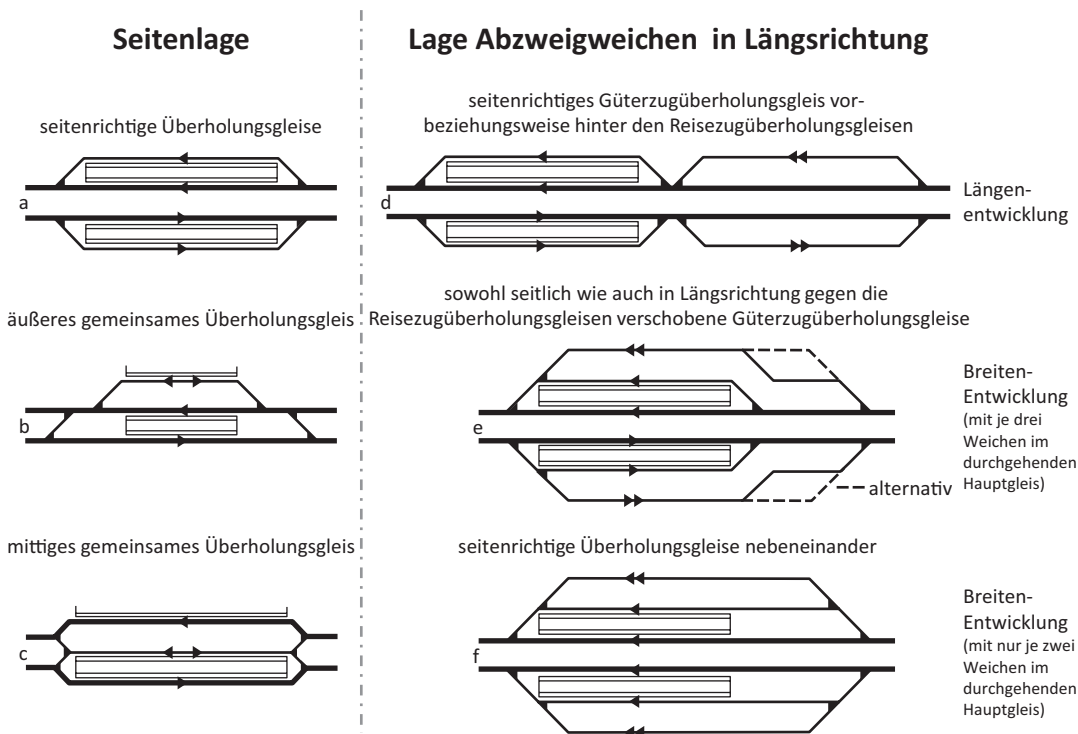


Abb. 9.19 Grundsätzliche Möglichkeiten zur Anordnung von Überholungsgleisen

- von parallelen – sich nicht hindernden – Fahrstraßen (siehe Abschn. 10.4.2) sowie
- von Streckenüberleitungen in Knotenbahnhöfen.

Auf Gleisen der freien Strecke kommen zudem Überleitstellen und Abzweigstellen (siehe Abschn. 8.2.4.2) vor.

Überleitstellen und Überleitverbindungen in Bahnhöfen (Verbindung der durchgehenden Hauptgleise) dienen Zügen dazu, das „falsche“ (in Fahrtrichtung linke) Streckengleis befahren zu können. Dies ist erforderlich, um eingeisige Streckensperrungen (im Rahmen von Betriebsstörungen oder Bauarbeiten) umfahren oder den Gleiswechselbetrieb für fliegende Überholungen nutzen zu können. Überleitverbindungen werden in Bahnhöfen, in der Regel auf beide Bahnhofsköpfe verteilt, jeweils als einfache Gleisverbindung angeordnet. Zum Ausgleich der Falschfahr-längen werden die Überleitverbindungen in den benachbarten Bahnhöfen um die Streckenachse gespiegelt angeordnet (Abb. 9.20), sofern nicht andere Gründe dagegen sprechen.

In Abb. 9.21 ist in der oberen Bildhälfte ein Kopfbahnhof im Linienbetrieb mit Gleisverbindungen zum Streckenübergang und zum Streckengleiswechsel dargestellt sowie in der unteren Bildhälfte der Teil eines Bahnhofs mit der Möglichkeit, aus dem dargestellten Bahnsteig mit kurzen Zügen auch bei doppelter Belegung jeweils in beiden Richtungen aus- bzw. bei vorhandener einfacher Belegung einfahren zu können.

Das Beispiel aus Abb. 9.19 b wurde in Abb. 9.22 modifiziert, um einen Regionalbahnhalt abseits vom durchgehenden Hauptgleis zu ermöglichen, der es erlaubt, gleichzeitig (siehe Abschn. 9.1.2.3) in die Gleise 4 und 3 ein- bzw. aus ihnen auszufahren.

Besondere Anforderungen Die unter Abschn. 9.1.2.3 erläuterte Unterscheidung in unsystematische und systematische Angebotskonzepte erfordert verschiedene Herangehensweisen an die

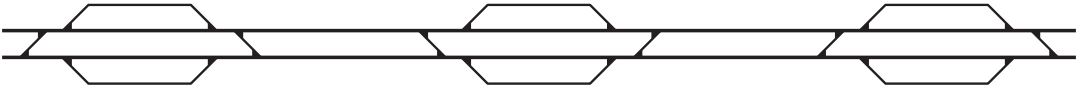
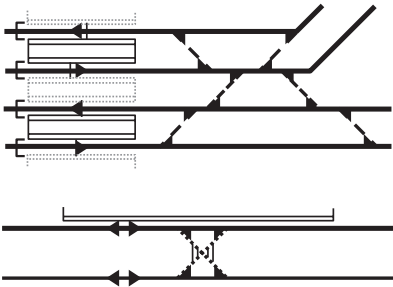


Abb. 9.20 Überleitverbindungen in Bahnhöfen



- Überleitverbindung
- Gleisverbindung zwischen Streckengleisen
- Verbindung sonstiger Hauptgleise

Abb. 9.21 Beispiele für Gleisverbindungen

Gestaltung der Hauptgleise. Hierbei sind zwei extreme Formen möglich:

1. ein Spurplan, welcher unabhängig vom Fahrplan ist, indem er alle sinnvollen Fahrwege ermöglicht sowie
2. ein Spurplan, welcher speziell die Anforderungen eines bestimmten Fahrplans erfüllt.

Der erste Fall eignet sich besonders für unsystematische Angebotskonzepte, da diese sehr unterschiedliche Anforderungen an die Infrastruktur stellen und sich diese oft von Fahrplanperiode zu Fahrplanperiode ändern. Im Gegensatz dazu wiederholen sich die Anforderungen eines systematischen Angebotskonzepts an die Infrastruktur im Taktraster, während aufgrund der vielen Zwangspunkte kaum wesentliche Änderungen des Angebotskonzepts in kommenden Fahrplanperioden möglich sind, ohne die Infrastruktur zu ändern oder den Fahrplan auszudünnen (siehe auch Abschn. 9.1.2.3 und Abschn. 9.3.2). Zudem stellen systematische Angebotskonzepte unter Umständen zeitlich konzentriert sehr hohe Anforderungen an die Kapazität der Taktknoten und erfordern daher spezielle infrastrukturelle Lösungen. Insbesondere sollten sich keinesfalls

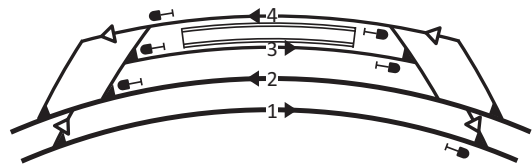


Abb. 9.22 Beispiele für Gleisverbindungen für parallele Fahrstraßen. (zur Überhöhung von Bahnsteiggleisen siehe Abschn. 12.3.2)

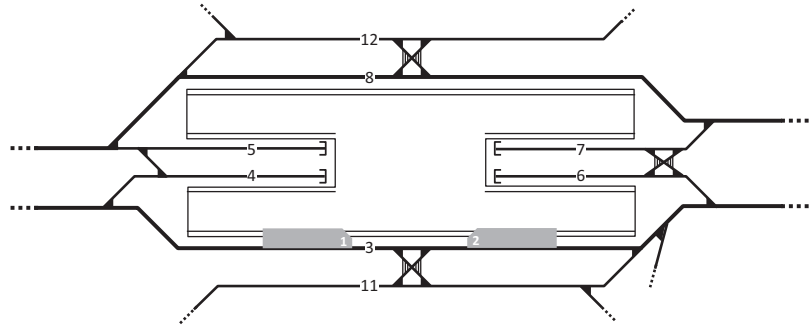
die Einfahrten beim Takttreffen integraler Taktfahrpläne gegenseitig behindern, während Fahrstraßenkonflikte von Einfahrten mit Ausfahrten keine Rolle spielen, da diese zeitlich versetzt stattfinden. Gleichzeitige Ausfahrten sollten ebenfalls möglich sein, sind aber weniger kritisch als Behinderungen bei der Einfahrt, da die Abfahrtszeiten entsprechend versetzt geplant und am Bahnsteig abgewartet werden können.

Um die verfügbaren Gleislängen und die Fahrzeuge optimal auszunutzen, sind im Zusammenhang mit systematischen Angebotskonzepten spezielle verkehrliche Konzepte bzw. betriebliche Verfahren üblich. Zu diesen zählen:

- Flügeln von Zügen,
- Stärken/Schwächen von Zügen sowie
- doppelt besetzte Gleise.

Beim Flügeln wird das Platzangebot im Zug dem Verkehrsaufkommen der Linie angepasst, indem der stärker nachgefragte Mittelabschnitt der Linie durch (in der Regel) zwei gekuppelt verkehrende Zugteile bedient wird, welche sich an einem bestimmten Bahnhof trennen und von dort zwei weniger nachgefragte Ziele anfahren. Um dieses Konzept umzusetzen, müssen die betroffenen Gleise insbesondere sicherungstechnisch speziell ausgestattet werden (für Details siehe Abschn. 8.3.2.3). Das Stärken bzw. Schwächen eines Zuges unterscheidet sich vom Flügeln dadurch, dass der zweite Zugteil in dem Bahnhof verbleibt, in welchem geschwächt wird. Hier ist dann ein Wartegleis vorzusehen, welches

Abb. 9.23 Beispiel für doppelt besetzte Bahnsteige. (ist Erfurt Hauptbahnhof nachempfunden, Quelle [16])



vom Hauptgleis aus möglichst ohne betriebliche Nachteile für andere Fahrten erreichbar ist. Beim Stärken oder Schwächen *einer Linie* enden einzelne Züge an Zwischenbahnhöfen der Linie. In diesem Fall ist ebenfalls im Gleisplan die Möglichkeit für ein behinderungsarmes Wegsetzen des endenden und Bereitstellen des beginnenden Zuges anzustreben.

Auch ohne die Absicht, Zugteile zu kuppeln, kann es sinnvoll sein, gleichzeitig zwei kurze Züge an einem langen Bahnsteig abzufertigen. Neben der Einsparung eines Bahnsteiggleises wird dadurch auch ein niveaugleiches Umsteigen zwischen den Zügen ermöglicht. Um gegenseitige Behinderungen der Züge bei der Ein- bzw. Ausfahrt zu vermeiden, bietet es sich an, in Bahnsteigmitte eine doppelte Gleisverbindung in ein paralleles Gleis anzuordnen (siehe untere Bildhälfte von Abb. 9.21), wodurch eine freizügige Nutzung der Bahnsteigabschnitte möglich ist. Zu den sicherungstechnischen Besonderheiten dieser Betriebsweise siehe Abschn. 8.3.2.3. Allerdings ist zu beachten, dass die Bahnsteigbreite für den notwendigen Bahnsteiglängsverkehr ausreichend dimensioniert sein muss. Ein Beispiel hierfür stellt der Bahnhof Erfurt Hbf (Abb. 9.23) dar. Erfurt Hbf ist auch insofern interessant, dass der Bahnhof von jeher über stumpf endende Gleise für die endenden Regionalverkehrslinien verfügt, so dass zwischen den Kopfgleisen und den am Bahnsteig durchlaufenden Gleisen bei guter Platzausnutzung niveaufrei umgestiegen werden kann.

Eine weitere Form speziell an den Fahrplan angepasster Spurpläne sind „Spar-Infrastrukturen“, welche nur die notwendigsten Spurplanelemente in teilweise ungewöhnlicher Konfigu-

ration aufweisen. Ein entsprechendes Beispiel ist in Abb. 9.24 dargestellt. Da es keine durchgehenden Zugläufe von Neudietendorf nach Gotha mehr gab, wurde der ursprüngliche klassisch konfigurierte Trennungsbahnhof mit drei Zwischenbahnsteigen und vier Hauptgleisen unter Einsparung von zwei Weichen so umgebaut, dass die vier Hauptgleise und die drei Bahnsteigkanten erhalten werden konnten und zusätzlich niveaugleiche Bahnsteigzugänge möglich wurden, ohne dass dafür Bahn- oder Reisendenübergänge⁴⁰ notwendig sind. Dies erlaubt das Betreiben des Bahnhofs ohne örtliches Personal. Der Preis für diese, ohne teure Gleisüber- oder -unterführungen auskommende und damit kostengünstige, Lösung ist einerseits der Weg von 180 m zwischen den Bahnsteigen an Gleis 2 und Gleis 1 und andererseits die vorgegebene Ausfahrreihenfolge „Gleis 3 vor Gleis 2“ bei Zugkreuzungen, was aber wegen der eingleisigen Strecke nach Oberhof kaum von Nachteil ist [17]. Derartige Lösungen können schwach frequentierte Verkehrsstationen „retten“, sind aber wegen betrieblicher Restriktionen nur für schwächer belastete Strecken geeignet.

9.2.5.3 Nebengleise

Die Sicherheit der Zugfahrten auf Hauptgleisen zu gewährleisten, ist oberstes Prinzip bei der Gestaltung einzelner Nebengleise und Nebengleisanlagen (Gruppen von Nebengleisen). Hierzu sollten die Nebengleisanlagen so geplant werden, dass auf den Hauptgleisen möglichst wenig rangiert werden muss (siehe auch Abschn. 9.1.2.3). An den Übergängen zwischen Neben- und

⁴⁰ niveaugleicher Übergang über die Gleise zum Erreichen des Bahnsteigs, siehe auch Abschn. 13.2.1.1.

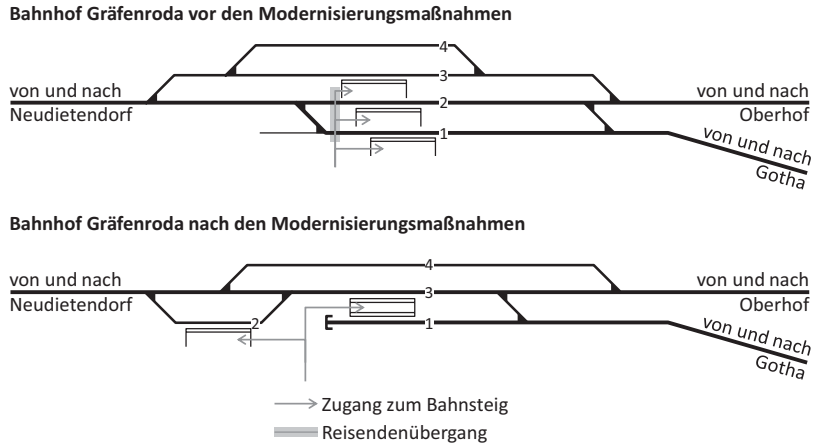


Abb. 9.24 Beispiel für eine sparsame Infrastruktur. (entspricht Abb. 6 „Skizze Gleisplan Bhf. Gräfenroda vor den Modernisierungsmaßnahmen“ (aus: EBA – Eisenbahn-Bundesamt et. al. (2003): ESTW [Z] Arnstadt Stellbereich

Gräfenroda (KZ 82).- Erfurt) und Abb. 7 „Skizze Gleisplan Bhf. Gräfenroda nach den Modernisierungsmaßnahmen“ (aus: NVS – Nahverkehrservicegesellschaft Thüringen mbH (o. J.): Gleisplan Bf Gräfenroda.-Erfurt) aus [17])

Hauptgleisen müssen zudem Flankenschutzmaßnahmen ergriffen werden (für Details zum Flankenschutz siehe Abschn. 8.4).

Nebengleisanlagen für den Personenverkehr Im Personenverkehr werden Nebengleise und Nebengleisanlagen in Bahnhöfen für endende und beginnende bzw. wendende Züge benötigt (Wendeanlagen). Diese können an zweigleisigen Strecken zwischen den durchgehenden Hauptgleisen oder seitlich angeordnet werden. Wegen der Möglichkeit, das (teure) Bahnsteiggleis schnell zu räumen, ist eine seitenrichtige oder mittige Anordnung in Fahrtrichtung vor dem endenden Zug zu bevorzugen, da bei einer Anordnung entgegen der Fahrtrichtung der Triebfahrzeugführer den Führerstand wechseln oder Unterstützung durch einen Rangierer bekommen müsste. Liegt die Wendeanlage auf der Bahnhofsseite der Abfahrt, kann es zu Wartezeiten im Bahnsteiggleis vor dem Kreuzen der durchgehenden Hauptgleise kommen, welche beim Bereitstellen vor der Abfahrt im Wendegleis weniger kritisch sind. Weiterhin muss bei der Gestaltung beachtet werden, ob es sich um Wendezüge (Zweirichtungszüge, heute üblich) handelt oder ob die Zuglok beim Wenden umgesetzt werden muss.

In Abb. 9.25 sind je drei Beispiele für seitliche und mittig angeordnete Wendeanlagen dar-

gestellt. Im einfachsten Fall findet die Wende direkt im Bahnsteiggleis statt. Dies ist möglich, wenn die länger andauernde Belegung des Bahnsteiggleises durch die wendenden Züge unproblematisch ist. Für Wendezüge (Abb. 9.25 a_W) ist dann lediglich eine Gleisverbindung zwischen den durchgehenden Hauptgleisen erforderlich. Für lokbespannte Züge ohne Steuerwagen (Abb. 9.25 a_L) muss zudem ein Lokverkehrsgleis angeordnet werden, wenn das Umsetzen der Zuglokomotive nicht über die durchgehenden Hauptgleise erfolgen soll (z. B. wegen hoher Streckenbelegung). In Abb. 9.25 a_L fungieren die loklangen Ausziehgleise auch als Flankenschutz für die durchgehenden Hauptgleise.

Im zweiten Beispiel mit seitlich angeordneter Wendeanlage können endende Züge wegsetzen ohne das durchgehende Hauptgleis zu belegen (Abb. 9.25 b_W und Abb. 9.25 b_L). Zudem wird das Bahnsteiggleis durch unmittelbaren Flankenschutz geschützt. Die Bereitstellung für die Abfahrt erfolgt im seitenrichtigen Überholungsgleis, was bequeme Umsteigevorgänge in gleicher Fahrtrichtung ermöglicht. Die Gleisverbindung zwischen den durchgehenden Hauptgleisen für die Bereitstellung vor der Abfahrt muss nicht notwendiger Weise ein Hauptgleis sein, obgleich dies durchaus sinnvoll ist, weil sie dann auch als Überleitverbindung von der Strecke her nutzbar ist.

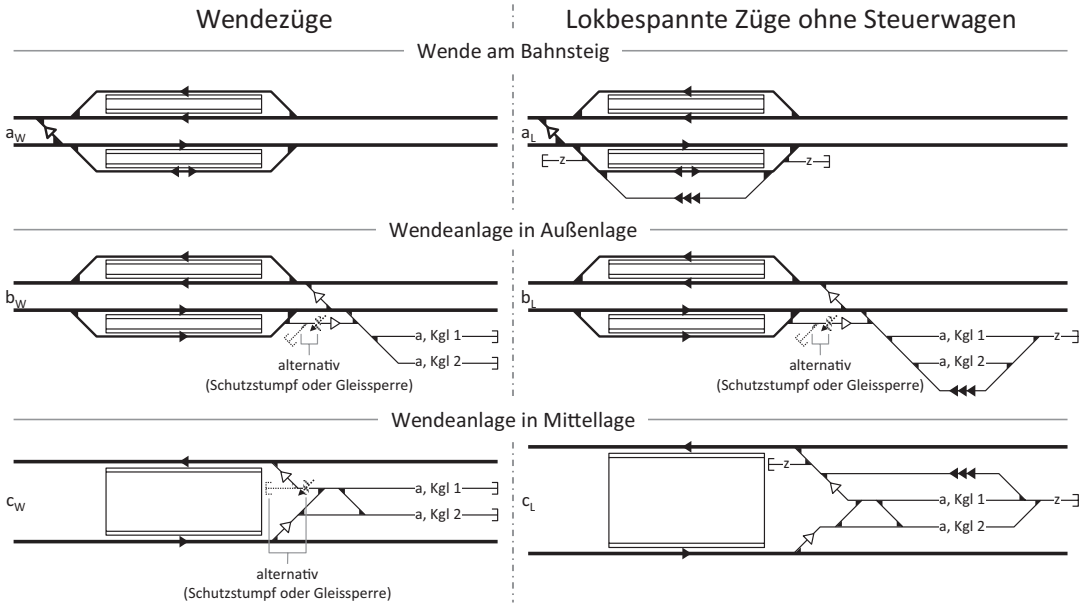


Abb. 9.25 Gleise und Gleisgruppen für die Wende von Reisezügen. (angelehnt an Abb. 4.28b, Abb. 4.29c, Abb. 4.30b und Abb. 4.31a aus Grau B (1966) 54.1.4 „Wendeanlagen für Reisezüge“; [12])

In Abb. 9.25 c_W und Abb. 9.25 c_L ist eine mittig angeordnete Wendeanlage dargestellt. Zum Schutz der durchgehenden Hauptgleise ist nur eine Schutzweiche (Abb. 9.25 c_W : in den Schutzstumpf oder Abb. 9.25 c_L : in das loklange Ausziehgleis) erforderlich, da alle Fahrzeuge aus der Wendeanlage auf diese eine Flankenschutzweiche gelenkt werden können. Die mittige Anordnung der Wendeanlage hat prinzipiell die gleichen Vor- und Nachteile wie ein mittleres Überholungsgleis (kein Kreuzen der Gegenrichtung, Aufweitung des Gleisabstands). Der große Gleisabstand steht allerdings unter Umständen in der Flucht eines Inselbahnsteigs ohnehin zur Verfügung.

Eine weitere Variante stellt die mittige Anordnung des Reisezugüberholungsgleises in Kombination mit einer mittig angeordneten Wendeanlage dar (Abb. 9.26). In diesem Fall müssen die durchgehenden Hauptgleise weder für das Wegsetzen noch für die Bereitstellung in Anspruch genommen werden.

Nebengleisanlagen für den Güterverkehr Wie unter Abschn. 9.2.3.2 bereits ausgeführt, sind öffentliche Güterbahnhöfe in Deutschland heute kaum noch anzutreffen. Für die Gestaltungsgrundsätze der Nebengleisanlagen ist es

jedoch unerheblich, ob die zu planenden Anlagen Teil eines öffentlichen Güterbahnhofs oder einer Anschlussbahn sind. Der wesentliche Unterschied besteht darin, dass die kompakte Anordnung der verschiedensten Gleisarten im Güterbahnhof einer Anschlussbahn so nicht zu finden sein dürfte.

Die Grundkonfiguration einer Güterverkehrsanlage ist in Abb. 9.27 dargestellt. Die Ausziehgleise dienen auch als Flankenschutz für die Hauptgleise. Die Güterverkehrsanlagen können auf der Seite des Personenverkehrszugangs (Gleichlage) oder auf der gegenüberliegenden Seite (Gegenlage) platziert sein.

Weitere, in Abb. 9.27 nicht dargestellte, Elemente einer Güterverkehrsanlage sind Aufstell- bzw. Ordnungsgleise, Umschlag- und Ladegleise und die zugehörigen Nebengleise mit Verbindungsfunktion (siehe Abschn. 9.2.4.2) sowie Verbindungen zu Anschlussbahnen.

Das Hauptausziehgleis sollte nach Möglichkeit so im Gleisplan angeordnet sein, dass von dort aus die Mehrzahl der Gleisanschlüsse schiebend bedient werden kann. Ist das Ordnen der Wagen im Bahnhof erforderlich, muss auch das natürliche Gefälle für die Lage des Hauptausziehgleises berücksichtigt werden, da der bau-

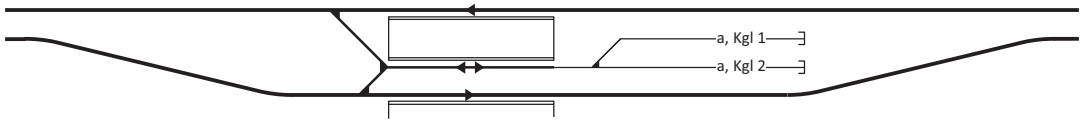


Abb. 9.26 Mittiges Reisezuggleis mit Wendeanlage für Wendezüge

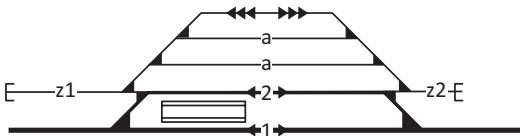


Abb. 9.27 Bahnhof mit einem Überholungsgleis und einer einfachen Güterverkehrsanlage

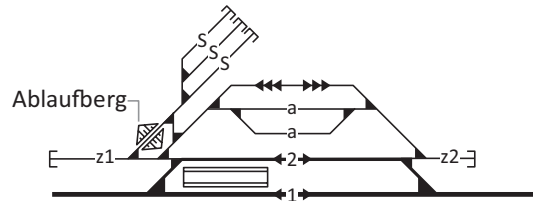


Abb. 9.28 Bahnhof mit Sortiergleisen und Ablaufberg. (angelehnt an Abb. 4.40d aus Grau B (1966) 4.1.6.2 „Gleisanlagen zum Ordnen der Wagen“; [12])

liche Ausgleich des natürlichen Gefälles erheblichen Aufwand erfordern kann. Stumpf endende Umschlag- und Ladegleise sowie Verbindungen zu Anschlussbahnen (Gleisanschlüssen) sollten so angeordnet werden, dass sie vom Hauptausziehgleis (dem mit $z1$ bezeichneten längeren Ausziehgleis) schiebend erreichbar sind, damit die Lokomotive nicht während des Bedienungsvorgangs blockiert wird⁴¹. Erfolgt die Bedienung direkt aus den Nahgüterzuggleisen, so sind die Anschlüsse so anzuordnen, dass die Anschlussfahrt schiebend durch die Zuglokomotive ausgeführt werden kann. Anderenfalls kann es erforderlich sein, ein Lokverkehrsgleis (wie im Beispiel für die Wende am Bahnsteiggleis aus Abb. 9.25) vorzusehen, um die Lokomotive ohne Nutzung anderer Hauptgleise umzusetzen.⁴²

Das Ordnen der Wagen für die Übergabe an verschiedene Anschlüsse ist im Prinzip bereits mit der Konfiguration aus Abb. 9.27 möglich. Sind in größerem Umfang Sortierungen erforderlich, ist es technologisch günstiger, die Wagen durch Ablaufen oder Abstoßen zu sortieren, da

dann die Rangierlokomotive nicht alle Wege voll ausfahren muss. Die Wagen laufen in beiden Fällen frei und werden durch entsprechendes Stellen der Weichen in ihre Zielgleise gelenkt, wo sie mittels Hemmschuhen oder in größeren Anlagen mittels Gleisbremsen verlangsamt werden. Beim Abstoßen werden die Wagen durch die Rangierlokomotive beschleunigt, die Rangierlokomotive wird anschließend abgebremst und die abgekuppelten Wagen rollen allein weiter. Besonders effektiv kann mittels eines Ablaufberges oder entlang eines Gefälles geordnet werden, weil in diesen Fällen die Wagengruppe nicht von der Rangierlokomotive wiederholt beschleunigt und abgebremst werden muss. Eine einfache Sortiergleisanlage auf Basis von Abb. 9.27 ist in Abb. 9.28 dargestellt. Hier ist berücksichtigt, dass es immer möglich sein muss, die Ordnungsgruppe auf einem Weg zu erreichen, welcher nicht über den Ablaufberg führt, da einige Wagen nicht über den Berg fahren dürfen („Bergverbotswagen“) und die sortierten Wagengruppen sich so besser aus der Ordnungsgruppe herausrangieren lassen.

Beispiel In Abb. 9.29 wird eine komplexe Bahnhofsinfrastruktur gezeigt, welche eine Vielzahl der beschriebenen Gestaltungselemente aufweist.

In die mittige Wendeanlage für Wendezüge können endende Züge aus Osten von den ebenfalls mittig angeordneten Reisezugüberholungs-

⁴¹ Grau B (1966) 4.1.6.1.3. „Hauptausziehgleis und Ladebereiche“; [12].

⁴² Wird eine funkferngesteuerte Lokomotive mit Rangierlokfürer eingesetzt, kann die Lokomotive ohne Personalmehrung grundsätzlich an geeigneter Stelle in der Rangierabteilung so platziert werden, dass die Orientierung der Ladegleise der Anschlussbahn (Gleisanschlüsse) keine Rolle spielt, da sie bei der (allerdings aufwändiger herzustellenden) Reihung der Rangierabteilung berücksichtigt werden kann.

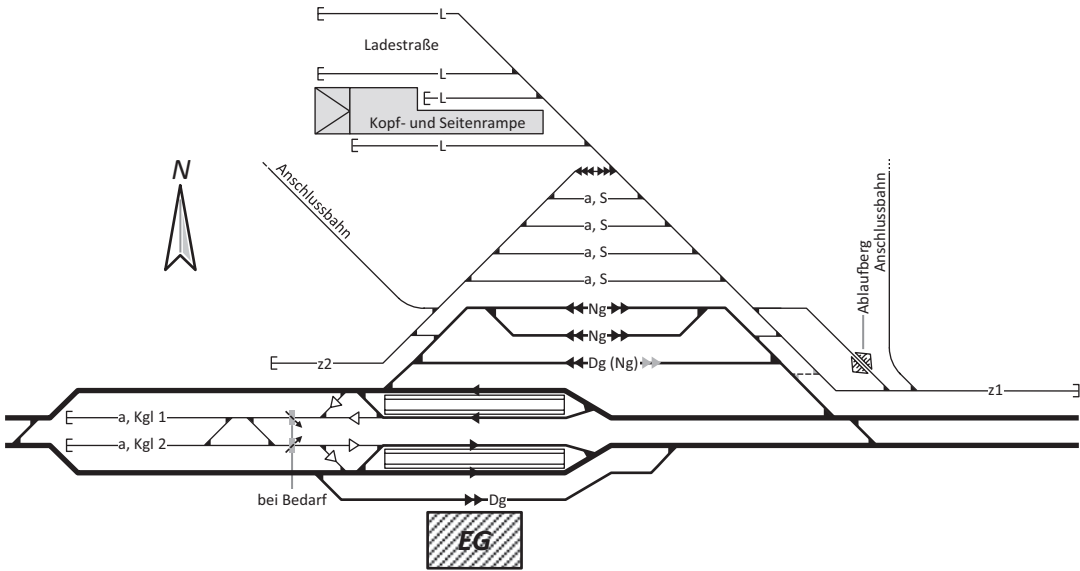


Abb. 9.29 Komplexbeispiel zur Anordnung von Nebengleisen für den Güter- und Personenverkehr

gleisen ohne Nutzung der durchgehenden Hauptgleise in Fahrtrichtung umgesetzt werden. Um auch die durchgehenden Hauptgleise für endende oder beginnende Züge von Osten ohne aufwändige Rangierbewegungen nutzbar zu machen, wurden zusätzliche Gleisverbindungen angeordnet.

Die Güterverkehrsanlagen sind in Gegenlage zum Empfangsgebäude angeordnet. Ein Grund hierfür wäre z. B. die Lage des Stadtzentrums auf der Seite des Empfangsgebäudes, während sich auf der gegenüberliegenden Seite Industriebetriebe und deshalb auch die Güterverkehrsanlagen befinden. Da der Westkopf des Bahnhofs wegen der Wendeanlage stärker belastet ist, wurden das Hauptausziehgleis und die vorgezogene Einfahrweiche in die Güterzugüberholungs- und Nahgüterzuggleise im Ostkopf angeordnet. Die Ausziehgleise sind so angebunden, dass Rangierarbeiten an den Nahgüterzügen das Güterzugbetriebsüberholungsgleis auf der Nordseite nicht blockieren. Die gestrichelte Gleisverbindung im Ostkopf erlaubt die ausnahmsweise Nutzung des Güterzugbetriebsüberholungsgleises als Güterzugverkehrsüberholungsgleis über das Hauptausziehgleis z1. Bei ausschließlicher Anordnung der gestrichelten Gleisverbindung an das Hauptausziehgleis kann es zu Behinderungen des Güter-

zugbetriebsüberholungsgleises durch Rangierfahrten aus den Güterzugverkehrsüberholungsgleisen kommen.

Die Aufstell-, Ordnungs- und Ladegleise sind sowohl über den Ablaufberg als auch über ein paralleles Verkehrsgleis an das Hauptausziehgleis angeschlossen. Alle stumpf endenden Gleise und die Anschlussbahnen sind zudem vom Hauptausziehgleis aus schiebend bedienbar, so dass die Rangierlokomotive nicht durch die Wagen eingeschlossen wird und ein Abdrücken über den Ablaufberg möglich ist.

Anstelle der Rampe bzw. der Ladestraße oder zusätzlich können weitere Ladegleise für Ladeeinheiten des Kombinierten Verkehrs (Vertikalumschlag mit Mobilgerät oder Portalkran, gegebenenfalls Horizontalumschlag), Schüttgüter, stückige Güter oder sonstige Güter je nach den lokalen Erfordernissen sowohl im Bahnhof als auch in den Anschlussbahnen angeordnet werden (siehe auch Abschn. 9.1.2.4). Die Funktion des Nebenausziehgleises könnte sich gegebenenfalls auf den Flankenschutz beschränkt oder im Extremfall ganz entfallen, wenn es betriebstechnologisch nicht erforderlich ist, weil unter Umständen nur wenige Rangierbewegungen über den Westkopf anfallen.

Zusammenfassung

Die oben erläuterten Zusammenhänge zwischen den betrieblichen und verkehrlichen Aufgaben von Spurplänen der Strecken und Bahnhöfe und der Ausprägung und Anordnung der verschiedenen Gleisarten machen deutlich, dass der Möglichkeitsraum für die Spurplangestaltung enorm groß ist. Allerdings ist zu bedenken, dass dieser Möglichkeitsraum in der Umsetzung durch die in der Darstellung weitgehend unberücksichtigt gebliebenen Fragen der Topografie, der Trassierung und der baulichen Ausgestaltung deutlich eingeschränkt wird (Beispiel: Berücksichtigung der Längenentwicklung zur Überwindung von Höhendifferenzen, Berücksichtigung der erforderlichen Bogenradien, Gleisabstände, Schaffung geforderter Nutzlängen, ...). Deshalb ist es notwendig, schon in der Phase der betrieblichen Infrastrukturplanung die bauliche Realisierbarkeit von Spurplanvarianten zumindest grob zu verifizieren.

Es bleibt nun nur noch zu klären, auf welcher Grundlage die Qualität des Zusammenspiels zwischen Angebotskonzeption und Infrastruktur festgestellt und überprüft werden kann. Dieser Frage wird im folgenden letzten Hauptabschnitt nachgegangen.

9.3 Leistungsuntersuchungen

Gegenstand der Leistungsuntersuchung von Betriebsanlagen ist die Möglichkeit der Abwicklung bestimmter Betriebsprogramme auf einer Infrastruktur. Leistungsuntersuchungen werden zu folgenden Zwecken durchgeführt:

- bedarfsgerechte Dimensionierung von Anlagen anhand geplanter oder prognostizierter Betriebsprogramme,
- Prüfung der Durchführbarkeit von Betriebsprogrammen auf einer gegebenen Infrastruktur.

Leistungsuntersuchungen sind damit eines der wichtigsten Werkzeuge sowohl für die Gestaltung und Dimensionierung der Infrastruktur als auch für die Betriebsplanung.⁴³

9.3.1 Leistungsverhalten

Um die Qualität der Abstimmung der Infrastruktur auf die Angebotskonzeption zu bestimmen, muss das Leistungsverhalten der Infrastruktur unter einem bestimmten Fahrplanregime untersucht werden. Unter Leistungsverhalten wird der Zusammenhang zwischen Betriebsbelastung (Züge je Zeit) und der Betriebsqualität verstanden. Als wesentliches Maß für die Betriebsqualität dienen dabei die Wartezeiten der Züge.

Die Untersuchung des Leistungsverhaltens findet in verschiedenen Skalen statt. Typisch sind die Untersuchung von

- Strecken,
- Knoten und
- Gleisgruppen.

Im Rahmen der Langfristplanung (siehe Abschn. 9.1.2) wird auch das Leistungsverhalten (das heißt die Abhängigkeit der Betriebsqualität von der Zugzahl) des Netzes oder von Teilnetzen untersucht. Zum Leistungsverhalten zählt auch die unter Abschn. 9.1.2.5 angesprochene Stabilität eines Fahrplans.

Die grundlegenden Zusammenhänge zwischen der Betriebsbelastung und der Betriebsqualität auf der einen Seite und die Frage nach der optimalen Belastung auf der anderen Seite lassen sich gut am Beispiel einer Strecke beschreiben. Die dazu zur Veranschaulichung notwendigen Funktionen sind in Abb. 9.30 über dem *Auslastungsgrad* zusammengefasst dargestellt und werden im Folgenden sukzessive beschrieben. Mit *Auslastungsgrad* ist hier das Verhältnis zwischen den tatsächlich je Zeiteinheit verkehrenden Zügen und der maximal möglichen Zahl von Zügen je Zeiteinheit gemeint.

Zur Motivation der folgenden Ausführungen ist es zunächst erforderlich den grundlegenden Widerspruch bei der Festlegung des optimalen *Auslastungsgrades* zu diskutieren, welcher aus den divergierenden Ansprüchen des Transportkunden einerseits (und damit des Transporteurs) und denen des Infrastrukturbetreibers andererseits resultiert. Während der Transportkunde einen zügigen und möglichst kostengünstigen Transport anstrebt, besteht das Hauptinteresse des Infrastrukturbetreibers in einer möglichst

⁴³ unter 5 „Leistungsuntersuchungen von Eisenbahn-Betriebsanlagen“ Pachtl J (2008) auf Seite 146; [3].

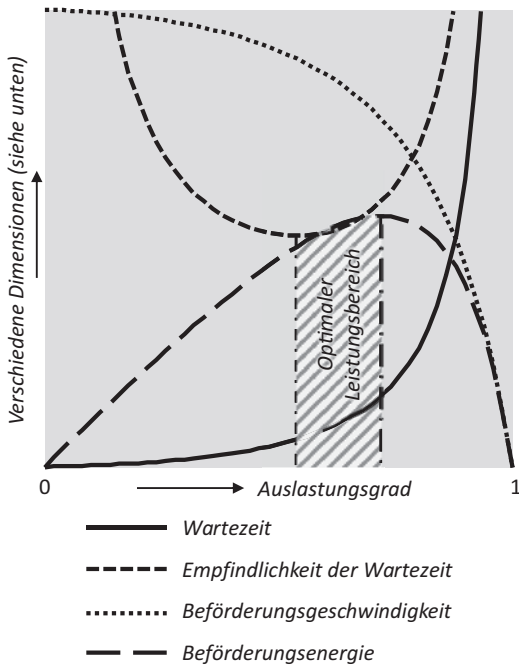


Abb. 9.30 Wartzeit, Empfindlichkeit der Wartzeit, Beförderungsgeschwindigkeit und Beförderungsenergie über dem Belegungsgrad

guten Auslastung seiner Infrastruktur. Diese Ansprüche sind deshalb gegensätzlich, weil hohe *Auslastungsgrade* auch zu hohen *Wartzeiten* führen, welche nicht mit kurzen *Transportzeiten* und geringen Betriebskosten des Transporteurs im Einklang stehen (siehe auch Einleitung zu Abschn. 9.1.2). Wie unter Abschn. 9.2.5.1 angedeutet, ist für die mögliche gleichzeitig auf einer Strecke verkehrende Anzahl Züge der Blockabstand, bei unterschiedlichen Zuggattungen auch der Abstand der Überholungsbahnhöfe und auf eingleisigen Strecken der Abstand der Kreuzungsbahnhöfe ausschlaggebend⁴⁴. Je mehr Züge also gleichzeitig verkehren sollen, desto größer wird der infrastrukturelle Aufwand. Das gilt analog auch für Gleisgruppen und Knoten. Anderenfalls treten mit größer werdender Zugzahl mehr und mehr der bereits angesprochenen *Wartzeiten* auf.

Die *Wartzeit* setzt sich aus planmäßigen und unplanmäßigen Teilen zusammen. Auf einer un- ausgelasteten Strecke (z. B. durch [zu] feine Blockteilung) sind beide im Mittel klein. Auf einer stark ausgelasteten Strecke (z. B. [zu] großer Abstand der Kreuzungsbahnhöfe einer eingleisigen Strecke) treten sowohl planmäßige *Wartzeiten* (z. B. für geplante Überholungen) als auch unplanmäßige *Wartzeiten* auf (z. B., wenn infolge einer Verspätung ein schneller Zug hinter einem langsamen Zug herfährt und deshalb an einem Signal zum Stehen kommt). An der Grenze zur Vollauslastung einer Strecke werden die *Wartzeiten* im Mittel sehr groß, weil sich die auf der Strecke befindlichen Züge gegenseitig (sowohl plan- als auch unplanmäßig) behindern. Die in Abb. 9.30 durchgezogene dargestellte *Wartzeitfunktion* basiert auf empirischen Untersuchungen⁴⁵. Solange die Werte der mittleren *Wartzeit* sehr klein sind (im Bereich geringer *Auslastungsgrade*), können auch kleine absolute Änderungen zu großen relativen Änderungen führen. Im Bereich großer *Auslastungsgrade* treten ebenfalls große relative Änderungen der *Wartzeiten* auf, weil der Anstieg der *Wartzeitfunktion* dort sehr groß ausfällt. Daraus folgt, dass die relative Änderungsrate der *Wartzeit* – oder deren *Empfindlichkeit*⁴⁶ – zwischen kleinen und großen *Auslastungsgraden* ein Minimum aufweisen muss. Die *Empfindlichkeit* der in Abb. 9.30 dargestellten *Wartzeit* ist in Abb. 9.30 als kurzgestrichelte Kurve dargestellt.

Aufgrund der am Minimum noch moderaten Größenordnung der *Wartzeit* und der um das Minimum annähernd gleich bleibenden *Wartzeitempfindlichkeit* kann man feststellen, dass die Strecke noch über Reserven verfügt und damit unterhalb des Minimums der *Wartzeitempfindlichkeit* nicht wirtschaftlich betrieben wird. Zur Güte des Kompromisses zwischen Transporteur und Infrastrukturbetreiber lässt das Minimum der *Wartzeitempfindlichkeit* keinen Schluss zu.

⁴⁵ Formel (18) in Hertel G (1992); [18].

⁴⁶ Division der Ableitung der *Wartzeit* nach dem Belegungsgrad durch die *Wartzeit*; siehe Formel (17) in Hertel G (1992); [18].

⁴⁴ siehe Pachl J (2008) unter 6.2.2.1 „Zugfolgezeit“ ab Seite 199; [3].

Eine obere Grenze des *Auslastungsgrades* – zu einem dann als qualitativ problematisch einzustufenden Auslastungsbereich – kann aus dem bereits erwähnten Umstand abgeleitet werden, dass die zunehmende *Wartezeit* dazu führt, dass die mittlere *Beförderungsgeschwindigkeit* (in Abb. 9.30 gepunktet, auf Basis der ebenfalls dargestellten *Wartezeit* berechnet) abnimmt, um schließlich bei voller Auslastung gegen null zu gehen. Dies bedeutet definitionsgemäß nicht, dass keine Zugfahrten mehr stattfinden. Im Gegenteil ist der *Zugstrom* in Zügen je Zeiteinheit, welcher in die Strecke einfährt und diese verlässt, maximal. Diesem *Streckendurchsatz* steht aber eine sehr viel größere Anzahl von Zügen entgegen, welche mit einer sehr geringen mittleren *Beförderungsgeschwindigkeit* auf der Strecke unterwegs sind (siehe Abb. 9.31).

Um auszudrücken, ab wann die Abnahme der Beförderungsgeschwindigkeit die Zunahme des Streckendurchsatzes überwiegt, benötigt man eine Größe, welche sowohl für geringe *Beförderungsgeschwindigkeiten* als auch für einen geringen *Streckendurchsatz* kleine Werte annimmt und dazwischen ein Maximum aufweist. Die einfachste Definition einer solchen Größe ergibt sich durch Multiplikation von *Streckendurchsatz* und mittlerer *Beförderungsgeschwindigkeit*. Diese multiplikative Größe wird in annähernder Analogie⁴⁷ zur *kinetischen Energie* als *Beförderungsenergie* bezeichnet und ist wie die *kinetische Energie* ein Maß für die in der Bewegung (hier der Bewegung der Züge) befindlichen *Arbeit*. Sie stellt auch ein Maß für die Güte des Kompromisses zwischen Transporteur und Infrastrukturbetreiber dar. Da die *Beförderungsenergie* – welche auch als normierte Verkehrsleistung bezeichnet wird⁴⁸ – (in Abb. 9.30 langgestrichelt und wiederum auf Basis der *Wartezeit* berechnet) für *Auslastungsgrade* oberhalb des Maximums abnehmen würde, eignet sich dieses Maximum

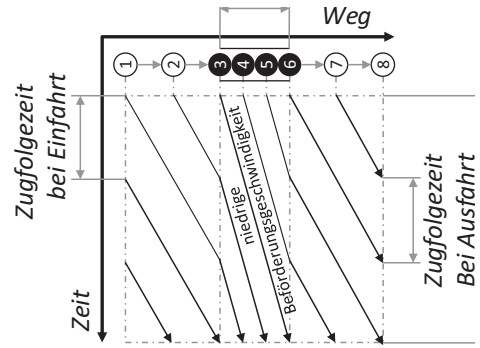


Abb. 9.31 Zugstrom auf einer stark belegten Strecke

der *Beförderungsenergie* als obere Grenze des *Auslastungsgrades*. Als Untergrenze eignet sich das oben besprochene Minimum der *Wartezeitempfindlichkeit*, da dies den Bereich der wirtschaftlichen Auslastung nach unten begrenzt⁴⁹.

Betrachtet man nicht den *Auslastungsgrad*, sondern die *Zugzahl*, so ergibt sich ein Unterschied zwischen der maximal konstruierbaren und der maximal fahrbaren *Zugzahl*, weil im Prozess der Fahrplanerstellung nicht alle Möglichkeiten der Infrastruktur ausgenutzt werden. Zu nennen sind z. B. das Verbiegen (Parallelisieren) von Trassen, das Aufgeben von Anschlüssen oder das zusätzliche Einlegen von Überholungen. Die maximale *Zugzahl* in der tatsächlichen Betriebsabwicklung liegt daher über derjenigen des Fahrplans⁵⁰.

Die Differenz zwischen der maximalen *Zugzahl* des Fahrplans und der maximalen *Zugzahl* des tatsächlichen Betriebs fällt umso geringer aus, je homogener der Fahrplan gestaltet ist. Der Fahrplan fällt umso homogener aus, je ähnlicher sich die Züge bezüglich ihrer Geschwindigkeit sind (Trassenparallelität)⁵¹.

⁴⁷ $\text{Zugstrom} \cdot \text{Geschwindigkeit} = (\text{Züge}/\text{Zeit}) \cdot \text{Geschwindigkeit} = (\text{Züge}/\text{Weg}) \cdot (\text{Weg}/\text{Zeit}) \cdot \text{Geschwindigkeit} = (\text{Züge}/\text{Weg}) \cdot \text{Geschwindigkeit}^2$ entspricht mit $(\text{Züge}/\text{Weg})$ als *Masse* formal der kinetischen Energie (ohne Faktor $\frac{1}{2}$), Eigentlich handelt es sich aber eher um eine *kinetische Energiedichte* (mit den Zügen als *Masse*).

⁴⁸ 2.2.5 „Verkehrsleistung in Hertel G (1992); [18].

⁴⁹ 5.2 „Optimaler Leistungsbereich“ in Pacht J (2008) ab Seite 150; [3].

⁵⁰ 5.1 „Leistungsverhalten und Leistungsfähigkeit“ in Pacht J (2008) auf Seite 148; [3].

⁵¹ 5.1 „Leistungsverhalten und Leistungsfähigkeit“ in Pacht J (2008) auf Seite 150; [3].

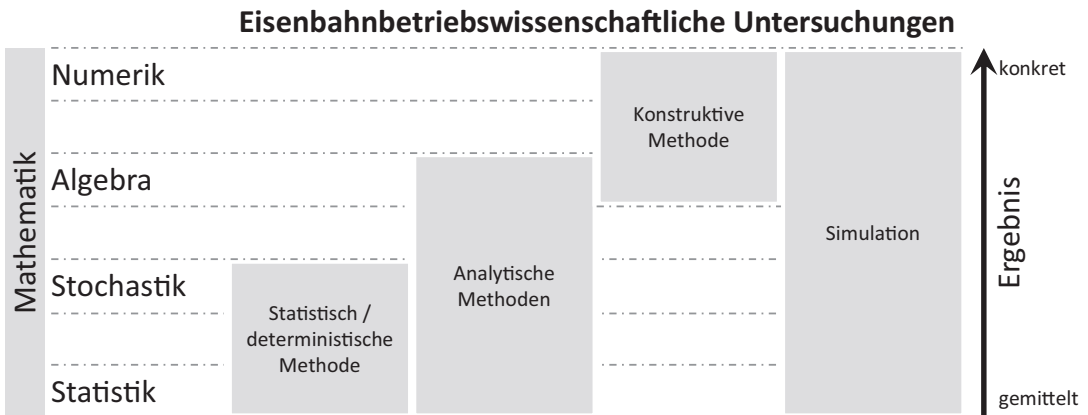


Abb. 9.32 Eisenbahnbetriebswissenschaftliche Untersuchungsmethoden

9.3.2 Untersuchungsverfahren für Leistungsuntersuchungen

Für Leistungsuntersuchungen können vier grundsätzliche Untersuchungsmethoden unterschieden werden:

- statistisch-deterministische Methoden,
- analytische Methoden,
- konstruktive Methoden und
- Simulation⁵².

Diese unterscheiden sich hinsichtlich der zum Einsatz kommenden mathematischen Teildisziplinen, wie in Abb. 9.32 dargestellt. Sowohl die Art der Eingangsgrößen als auch die möglichen Ergebnisse hängen von den mathematischen Methoden ab. Methoden, welche vor allem auf Statistik beruhen, generieren aus vielen Eingangsdatensätzen wenige Ergebniswerte, welche dann in stochastischen Modellen eingesetzt werden, um wiederum wenige gemittelte Kenngrößen zu berechnen. Im Gegensatz dazu benötigen numerische Simulationsmodelle sehr viele konkretere Eingangsdaten (darunter auch statistischen Größen) und Regelgrößen (z. B. für die Disposition); sie generieren ihrerseits sehr viele verschiedene detaillierte Datensätze, welche dann wieder mittels statistischer Verfahren ausgewertet werden müssen.

Statistisch-deterministische Methoden Statistisch-deterministische Methoden dienen vor allem der Datenerhebung und Auswertung und bilden damit die Grundlage für weitere Untersuchungen – z. B. durch Analyse des Ist-Zustands. Obwohl die statistische Auswertung des historischen Betriebsgeschehens durchaus Bewertungen zulässt, sind Aussagen zu zukünftigen Veränderungen nur in Sonderfällen und dann nur indirekt möglich. Deutet z. B. die Auswertung die Überlastung einer Infrastrukturkomponente an, so kann man bereits davon ausgehen, dass eine Anlagenreduzierung zu einer weiteren Verschlechterung der Betriebsqualität führen wird. Umgekehrt ist es aber nicht möglich, direkt Aussagen zu einer konkreten Umgestaltung abzuleiten.

Da für das Leistungsverhalten die Wartezeiten eine wesentliche Rolle spielen, werden vor allem diese ausgewertet. Typische Auswertungen außerplanmäßiger Wartezeiten umfassen:

- die Einbruchsverspätungen in das Untersuchungsgebiet (außerhalb des Untersuchungsgebietes akkumulierte außerplanmäßige Wartezeiten) und
- Halte- und Fahrzeitverlängerungen innerhalb des Untersuchungsgebiets (Zusatzverspätungen).

Eine Grundvoraussetzung für statistisch-deterministische Methoden besteht darin, dass entsprechende Betriebsdaten in einer möglichst rechnergestützt auswertbaren Form gesammelt wurden.

⁵² Richtlinie 405.0202; [19].

Analytische Methoden Der wesentliche Unterschied zwischen statistisch-deterministischen Methoden und analytischen Methoden besteht darin, dass sich die analytischen Methoden eines Modells bedienen. Dieses Modell basiert z. B. auf bedienungstheoretischen Ansätzen⁵³ und ermöglicht es, Aussagen zu angenommenen Szenarien zu machen. Die in den statistisch-deterministischen Methoden lediglich erhobenen Größen können auf Basis analytischer Methoden (häufig mit vereinfachenden Annahmen) auch berechnet und damit auch für zukünftige Zustände ermittelt werden. Aufgrund der bedienungstheoretischen Basis erfordern die Modelle meist statistische Eingangsgrößen, so dass eine „Verschmierung“ von detaillierten Angaben erforderlich ist. Ein vorgegebener Fahrplan wird dann z. B. auf Zugmischungen und Zuggattungen reduziert, die konkreten Fahrplananlagen gehen aber verloren. Das Ergebnis der Methode gilt daher für alle Fahrpläne mit gleicher Charakteristik im Mittel. Je systematischer der Fahrplan konstruiert ist, desto weniger trifft das Ergebnis zu. So können stark vertaktete Fahrpläne auf diese Weise nicht ohne weiteres untersucht werden.

Auch für analytische Methoden sind die Wartezeiten grundlegend. Eine typische Herangehensweise besteht darin, dass eine optimale Wartezeit vorgegeben wird und dann das Betriebsprogramm oder die Infrastrukturgestaltung so lange gezielt geändert werden, bis das Modell der konkreten Methode die vorgegebene Wartezeit ergibt. Die dazugehörigen Zug- oder Gleiszahlen sind dann das Ergebnis der Berechnung.

Konstruktive Methoden Die konstruktiven Methoden sind wie die statistisch-deterministischen Methoden einfach zu handhaben, stellen aber das entgegengesetzte Extrem dar. Da sie sehr konkrete Vorgaben erfordern, ähneln oder entsprechen sie der Fahrplankonstruktion. Obwohl sie keine modellbasierte Berechnung der Wartezeiten enthalten, sind mit konstruktiven Methoden wie bei der Fahrplankonstruktion

konkrete Aussagen zu Infrastruktur- oder Fahrplanvarianten möglich, aber nur gültig für einen spezifischen Satz von Annahmen oder Vorgaben. Um Streuungen der Eingangsgrößen zu berücksichtigen, müsste die Methode mehrfach wiederholt angewendet werden, wodurch der Aufwand oft in keinem sinnvollen Verhältnis mehr zum Nutzen steht. Insbesondere führen Änderungen von Grundannahmen von Variantenuntersuchungen schnell dazu, dass alles grundlegend neu untersucht werden muss.

Die Wartezeiten sind bei der konstruktiven Methode Teil des konstruierten Fahrplans. Aussagen zu außerplanmäßigen Wartezeiten können daher nicht ohne weiteres gemacht werden. Meist geht es aber vor allem darum, die Konstruierbarkeit eines Fahrplans auf einer Infrastruktur festzustellen oder einen Modellfahrplan für eine analytische oder simulative Untersuchung zu schaffen. In der Regel ist die konstruktive Methode auch integraler Bestandteil einer Untersuchung mittels Simulation. Anderenfalls müsste die Simulation auf einen „zufälligen“ Fahrplan zurückgreifen.

Simulation Mittels Simulation können die Einschränkungen der bisher besprochenen Methoden zum Preis einer erheblich größeren Komplexität überwunden werden. Insbesondere können mittels Simulationen konkrete Vorgaben mit statistischen Untersuchungen unter Anwendung von Vorhersagemodellen kombiniert werden. Im Prinzip handelt es sich um eine sich wiederholende automatisierte konstruktive Methode, welche die Stochastik des zu untersuchenden Betriebsregimes berücksichtigt. Da Simulationen die Fähigkeiten der anderen Methoden in sich vereinen, vereinen sie auch deren Notwendigkeiten. Dies bedeutet konkret, dass Simulationen den Aufwand der konstruktiven Methoden mit der Notwendigkeit der statistischen Untersuchung zur Gewinnung von Eingangsgrößen und dem Vorhandensein eines meist numerischen Modells (welches der Bearbeiter verstehen muss) kombinieren. Für das Modell existieren zwei Grundformen, die beide versuchen, den Bahnbetrieb nachzubilden, um so den realen Betriebsablauf in der Simulation möglichst detailgenau vorweg-

⁵³ siehe Pahl J (2008) unter 5.3.3 „Analytische Untersuchung von Strecken“ und 5.3.4 „Analytische Untersuchung von Knoten“; [3].

zunehmen. Die Simulation entspricht damit der Finite-Elemente-Methode der Mechanik, welche Laborversuche ersetzt. Im Gegensatz zur Mechanik ist die Simulation im Bahnbetrieb aber unverzichtbar, da Experimente im realen Bahnbetrieb nur in äußerst geringem Umfang denkbar sind.

Bei den beiden Formen der Simulation handelt es sich um:

- die asynchrone und
- die synchrone

Simulation.

Da bei beiden Simulationsarten der Anspruch darin besteht, den Betrieb nachzubilden, müssen beide Simulationen in der Lage sein, das Verhalten von Zugfahrten abzubilden. Da dieses Verhalten durch das Simulationsmodell determiniert wird, muss sich bei mehrfacher Simulation desselben Fahrplans im Mittel auch dasselbe Resultat ergeben. Weist der unterstellte Fahrplan Konflikte auf, werden diese im Rahmen der Simulation durch Abweichungen des Simulationsergebnisses vom ursprünglichen Fahrplan in Erscheinung treten. Die sog. Einzelsimulation eines Fahrplans ermöglicht bereits die Prüfung einer Fahrplan-Infrastruktur-Kombination auf Konflikte. Es können also im Gegensatz zu den konstruktiven Methoden auch außerplanmäßige Wartezeiten ermittelt werden.

Der eigentliche Sinn von Simulationen besteht aber darin, die Stochastik des Bahnbetriebs abzubilden. Dazu wird der vorgegebene Fahrplan nicht nur einmal, sondern wiederholt simuliert und in jedem Simulationslauf werden Störungen in Form von Einbruchverspätungen oder Haltezeitverlängerungen eingespielt, die ebenfalls zu außerplanmäßigen Wartezeiten (Folgeverspätungen) führen können. Um eine möglichst wirklichkeitsnahe Simulation zu ermöglichen, werden diese Störungen nach bestimmten Zufallsfunktionen erzeugt und müssen zunächst, z. B. unter Anwendung statistisch-deterministischer Methoden, für den Untersuchungsraum ermittelt werden. Weiterhin sollte z. B. durch eine Eichung am tatsächlichen Betrieb für zukünftige Zustände eine eingehende Plausibilitätsüberprüfung des simulierten Betriebs erfolgen. Die Auswertung der sog. Mehrfachsimulation erfolgt dann ebenfalls mittels statistisch-deterministischer Methoden, da es sich letztlich um nichts anderes als eine

Vorwegnahme des Eisenbahnbetriebs handelt und ähnlich viele Daten anfallen.

Bei der synchronen Simulation wird das Verhalten von gleichzeitig verkehrenden Zügen auch simultan berechnet. Daher ist die synchrone Simulation in der Lage, dem tatsächlichen Betriebsablauf sehr nahe zu kommen. Das oben bei der Diskussion des Leistungsverhaltens angesprochene Verbiegen, außerplanmäßiges Überholen oder der Ausfall von Anschlüssen können – entsprechende Dispositionsregeln für Überholen und Anschlüsse vorausgesetzt – nachgebildet werden.

Bei der asynchronen Simulation werden die Züge nacheinander in der Reihenfolge ihres Ranges eingelegt. Der Vorgang ähnelt der Fahrplankonstruktion und unterstellt damit eine vorausschauende Disposition. Es ergeben sich daher typischerweise für die verschiedenen Gattungen andere Lösungen als bei der synchronen Simulation. Zudem wird wegen der Ähnlichkeit zur Fahrplankonstruktion meist nicht mit verbogenen Trassen gearbeitet, weshalb die Ergebnisse einer asynchronen Simulation dann tendenziell zu sehr auf der sicheren Seite liegen (größere Wartezeiten als in der Realität). Wie auch bei der synchronen Simulation werden Dispositionsregeln benötigt um z. B. zu definieren, unter welchen Umständen außerplanmäßige Überholungen stattfinden sollen⁵⁴.

Um den dispositiven Überblick eines Dispatchers in einen ansonsten realitätsnahen Betriebsablauf zu integrieren, besteht auch die Möglichkeit, beide Verfahren zu kombinieren. Hierbei werden die beiden Verfahren als voneinander unabhängige Agenten betrachtet, welche zu bestimmten Zeitpunkten interagieren, so wie es Dispatcher (asynchron) und Triebfahrzeugführer (synchron) tun würden⁵⁵.

Da es sich bei Simulationsverfahren nicht um eine analytische Methode handelt, können Dimensionierungen nicht direkt berechnet, sondern nur „ausprobiert“ werden. Beim Einsatz von Simulationen sollten daher immer Varianten (siehe

⁵⁴ 5.3.2 „Simulationsverfahren Pachtl J (2008) ab Seite 156; [3].

⁵⁵ <http://www.via-con.de/development/luks/luks-s> (in englischer Sprache), Zugriff am 22. Mai 2013.



Abb. 9.33 Eisenbahnbetriebswissenschaftliche Untersuchungsmethoden für die Infrastrukturbemessung

auch Abschn. 9.3.4) untersucht und deren Ergebnisse verglichen werden.

Ein Ansatz zur Ermittlung des optimalen Leistungsbereichs einer Infrastruktur und damit auch zur Bewertung eines konkreten Fahrplans für eine vorgegebene Infrastruktur stellt der in Abb. 9.30 dargestellte Zusammenhang dar⁵⁶. Hierfür sind aber zusätzlich zur Mehrfachsimulation Variationen des Auslastungsgrads und damit Variationen des Fahrplans erforderlich. Weiterhin kann eine Kombination von Belegungsgrad und Behinderungsgrad zur mikroskopischen Bewertung von Engpässen auf Infrastrukturelementen sowie zu deren Bewertung hinsichtlich ihrer Signifikanz genutzt werden⁵⁷.

9.3.3 Einsatz der verschiedenen Methoden

Wie im vorigen Abschnitt festgestellt, existieren verschiedene grundsätzliche Methoden. Je nach Untersuchungsgegenstand und Planungsstand der Vorgaben erfolgt dann die Wahl eines bestimmten Untersuchungsverfahrens. Der Untersuchungsgegenstand kann sehr verschiede-

ne Größenordnungen aufweisen und von einer Gleisgruppe bis zu einem kompletten Netz reichen. Die allgemeine Eignung der im vorstehenden Abschnitt diskutierten Grundverfahren für die Bemessung von Infrastrukturanlagen unterschiedlicher Größenordnung ist in Abb. 9.33 dargestellt. Je systematischer der zugrundeliegende Fahrplan und je mehrkanaliger die Infrastruktur, desto eher ist eine Simulation erforderlich. Je unsystematischer der Fahrplan und je einfacher strukturiert die Infrastruktur, desto eher eignen sich analytische Methoden. Die Einordnung in Abb. 9.33 gilt für den allgemeinen Fall, im Spezialfall können Abweichungen auftreten. So kann es erforderlich sein, eine Gleisgruppe durch Simulation zu dimensionieren, oder es kann eine einfache Strecke für einen einfachen systematischen Fahrplan mittels angepasster analytischer Verfahren dimensioniert werden.

Neben der Bemessung werden die in Abb. 9.33 aufgeführten Untersuchungsverfahren noch für die folgenden Untersuchungen von Netzelementen genutzt⁵⁸:

- allgemein
 - konstruktiv
 - konfliktfreie Modellfahrpläne für andere Untersuchungen

⁵⁶ Martin U, Schmidt C (2010): Abb. 3 „Programmbereich ‚Optimaler Leistungsbereich‘“ auf Seite 466; [20].

⁵⁷ Martin U, Li X, Warninghoff C (2012): 5. Engpassanalyse ab Seite 40; [21].

⁵⁸ Richtlinie 405.0202; [19].

- konfliktfreie Modellfahrpläne zur Untersuchung von Betriebszuständen
- Prüfung analytischer Ergebnisse
- Bemessung für fest definierte verkehrliche Anforderungen
- Simulation (Qualität, Leistungskenngrößen, Ermitteln maßgeblicher Netzelemente)
 - Untersuchung von Betriebsprogrammen mit vielen bekannten Randbedingungen
 - Prüfung von Betriebszuständen
 - Stabilitätsprüfung für Betriebsprogramme
 - Untersuchungen, welche nur mit Simulation durchgeführt werden können
- Netz
 - Simulation (Qualität, Leistungskenngrößen, Ermitteln maßgeblicher Netzelemente)
 - Bemessen von Netzelementen
 - Untersuchen von Wechselwirkungen zwischen Netzelementen
- Strecken
 - analytisch (Qualität, Leistungskenngrößen, Bemessung, Feststellen von Engpässen)
 - eingleisige Strecken
 - zweigleisig im Einrichtungsbetrieb je Streckengleis
 - konstruktiv
 - Ermittlung des Belegungsgrads anhand eines Fahrplans
- Knoten
 - konstruktiv
 - Ermittlung des Belegungsgrads anhand eines Fahrplans
- Fahrstraßenknoten⁵⁹
 - analytisch (Qualität, Leistungskenngrößen, Bemessung, Feststellen von Engpässen)
 - Fahrstraßenknoten
 - Teilfahrstraßenknoten⁶⁰
 - konstruktiv
 - Optimierung von Fahrwegen
- Gleisgruppen
 - analytisch (Qualität, Leistungskenngrößen, Bemessung, Feststellen von Engpässen)
 - konstruktiv
 - Optimierung der Belegung
 - Optimierung von Umläufen

9.3.4 Ablauf der Untersuchungen

Wie bereits beschrieben, bauen Leistungsuntersuchungen für Eisenbahninfrastruktur aufeinander auf. Es treten aber auch Iterationen sowie Variantenuntersuchungen auf. Bei letzteren werden mehrere Lösungswege miteinander verglichen.

Einfache Iteration Eine einfache Iteration (Abb. 9.34) tritt auf, wenn das Ergebnis einer Leistungsuntersuchung unbefriedigend ausfällt. Wie unter Abschn. 9.3.1 beschrieben, tritt dieser Fall auf, wenn die zu erwartende Betriebsqualität zu schlecht ausfällt (zu große Wartezeiten) oder wenn die Wirtschaftlichkeit nicht gegeben ist (zu viele Reserven). In diesen Fällen müssen Fahrplan oder Infrastruktur entsprechend angepasst werden. Im Fall des Fahrplans bedeutet dies, dass Linienvläufe verschoben oder in ihrer Taktung angepasst werden müssen. Im Fall der Infrastruktur muss der Spurplan angepasst werden.

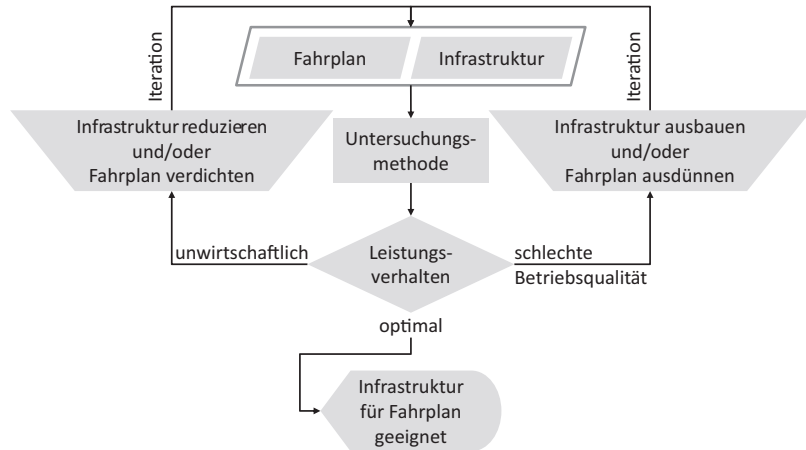
Variantenuntersuchungen Da in der Praxis wegen der vielen zu beachtenden Randbedingungen häufig Kompromisse erforderlich sind, ist es üblich, mehrere Varianten (mit jeweils unterschiedlichen Vor- und Nachteilen) miteinander zu vergleichen und dann diejenige auszuwählen, welche der Aufgabe am besten gerecht wird. In Abb. 9.35 ist der prinzipielle Ablauf am Beispiel einer Variantenuntersuchung mit zwei Varianten dargestellt. Die zwei in Abb. 9.34 angegebenen Gründe für Iterationen sind auch bei Variantenuntersuchungen beide relevant, zur

⁵⁹ Durch entgegengesetzt gerichtete Hauptsignale begrenzter Gleisbereich, in dem mehrere Fahrwege von Zügen durch Weichen und/oder Kreuzungen miteinander verbunden sind (Glossar der Systemtechnik des Schienenverkehrs, <http://www.joernpachl.de/glossar.htm#F>. Zugegriffen: 30.10.2013)

⁶⁰ Element eines Fahrstraßenknotens, in dem sich alle darüber führenden Fahrstraßen gegenseitig ausschließen (Glos-

sar der Systemtechnik des Schienenverkehrs, <http://www.joernpachl.de/glossar.htm#F>. Zugegriffen: 30.10.2013)

Abb. 9.34 Prinzipieller Ablauf einer eisenbahnbetriebswissenschaftlichen Untersuchung mit Iteration



Verbesserung der Übersichtlichkeit werden sie aber in Abb. 9.35 unter dem Begriff „ungeeignet“ zusammengefasst. Wegen der angedeuteten Notwendigkeit zu Kompromissen wurde zudem „optimal“ durch „geeignet“ ersetzt.

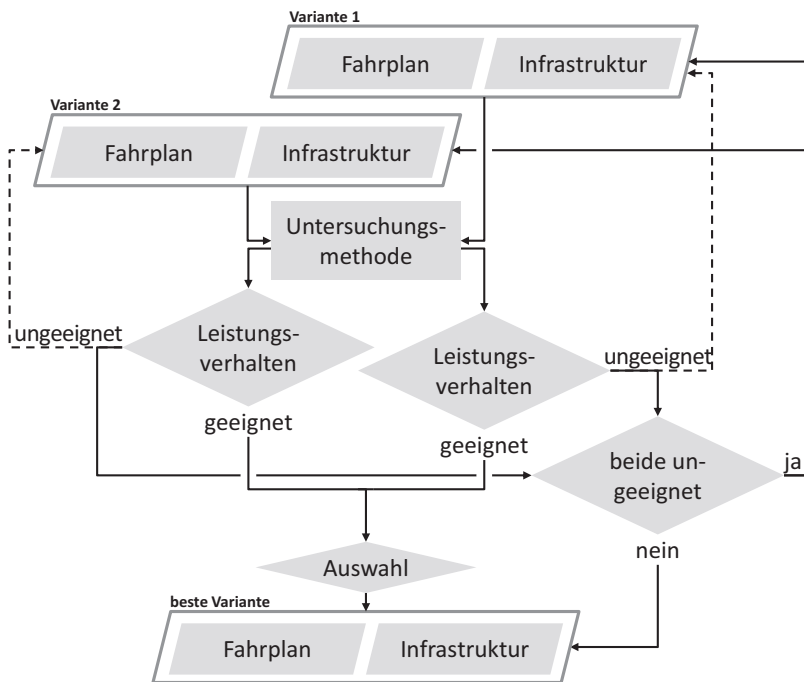
Da zwei Varianten untersucht werden, sind mehrere Formen von Iterationen möglich. Sind beide Varianten ungeeignet, so müssen beide Lösungsvorschläge überarbeitet werden. Ist hingegen nur eine der beiden ungeeignet, kann es sinnvoll sein, diese zu überarbeiten und erst dann einen Variantenvergleich durchzuführen. In diesem Fall liegt nur eine Teiliteration (in Abb. 9.35, gestrichelt) vor. Das Grundprinzip aus Abb. 9.34 kann natürlich auch für mehr als zwei Varianten angewandt werden.

Die Auswahl der besten Variante muss möglichst objektiv und nachvollziehbar sein. Dies ist mit einer weitgehend monetären Bewertung am besten zu gewährleisten, aber meist nicht uneingeschränkt möglich. Ziel der monetären Bewertung ist es, Aufwand und Nutzen einer Lösung mittels Geldwerten zu vergleichen. Für die Infrastruktur müssen hierfür die Lebenszykluskosten oder der Unterschied der Lebenszykluskosten der verschiedenen Varianten berechnet werden. Diese umfassen neben den Investitionskosten insbesondere die Instandhaltungskosten sowie die Rückbaukosten. Für den Fahrplan müssen (aus Sicht des Infrastrukturbetreibers) die Trasseneinnahmen (oder der Ausfall derselben), die durch den im Fahrplan unterstellten Verkehr entstehenden Betriebskosten (für das stationäre

Betriebspersonal) sowie aus der Betriebsqualität resultierende Kosten (z. B. für im Trassenpreissystem festgelegte Strafzahlungen oder zur Berücksichtigung des Nachfragerückgangs) berücksichtigt werden. Obwohl eine rein monetäre Betrachtung meist zu aufwändig oder aufgrund fehlender Daten unmöglich ist, sollten so viele Aspekte wie möglich monetär ausgedrückt werden. Weiterhin sollten die nicht monetären Varianteigenschaften möglichst quantifiziert werden, also nicht nur mit verbalen Bewertungen wie „gut“ oder „schlecht“ versehen werden. Im Fall von Leistungsuntersuchungen bieten sich dafür z. B. die sich ergebenden Leistungskenngrößen an. Bei den verbleibenden nicht quantifizierbaren Varianteigenschaften handelt es sich meist um Einschätzungen zur Akzeptanz einer Maßnahme in der Öffentlichkeit oder um Bewertungen, welche für die aktuelle Planungsstufe unangemessen aufwändige Teiluntersuchungen erforderlich machen würden (z. B. Nachfragewirkung oder Umweltverträglichkeit in Voruntersuchungen).

Um auch inkompatible Größen und Expertenmeinungen objektiv und nachvollziehbar zu vergleichen, sollte ein formalisierter Entscheidungsprozess zum Einsatz kommen. Ein einfaches Verfahren bietet die Nutzwertanalyse, bei welcher den verschiedenen Eigenschaften zunächst Gewichte (zur Abbildung ihrer Wichtigkeit für die Gesamtbewertung) und dann Noten zugewiesen werden. Die Noten werden anschließend unter Berücksichtigung der Gewichte gemittelt, wodurch sich eine Rangfolge der Varianten anhand

Abb. 9.35 Ablauf einer eisenbahnbetriebswissenschaftlichen Variantenuntersuchung



der sich ergebenden Gesamtnoten aufstellen lässt. Nachteilig an der – leicht zu handhabenden – Nutzwertanalyse sind vor allem die vielen Freiheitsgrade (Gewichtung und Noten je Eigenschaft), da diese zu einer gewissen Beliebigkeit des Ergebnisses führen, was im Widerspruch zur angestrebten Objektivität steht. Selbst wenn die Eigenschaften alle objektiv quantifiziert sind, hat doch die Gewichtung noch erheblichen Einfluss auf das Ergebnis.

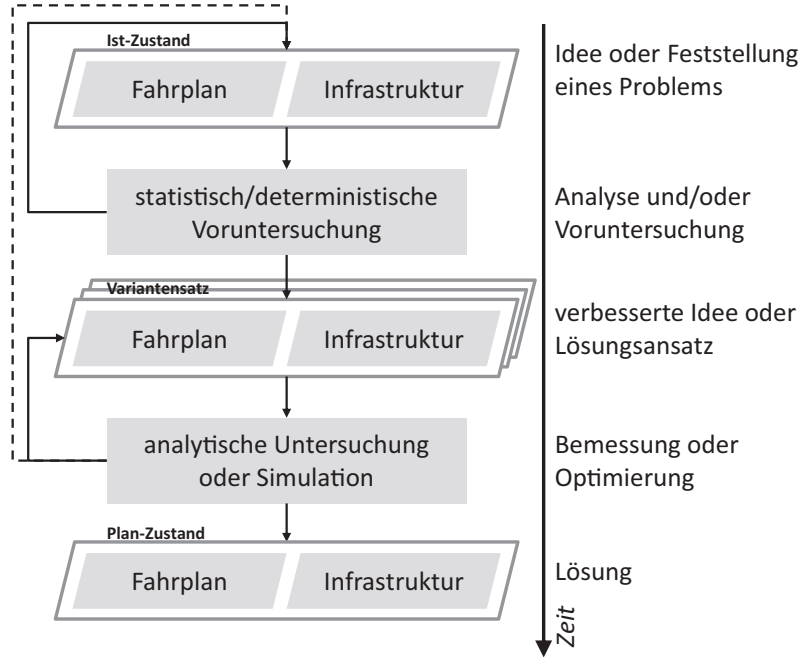
Beim analytischen Hierarchieprozess⁶¹ (AHP) handelt es sich um einen in der Anwendung komplexeren, aber auch objektiveren Entscheidungsprozess. Das Grundprinzip der einfachen Nutzwertanalyse, die Eigenschaften der einzelnen Kriterien gewichtet zu mitteln, kommt auch hier zur Anwendung. Die Gewichte werden aus einer für jedes Kriterienpaar vorzunehmenden Bewertung bezüglich ihrer Wichtigkeit im direkten Vergleich zueinander berechnet. Diese Vorgehensweise bietet zwei Vorteile. Erstens kann die relative Wichtigkeit eines Kriteriums gegenüber *einem* anderen besser diskutiert und

begründet werden als die Festlegung eines globalen Wichtungsfaktors. Zweitens bietet der analytische Hierarchieprozess auch die Möglichkeit, die innere Logik der Bewertung zu überprüfen. Unlogische Reihungen wie $A > B > C > A$ beim Paarvergleich können auf diese Weise identifiziert werden. Weiterhin können mittels einer zur Bestimmung der Kriteriengewichte analogen Herangehensweise auch sonst nicht quantifizierbare Varianteneigenschaften durch paarweisen Vergleich quantifiziert werden.

Mehrfache stufenweise Iteration Unter Abschn. 9.3.2 wurde bereits erläutert, dass es üblich ist, das Leistungsuntersuchungen aufeinander aufbauen. Hierbei können je Stufe die oben beschriebenen Iterationen sowie Variantenuntersuchungen erforderlich sein. Obwohl der Sinn der Voruntersuchungen darin besteht, unpraktikable Lösungen herauszufiltern, kann es erforderlich sein, eine Lösung in der Bemessungsphase zu verwerfen, wenn sich erst hier wegen der im Vergleich zur Voruntersuchung genaueren Untersuchung herausstellt, dass die Lösung nicht funktioniert (in Abb. 9.36 gestrichelt). Für komplexe Infrastrukturuntersuchungen (Netze und große

⁶¹ 4.3 „Analytischer Hierarchie Prozeß“ in Götze U (2008); [22].

Abb. 9.36 Eisenbahnbetriebswissenschaftliche Untersuchung in mehreren Phasen



Knoten) sind, anders als in Abb. 9.36, mehr als zwei Untersuchungsstufen erforderlich.

Zusammenfassung

Wesentliche Erkenntnis des obigen Hauptabschnitts ist, dass das optimale Zusammenspiel von Infrastruktur und Angebotskonzeption nicht nur theoretisch beschrieben, sondern auch mittels verschiedener Methoden berechnet werden kann. Grundlegend hierfür sind die planmäßigen und außerplanmäßigen Wartezeiten als entscheidende Größen des Leistungsverhaltens.

Mit den Leistungsuntersuchungen schließt sich die Lücke zwischen der Angebotskonzeption (mit ihrer Notwendigkeit für eine angepasste Infrastruktur) und der Spurplangestaltung (mit ihrer Notwendigkeit für konkrete betriebliche Vorgaben). Wenn sich auf Basis der Leistungsuntersuchungen herausstellt, dass die Infrastruktur durch die Angebotskonzeption zu gering oder übermäßig belastet wird, müssen Angebotskonzeption und Infrastruktur besser aufeinander abgestimmt werden.

9.4 Zusammenfassung

Die drei Aspekte der betrieblichen Infrastrukturgestaltung

- die Angebotskonzeption,
- die Spurplangestaltung und
- die Leistungsuntersuchungen

bilden – wie bereits in der Einleitung dieses Kapitels festgestellt – eine untrennbare Einheit. Dies bedeutet, dass in der Praxis nie nur einer der drei Aspekte betrachtet wird. Dabei schöpft der mit der betrieblichen Infrastrukturgestaltung befasste Praktiker aus seiner Erfahrung und seinem über die Jahre erworbenen Systemverständnis.

In Abb. 9.37 sind die drei Aspekte noch einmal mit den zwischen ihnen bestehenden Beziehungen dargestellt. Anders als die für dieses Kapitel gewählte Reihenfolge der Hauptabschnitte möglicherweise suggeriert, sind die drei Teile dabei alle gleichberechtigt und ergänzen einander, wie die untenstehenden Kurzbeschreibungen noch einmal verdeutlichen sollen.

- Die Angebotskonzeption beschreibt das gesellschaftlich gebotene bzw. vermarktbar und infrastrukturell mögliche Angebot

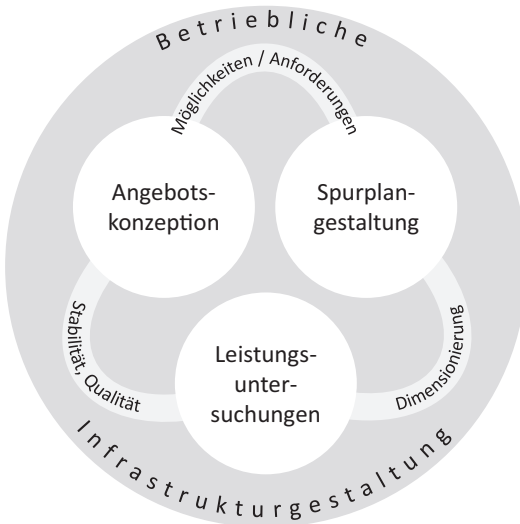


Abb. 9.37 Zusammenspiel von Angebotskonzeption, Spurplangestaltung und Leistungsuntersuchungen

an Verkehrsleistungen. Im Prozess der Angebotserstellung muss dabei

1. die Spurplangestaltung hinterfragt werden, wenn die Nachfrage nach Verkehrsleistungen sonst nicht bedient werden kann oder die Infrastruktur überdimensioniert ist, sowie
2. die Qualität und Stabilität des Fahrplans berücksichtigt werden, da sich ansonsten die Nachfrage auf andere, verlässlichere Verkehrsträger verlagert.

- ▶ Die Spurplangestaltung findet den gesellschaftlich gebotenen und verkehrlich erforderlichen Infrastrukturausbaugrad. Dieser muss:

1. wirtschaftlich zu betreiben sein und
2. eine für die Wettbewerbsfähigkeit des Eisenbahnverkehrs notwendige Betriebsqualität sicherstellen.

- ▶ Schließlich dienen die Leistungsuntersuchungen dazu, einen optimalen Ausgleich zwischen den Anforderungen der Verkehrskunden und des Infrastrukturbetreibers zu erreichen, um so die Wettbewerbsfähigkeit des Gesamtsystems Eisenbahn in Konkurrenz mit den anderen Verkehrsträgern und als Teil eines gesamtgesellschaftlich opti-

malen Verkehrswesens sicher zu stellen. Dies bedeutet im Endeffekt, dass

1. sowohl die Infrastruktur als auch
 2. die auf der Infrastruktur angebotenen Verkehrsleistungen
- zu einem möglichst günstigen Verhältnis von Aufwand zu Nutzen führen sollen.

Literatur

1. Korbion H, Mantscheff J, Vygen K (2010) Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI 2009). Kommentar. Aktualisierungsband. Verlag C. H. Beck, München
2. Intraplan, Beratergruppe Verkehr + Umwelt (2010) Überprüfung des Bedarfsplans für die Bundesschienenwege. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, <http://www.bmvbs.de/Shared-Docs/DE/Artikel/UI/bedarfsplanueberpruefung.html>. Zugegriffen 14. März 2013
3. Pacht J (2008) Systemtechnik des Schienenverkehrs. B. G. Teubner Stuttgart, Leipzig
4. Meffert R (2012) Richtlinie 408. Züge fahren und Rangieren. DB Netz AG, Frankfurt am Main
5. DB Netz AG (2012) Schienennetz-Benutzungsbedingungen der DB Netz AG 2013, Frankfurt am Main
6. DB Schenker Rail (2012) Weichenstellung für die Zukunft. railways: Das Kundenmagazin der DB Schenker Rail. 02 2012, S. 9–13
7. Kraft G (2013) Netzwerkbahn – Ein Geschäftsmodell mit Zukunft. Eisenbahntechnische Rundschau 62(6):10–11
8. Brückmann G (2008) Richtlinie 413. Bahnbetrieb. Infrastruktur gestalten. DB Netz AG, Frankfurt am Main
9. Mobility Networks Logistics (2007) Eisenbahnatlas Deutschland. Verlag Schweer + Wall GmbH, Belgien
10. Preuß E (1996) Das große Archiv der deutschen Bahnhöfe. GeraNova Zeitschriftenverlag GmbH, München. (lose Blattsammlung)
11. DB Station&Service AG (2012) Richtlinie 813. Personenbahnhöfe planen. DB Station&Service AG, Berlin
12. Grau B (1966) Bahnhofsgestaltung. Bd. 1 und 2. TRANSPRESS VEB Verlag für Verkehrswesen, Berlin
13. Geisler H, Welker L (2005) STINNESrailport – Innovation für den Schienengüterverkehr von morgen. Deine Bahn August 2005:474–475
14. Welker L (2007) Railport Europe. Deine Bahn September 2007:33–37
15. European Conference of Ministers of Transport (ECMT), European Commission (EC) (2001) TERMINOLOGIE DES KOMBINIERTEN VERKEHRS. <http://www.internationaltransportforum.org/Pub/pdf/termcomb.pdf>. Zugegriffen: 2. Okt. 2012

16. DB Netz AG (2012) Infrastrukturregister. Erfurt Hauptbahnhof. Gleise in Serviceeinrichtungen. http://stredax.bahn.de/ISRViewer/public_html_de/svg/index.html. Zugegriffen: 17. Okt. 2012. (Stand 1. Oktober 2012)
17. Rebstock M (2007) Barrierefreie höhengleiche Reisendenübergänge. *Der Eisenbahningenieur* August 2007:46–53
18. Hertel G (1992) Die maximale Verkehrsleistung und die minimale Fahrplanempfindlichkeit auf Eisenbahnstrecken. *Eisenbahntechnische Rundschau* 42:665–671
19. Rothe I (2008) Richtlinie 405. Bahnbetrieb. Richtlinie Fahrwegkapazität. DB Netz AG, Berlin
20. Martin U, Schmidt C (2010) Erhöhung der Effektivität und Transparenz bei Leistungsuntersuchungen mit Simulationsverfahren. *Eisenbahntechnische Rundschau* 59(7/8):463–468
21. Martin U, Li X, Warninghoff C (2012) Bewertungsverfahren für Knotenelemente bei der Infrastrukturbemessung – RePlan. *Eisenbahntechnische Rundschau* 61(12):38–43
22. Götze U (2008) Investitionsrechnung – Modelle und Analysen zur Beurteilung von Investitionsvorhaben. Springer-Verlag, Berlin

Ulrich Maschek

10.1 Einführung

10.1.1 Begriffsabgrenzung

Das Gebiet der technischen Sicherung des Bahnbetriebs wurde bis Mitte des 20. Jahrhunderts meist pragmatisch als „Signaltechnik“ bezeichnet. Dass diese Bezeichnung zu einengend ist, wurde schon früh erkannt. Unter anderem hieß eine Fachzeitschrift zeitweise „Zeitschrift für das gesamte Eisenbahnsicherungswesen“. Die Deutsche Bundesbahn übernahm den traditionellen Begriff „Signaltechnik“, während die Deutsche Reichsbahn der DDR den treffenderen Begriff „(Eisenbahn-) Sicherungstechnik“ verwendete.

Die Weiterentwicklung der Technik mit der Möglichkeit, komplexe Informationen zu verarbeiten, führte dazu, dass auch dispositive Tätigkeiten technisch unterstützt werden konnten. Weil hier i. d. R. keine Sicherheitsrelevanz besteht, spricht man von Leittechnik im Gegensatz zur Sicherungstechnik. Da aber beide Techniken funktional eng miteinander verbunden sind, werden sie meist im Zusammenhang betrachtet. Das führte zum Begriff „Leit- und Sicherungstechnik“ (LST), den die Deutsche Bahn in ihren Gründungsjahren schuf und der sich im Bereich der Bahnen nach EBO (Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung) weitgehend durchgesetzt hat.

Im Geltungsbereich der BOStrab (Straßenbahn-Bau- und Betriebsordnung) sind die Be-

griffe anders definiert. In Bereichen, in denen im Raumabstand gefahren wird, findet der Begriff „Zugsicherung“ Verwendung. Für Bereiche, in denen planmäßig auf Sicht gefahren wird, wird für die Technik der Begriff „Fahrsignalanlagen“ benutzt.

Innerhalb der technischen Sicherung kann weiterhin in drei große Teilgebiete unterschieden werden: Fahrwegsicherung, Zugbeeinflussung und Bahnübergangssicherung (Abb. 10.1). Durch wörtliche Übersetzung englischsprachiger Begriffe wurde in letzter Zeit die Zugbeeinflussung auch als „Zugsicherung“ bezeichnet. Das ist jedoch eine Fehlübersetzung, zumal hier Verwechslungsgefahr mit dem in der BOStrab festgelegten Begriff „Zugsicherung“ besteht, der überdies viel mehr als die Zugbeeinflussung umfasst.

10.1.2 Maßgebende Systemeigenschaften

Der Schienenverkehr ist durch zwei maßgebende Systemeigenschaften geprägt:

- lange Bremswege durch geringe Haftreibung,
- Spurführung.

Beide Eigenschaften haben bestimmte Aufgaben bei der Sicherung der Fahrten von Schienenfahrzeugen zur Folge, die in konkrete Schutzfunktionen münden (Abb. 10.2).

Durch die langen Bremswege ist ein Fahren auf Sicht i. d. R. nicht möglich. Deshalb sind besondere Vorkehrungen gegen Kollisionen mit verschiedenen Objektarten zu treffen:

U. Maschek (✉)
TU Dresden, 01069 Dresden, Deutschland
E-Mail: u.maschek@tu-dresden.de

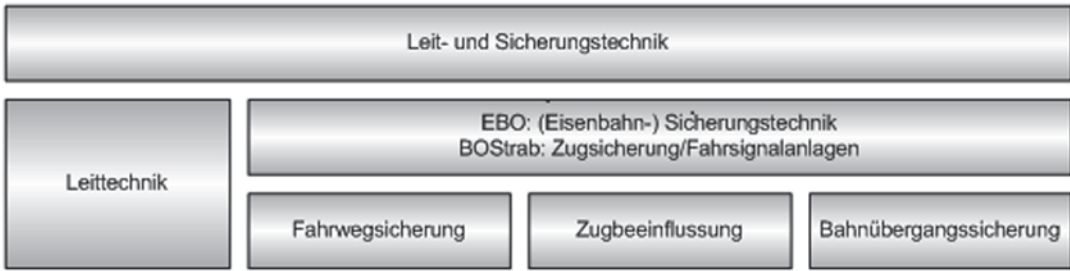


Abb. 10.1 Systematisierung der Begriffe

Maßgebende Systemeigenschaft



Aufgabe zur Gewährleistung der Sicherheit



Konfliktpartner bzw. -ort



Schutzfunktion



Primäre Folge bei Versagen der Schutzfunktion



Anwendungen

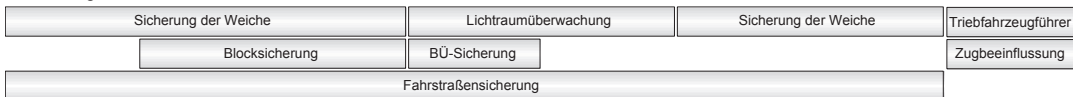


Abb. 10.2 Maßgebende Systemeigenschaften und daraus resultierende Schutzfunktionen der Sicherungstechnik

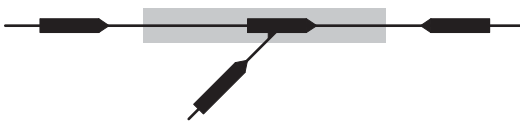


Abb. 10.3 Möglichkeiten des Eindringens von anderen Schienenfahrzeugen in den freigegebenen Lichtraum

- Flanken-, Folge- und Gegenfahrerschutz: Bei Konflikten mit Schienenfahrzeugen kann es zu verschiedenen Arten des Zusammentreffens kommen. Folge- und Gegenfahrten sind vorderes oder hinteres, Flankenfahrten seitliches Eindringen in den freigegebenen Lichtraum eines Schienenfahrzeuges (Abb. 10.3).

- Schutz an niveaugleichen Kreuzungen: Konflikte mit systemfremden Verkehrsteilnehmern können an Stellen auftreten, wo der Verkehrsraum von verschiedenen Verkehrsträgern benutzt werden darf. Häufigster Anwendungsfall ist der Bahnübergang.
- Schutz vor übrigen Hindernissen: Dies sind Konflikte mit allen anderen Objekten, die kein Schienenfahrzeug sind und sich auch sonst nicht im Lichtraum aufhalten dürfen. Aufgrund der undefinierten Beschaffenheit der Objekte und der großen räumlichen Ausdehnung des Lichtraumes ist eine Erkennung sehr aufwendig und wird nur vereinzelt angewandt.

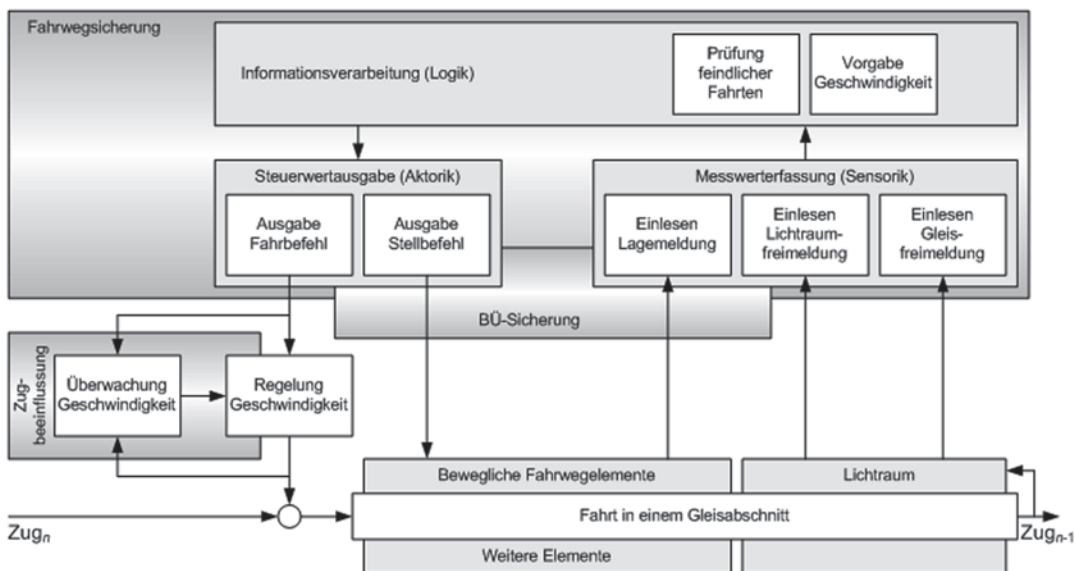


Abb. 10.4 Regelkreis der Betriebssicherheit im Schienenverkehr

Durch die Spurführung ist i. d. R. ein sehr sicherer Lauf von Schienenfahrzeugen gegeben. Bei Überschreitung physikalischer Grenzen kann jedoch die Spurführung verloren gehen. Aus dem Verlust der Spurführung resultieren unkontrollierte, gefährliche Bewegungen des Schienenfahrzeugs, die meist mit dem Verlassen des Lichtraumes und möglicherweise anschließenden Kollisionen einhergehen.

Grundsätzlich kann unterschieden werden, wo die Entgleisung stattfindet: An stetigen Stellen, d. h. an der nicht unterbrochenen Schiene, und an unstetigen Stellen. Letztere sind solche, an der die Schiene unterbrochen ist, wie zum Beispiel an beweglichen Fahrweegelementen (z. B. Weichen). Im Eisenbahnsystem tragen vor allem der Oberbau und die Fahrzeugkonstruktion zur Entgleisungssicherheit bei. Aber auch die Sicherungstechnik hat ihren Anteil: Durch die Sicherung beweglicher Fahrweegelemente und die Überwachung der Fahrzeuggeschwindigkeit.

Während die für die Geschwindigkeitsüberwachung zuständige Zugbeeinflussung sowie der für den Schutz vor systemfremden Verkehrsteilnehmern genutzte Bahnübergang relativ eigenständige Systeme sind, werden die anderen Aufgaben (Fahrwegsicherung) von Stellwerken

abgedeckt. Gleichwohl gibt es definierte Schnittstellen zwischen diesen Systemen.

10.1.3 Regelkreis der Betriebssicherheit im Schienenverkehr

Die Sicherung des Bahnbetriebes kann durch den in Abb. 10.4 gezeigten Regelkreis dargestellt werden. Zur Fahrt des Zuges in einem Gleisabschnitt müssen der dazugehörige Lichtraum von allen Gegenständen frei sein sowie die dabei befahrenen beweglichen Fahrweegelemente die richtige Lage eingenommen haben. Diese Zustände werden durch eine Sensorik erfasst. Dabei steht die Gleisfreimeldung für die Freiheit des Gleises von anderen Schienenfahrzeugen und die Lichtraumfreimeldung für die Freiheit von anderen Objekten (systemfremde Verkehrsteilnehmer, übrige Umwelt). Wenn durch den vorangegangenen Zug der Gleisabschnitt verlassen wurde, wird dieser freigemeldet.

Nach der Informationsverarbeitung muss eventuell noch ein Stellbefehl ausgegeben werden, um die beweglichen Fahrweegelemente in die richtige Stellung zu bringen, was ein erneutes Einlesen der Lage zur Folge hat. Sind die Vor-

aussetzungen erfüllt, kann ein Fahrbefehl ausgegeben werden. Dieser führt zur Beschleunigung des Fahrzeuges, das in den Gleisabschnitt einfahren kann. Die Einhaltung der dabei zulässigen Geschwindigkeit wird durch die Zugbeeinflussung überwacht. Bei einfachen Betriebsverhältnissen können alle beschriebenen Aufgaben auch nichttechnisch durch den Menschen erledigt werden.

10.2 Ortung

10.2.1 Grundlagen

Unter dem Begriff Ortungskomponenten werden alle Komponenten zusammengefasst, die eine Messwerterfassung von Objekten aller Art im Lichtraum vornehmen. Vorrangig werden dabei systemeigene Fahrzeuge betrachtet, aber auch die anderen Objektarten zählen dazu.

10.2.1.1 Aufgaben der Ortung

Der Lichtraum ist definiert als derjenige Raum, der frei sein muss, damit Schienenfahrzeuge sicher verkehren können. Da im Eisenbahnbetrieb i. d. R. im Raumabstand gefahren wird, ist die *Freiprüfung des Lichtraums* vor Zulassung einer Zugfahrt unerlässlich. Die Überwachung betrifft alle Objektarten, wobei technisch-betrieblich meist nur die systemeigenen Fahrzeuge erfasst werden. Auf die anderen Objektarten wird nur an exponierten Stellen geprüft und ansonsten auf die Einhaltung von Verhaltensregeln vertraut.

Würde ein bewegliches Fahrwegelement unter einem Schienenfahrzeug umgestellt, bestünde die Gefahr der Entgleisung. Solche Elemente sind in erster Linie Weichen und Gleissperren. Wird ein Fahrzeug auf einem beweglichen Fahrwegelement detektiert, so muss die Bewegung des Elements (z. B. Umstellen der Weiche) verhindert werden.

Die zweite Funktion der Ortungskomponenten ist die *Erkennung von Schienenfahrzeugen an bestimmten Punkten*. Dabei ist für jeden Zweck eine spezifische Aussage einzuholen. So ist beispielsweise für das Einschalten eines Bahnüber-

gangs wesentlich, dass die Zugspitze den Einschaltpunkt erreicht hat. Für das Ausschalten des Bahnübergangs dagegen ist wesentlich, dass das Zugende den Bahnübergang verlassen hat.

10.2.1.2 Unmittelbarkeit der Ortung

Für die Überwachung des Lichtraums kann unterschieden werden, ob der Aufenthalt eines Objekts im betrachteten Raum unmittelbar oder mittelbar detektiert wird. Dies gilt sowohl für technische als auch nichttechnische Ortung.

Bei der *unmittelbaren Ortung* (direkte Erkennung) wird das Vorhandensein von Objekten zu jedem Zeitpunkt durch die Messeinrichtung bestimmt. Anwendungen dafür sind z. B. die Gleisfreimeldung mit Gleisstromkreisen (technisch) oder durch Hinsehen (nichttechnisch).

Bei der *mittelbaren Ortung* (indirekte Erkennung) wird dagegen das Eintreten eines Objekts in einen definierten Bereich und/oder das Ausreten aus diesem bestimmt. Durch logische Verknüpfung und Speicherung der Informationen wird auf den Belegungszustand geschlossen. Anwendung findet das z. B. bei der Freimeldung mit Achszählern (technisch) oder der Zugschlussbeobachtung (nichttechnisch).

10.2.1.3 Informationsinhalt der Ortung

Die Ortung kann herangezogen werden, um verschiedene Aussagen zu treffen. Die praktisch bedeutsamsten sind:

- Lichtraum ist frei/belegt von Schienenfahrzeugen,
- Lichtraum ist frei/belegt von anderen detektierbaren Objekten,
- Schienenfahrzeug hat einen definierten Punkt erreicht und
- Schienenfahrzeug hat einen definierten Punkt verlassen.

10.2.2 Wirkprinzipien

10.2.2.1 Punktförmige Detektoren

Punktförmig wirkend sind diejenigen Detektoren, die an einem bestimmten Punkt das Passieren eines Schienenfahrzeugs erkennen. Sie



Abb. 10.5 Für Achszählung geeigneter Sensor

können als einfaches Gleisschaltmittel oder zur Achszählung verwendet werden. Zur Achszählung eignen sich dabei nur diejenigen, die die besondere Anforderung der Einzelerkennung von Achsen erfüllen und darüber hinaus richtungsselektiv orten. Es werden verschiedene physikalische Wirkprinzipien angewandt.

Mechanisch

Mechanische Detektoren arbeiten mit einem oder mehreren im Lichtraum (meist im Bereich der Schiene) angebrachten beweglichen Elementen. Bei Betätigung, i. d. R. durch das Rad eines vorbeifahrenden Fahrzeugs, wird an ihnen ein elektrischer Kontakt hergestellt.

Das mechanische Wirkprinzip wird heute nur noch selten angewandt. Es gibt jedoch auch moderne Bauformen, die sogar zur Richtungserkennung in der Lage sind. Mechanische Detektoren werden wegen ihrer Einfachheit häufig bei automatischen Warnanlagen für Gleisbaustellen verwendet, um einen sich nähernden Zug zu erkennen.

Hydraulisch/Pneumatisch

Hydraulische oder pneumatische Detektoren haben heute kaum noch Bedeutung. Sie werden am Schienenfuß befestigt und erkennen die Durchbiegung der Schiene bei Belastung durch das Rad. Die sich biegende Schiene drückt auf eine Membran, die in einer Druckkammer eine Flüssigkeit oder ein Gas bewegt. Dieses löst seinerseits einen elektrischen Kontakt aus.



Abb. 10.6 Zugschlussignal an einem Fahrzeug

Magnetisch

Beim magnetischen Wirkprinzip ist ein magnetischer Kreis so eingestellt, dass sich im Ruhezustand eine magnetische Brücke im Gleichgewicht befindet, wodurch am Schalter kein magnetischer Fluss entsteht. Bewegt sich ein Rad in die Nähe, wird die magnetische Brücke verstimmt und durch das nun am Schalter anliegende Magnetfeld schließt dieser.

Induktiv

Das induktive Wirkprinzip ist das heute am häufigsten angewandte bei punktförmigen Detektoren am Gleis. Von den möglichen und angewandten Prinzipien wird hier das der räumlichen Veränderung eines Magnetfeldes beschrieben.

Um zwei magnetische Pole, die sich in definierter räumlicher Anordnung zueinander und zur Schiene befinden, baut sich ein Magnetfeld auf. Bewegt sich nun ein Rad in dieses Magnetfeld, so verändern sich die Feldlinien durch die Eisenmasse des Rades. Die Änderung der Spannung in der Empfangsspule wird ausgewertet.

Dieses Prinzip reagiert sehr empfindlich auf einzelne Räder, weshalb es gut zur Achszählung geeignet ist. Abbildung 10.5 zeigt eine technische Realisierung des Prinzips.

Visuelle Beobachtung

Ebenfalls punktförmig wirkend ist die Beobachtung, ob ein Schienenfahrzeug einen bestimmten Punkt erreicht oder passiert hat. Dazu gehört auch die visuelle Prüfung des Zugschlusssignals (Abb. 10.6), wodurch die Zugvollständig-

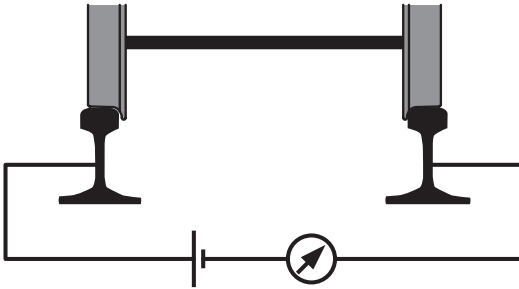


Abb. 10.7 Galvanisches Wirkprinzip

keit festgestellt wird. In einem System auf höherer Ebene (z. B. Blocksystem, siehe 10.4.3) kann daraus eine mittelbare Ortung hergestellt werden.

10.2.2.2 Linienförmige Detektoren

Mit linienförmigen Detektoren können Schienenfahrzeuge in einem definierten Bereich entlang des Gleises erkannt werden.

Das am häufigsten angewandte linienförmige Erkennungsprinzip ist das galvanische. Hierbei stellen Räder und Achse eine elektrisch leitende Verbindung zwischen beiden Schienen her und ermöglichen so einen Stromfluss zwischen zwei an den Schienen angebrachten elektrischen Polen. Durch die Auswertung des Stromflusses wird auf das Vorhandensein von Fahrzeugen im Gleis geschlossen (Abb. 10.7). Anwendung findet das Prinzip beim Gleisstromkreis (siehe 10.2.3).

10.2.2.3 Flächenförmige Detektoren

Flächenförmige Detektoren erkennen Objekte, die sich in einer Ebene befinden bzw. sich durch diese hindurch bewegen.

Elektromagnetische Wellen

Mittels Laser, Radar oder Infrarot wird eine Lichtschranke gebildet oder periodisch eine Fläche abgetastet. Auch eine Kombination aus mehreren Lichtschranken ist möglich.

Ein Anwendungsbeispiel ist der Radarscanner für Bahnübergänge (Abb. 10.8), der den Gefahrenraum in ca. 1 m Höhe scannt. Durch Reflexion der Strahlen entsteht ein Bild der zu prüfenden



Abb. 10.8 Radarscanner an einem Bahnübergang

Fläche, was mit einem gespeicherten Bild für den Freizustand verglichen wird. Übersteigt die Abweichung vom gespeicherten Bild ein definiertes Maß, gilt der Bahnübergang als nicht frei. Weitere Anwendungen für elektromagnetische Wellen sind die Überwachung des Lichtraums an Bahnsteiggleisen, was bei Schienenverkehrssystemen des automatischen Fahrens zur Anwendung kommt.

Mechanisch

Systemfremde Objekte können auch mechanisch detektiert werden. Eine Anwendung dafür ist z. B. das Spannen eines Netzes von stromdurchflossenen Drähten geringer Reißfestigkeit entlang einer Fläche, die den zu prüfenden Lichtraum umgibt. Durchdringt ein Objekt ausreichender Größe mit genügend Kraft diese Fläche, so kommt es zum Reißen der Drähte und damit zur Unterbrechung des Stromflusses.

Eine andere Möglichkeit der mechanischen Detektion sind Kontaktmatten zwischen und neben den Schienen, die im Gleis befindliche Personen und Gegenstände aufgrund ihrer Gewichtskraft erkennen. Auch dieses Prinzip findet bei Schienenverkehrssystemen des automatischen Fahrens Anwendung.

Abb. 10.9 Induktiver Fahrzeugsensor mit symmetrischer Doppelschleife

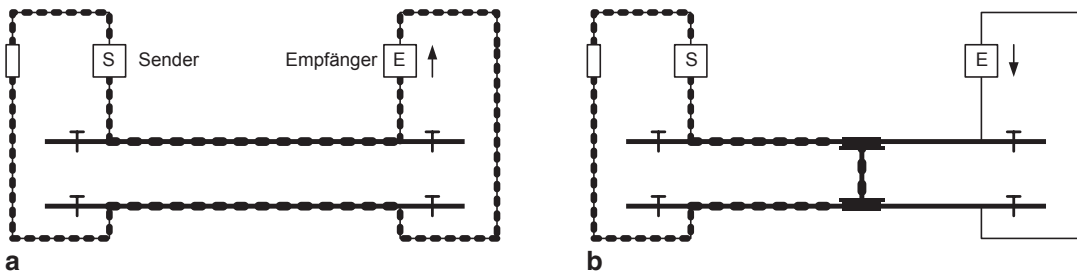
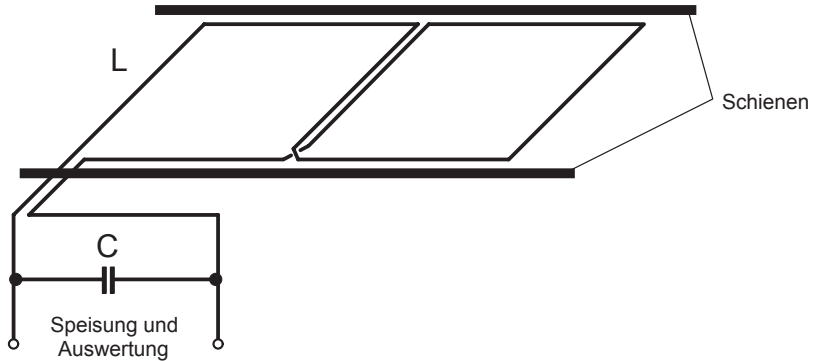


Abb. 10.10 Prinzip des Gleisstromkreises im Zustand a frei und b belegt

10.2.2.4 Räumliche Detektoren

Räumliche Detektoren überwachen einen Raum und werten hier das Vorhandensein bestimmter Objekte aus.

Induktiv

Beim induktiven Wirkprinzip wird die ferromagnetische Masse von Fahrzeugen durch Änderung der Induktivität einer Spule erkannt. Derartige Fahrzeugdetektoren bestehen aus einer im Fahrweg befindlichen Induktivität L , die zusammen mit einem Kondensator C einen Schwingkreis bildet (Abb. 10.9).

Beim Befahren durch ein Fahrzeug verändert sich die Induktivität L . Die dadurch entstehende Änderung der Frequenz des Schwingkreises wird in der Auswerteeinrichtung erkannt. Um bei Anwendungen im Gleis die induktiven Auswirkungen von Fremdströmen zu neutralisieren, wird meist eine symmetrische Doppelschleife verwendet. Da alle Objekte mit einer genügend großen ferromagnetischen Masse erkannt werden, eignet sich das System sowohl für die Erkennung von Schienen- als auch Straßenfahrzeugen.

Visuelle Beobachtung

Die älteste Möglichkeit der Erkennung von Objekten im Lichtraum ist nichttechnischer Art. Durch menschliche Beobachtung wird der Zustand eines Raumes geprüft. Dabei handelt es sich um eine unmittelbare Ortung. Vorteilhaft hierbei ist, dass der Mensch in der Lage ist, auch außergewöhnliche Situationen zu beurteilen. Nachteilig sind dagegen die relativ hohe Fehlerrate durch Irrtum oder Nachlässigkeit und der hohe Personalaufwand. Zudem wird durch die Notwendigkeit des örtlichen Personals eine Zentralisierung erschwert. Durch Videübertragung kann aber auch eine Fernbeobachtung eingerichtet werden.

10.2.3 Gleisfreimeldung mittels Gleisstromkreis

10.2.3.1 Funktionsprinzip

Der Gleisstromkreis folgt dem galvanischen Wirkprinzip. Die Schienen fungieren hierbei als elektrischer Leiter. Bei besetztem Gleisabschnitt



Abb. 10.11 Prinzip der Isolierung einer einfachen Weiche

fließt über die Räder und Achsen ein Strom, bei freiem Gleisabschnitt nicht. Als Auswerteeinrichtung in Gleisstromkreisen werden Motorrelais oder elektronische Schaltungen angewandt.

Gleisstromkreise arbeiten nach dem Ruhestromprinzip. Dabei liegt in Grundstellung (freies Gleis) ein geschlossener Stromkreis vor. Den Stromfluss (Ruhestrom) wertet der Empfänger aus. Ist der Empfänger ein Gleisrelais, ist dieses angezogen (Abb. 10.10a). Befindet sich eine Achse im Abschnitt, wird der Stromkreis kurzgeschlossen und es fließt kein Strom über den Empfänger (Gleisrelais fällt ab), wodurch der Abschnitt als besetzt gemeldet wird (Abb. 10.10b).

Die weitaus häufigste Störung ist der Spannungsausfall oder die Unterbrechung des Stromkreises. Dieser Zustand wirkt sich beim Ruhestromprinzip dahingehend aus, dass die Unterbrechung des Stromflusses ein besetztes Gleis anzeigt. Somit kommt es bei den am häufigsten anzunehmenden Fehlern zu einer fehlerhaften Besetzmeldung.

Die Anordnung von Gleisstromkreisen im Bereich von Verzweigungen ist möglich. Dazu sind an Weichen und Kreuzungen zusätzliche galvanische Verbindungen und Trennungen notwendig (Abb. 10.11).

10.2.3.2 Widerstände im Gleisstromkreis

Am Gleisstromkreis sind mehrere elektrische Widerstände von Bedeutung (Abb. 10.12).

Der Schienenlängswiderstand R_S ist der Widerstand der stromdurchflossenen Schiene. Er besitzt eine ohmsche Komponente, die bei Gleichstromspeisung vernachlässigbar klein ist. Bei Speisung mit Wechselstrom hingegen gewinnt sie – ebenso wie die induktive Komponente – mit steigender Frequenz an Bedeutung.

Der Bettungswiderstand R_B ist derjenige Widerstand, mit dem die Schienen gegeneinan-

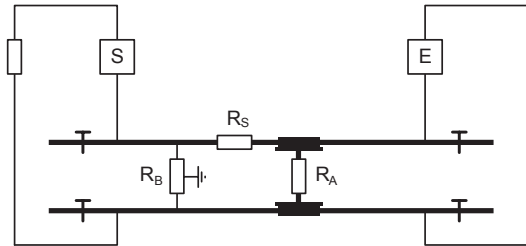


Abb. 10.12 Widerstände am Gleisstromkreis

der und gegen Erde isoliert sind. Er besitzt eine ohmsche und eine kapazitive Komponente und ist stark von der Witterung, von konstruktiven Parametern sowie dem Zustand des Oberbaus abhängig und kann um den Faktor 100 schwanken.

Der Achsenbenschlusswiderstand R_A ist der Widerstand der elektrischen Verbindung, die eine im Gleisstromkreis befindliche Achse herstellt. Er wird maßgeblich durch die Kontaktfläche zwischen Rad und Schiene bestimmt. Einfluss haben die konstruktive Beschaffenheit und Verschmutzung der Rad- und Schienenoberflächen, die Achslast sowie die Anzahl der im Abschnitt befindlichen Achsen. Die Widerstände von Achse und Rad sind i. d. R. vernachlässigbar gering. Allerdings ist hierfür auch eine durchgehende Fahrzeugachse notwendig, die beide Räder galvanisch miteinander verbindet. Bei einigen modernen Schienenfahrzeugen, bei denen jedes Rad eine separate Achse besitzt (vor allem Stadtbahnfahrzeuge), sind die Achsen galvanisch miteinander zu verbinden, damit der Achsenbenschluss funktioniert.

Aus Schienenlängswiderstand und Bettungswiderstand ergibt sich eine längenabhängige Dämpfung des Gleisstromkreises und damit eine Grenze für seinen sinnvollen Einsatz. Diese liegt, je nach eingesetzter Technik, bei ca. 1000 m. Durch Mitteneinspeisung und Empfänger an beiden Enden kann die Länge verdoppelt werden. Größere Längen können freigeprüft werden, indem mehrere Gleisstromkreise hintereinander angeordnet (kaskadiert) werden.

Durch zu geringen Bettungswiderstand können fehlerhafte Meldungen des Besetztzustandes entstehen, die sich betriebshemmend auswirken. Probleme ergeben sich in diesem Zusammenhang durch Verunreinigung des Schotterbettes

z. B. mit kleinvolumigen Ladungsverlusten. Unter anderem deshalb ist eine regelmäßige Reinigung des Schotterbettes erforderlich.

Ein zu hoher Achsnebenschlusswiderstand, z. B. aufgrund von Rost, kann dagegen zu gefährlichem Versagen führen, indem eine Belegung durch Schienenfahrzeuge nicht erkannt wird. Solchen Gefährdungen wird vorgebeugt, indem durch Gleisstromkreise freigeprüfte Gleise regelmäßig (z. B. ein Mal pro Tag) befahren werden müssen.

In der Schweiz wird teilweise das Aufschweißen einer korrosionsfreien Metallschicht („korrosionsfeste Schweißraupe“) praktiziert, was allerdings aufgrund der Rauheit eine starke Geschwindigkeitsbeschränkung auf den behandelten Gleisen zur Folge hat. Eine andere Möglichkeit ist, eine nichtleitende Schicht auf den Schienen mit höheren Spannungsimpulsen (bis 180 V) zu durchschlagen.

Ein weiteres Problem kann Sand darstellen, der beim Bremsen zur Erhöhung des Reibwertes aufgebracht wird. Wird dabei vor allen Achsen bis zum Stillstand gesandet, besteht die Gefahr, dass durch den Sand zwischen Schiene und Rad der Achsnebenschlusswiderstand unzulässig hoch wird. Hiergegen helfen nur betriebliche Maßnahmen, die darin bestehen können, dass das Sanden bis zum Stillstand verboten ist.

10.2.3.3 Fremdbeeinflussung von Gleisstromkreisen

Der Gleisstrom wird oft von anderen Strömen im Gleis überlagert. Dazu gehören insbesondere folgende:

- **Ströme anderer Gleisstromkreise:** Da im Wesentlichen alle Gleise frei zu prüfen sind, ergibt sich daraus eine Anordnung mehrerer Gleisstromkreise hinter- und nebeneinander. Zur Abgrenzung von Gleisstromkreisen gegeneinander gibt es verschiedene Lösungen (siehe 10.2.3.4).
- **Triebrückströme:** Auf Strecken mit elektrischer Traktion fungiert die Schiene als Rückleiter für die Triebströme. Hier ist sicherzustellen, dass die Empfangseinrichtung des Gleisstromkreises die Triebrückströme nicht fälschlicherweise als Signal des Gleis-

stromkreises auswertet. Dies geschieht durch Auswahl von Frequenzen, die im Triebrückstromspektrum nicht vorhanden sind. Die Empfangseinrichtungen der Gleisstromkreise müssen dazu sehr frequenzselektiv arbeiten.

- **Induktive Einkopplungen von Starkstromsystemen:** Im Gleisbereich verlaufen häufig Leitungen der Leistungsenergieversorgung, die den Gleisstromkreis induktiv beeinflussen können. Durch Einhalten eines Mindestabstandes und Herstellung möglichst rechtwinkliger Kreuzungen kann eine induktive Entkopplung weitgehend erreicht werden.
- **Rückströme der Zugsammelschiene:** Die vom Triebfahrzeug bereitgestellte elektrische Energie für Verbraucher im Zug wird über die Zugsammelschiene in die Wagen geführt. Als Rückleiter werden dabei die Schienen benutzt. Gleisstromkreise müssen so konstruiert sein, dass sie davon nicht beeinflusst werden.

Die Verhinderung von Fremdbeeinflussung ist ein wesentlicher Punkt in der Projektierung von Gleisstromkreisen und stellt einen erheblichen Aufwand dar.

10.2.3.4 Abgrenzung von Gleisstromkreisen gegeneinander

Isolierstoß

Am Isolierstoß wird die Schiene mechanisch unterbrochen und ein isolierendes Material eingefügt. Isolierstöße stellen eine Unstetigkeit in der Schiene dar, die sich negativ auf den Fahrzeuglauf auswirkt.

Eine häufige Störung an Gleisstromkreisen mit Isolierstößen ergibt sich durch das Überwalzen von Isolierstößen (Abb. 10.13). Hierbei wird durch die Fahrzeugräder der Schienenkopf derart bearbeitet, dass sich eine metallische Überbrückung des Isolierstoßes ergibt, die einen Kurzschluss mit dem benachbarten Gleisstromkreis hervorruft.

Bei elektrischer Traktion ergeben sich Konflikte mit den Triebrückströmen, die den Isolierstoß passieren müssen. Bei einschieniger Isolierung werden die Triebrückströme über die nicht isolierte Schiene geleitet (Erdschiene). Damit ein kurzgeschlossener Isolierstoß erkannt wird, wird



Abb. 10.13 Isolierstoß, Draufsicht

die Erdschiene an jedem Isolierstoß mittels Diagonalverbinder gewechselt. Somit führt ein derartiger Kurzschluss immer zur Besetzmeldung des Gleisstromkreises und wirkt damit zur sicheren Seite.

In vielen Fällen müssen jedoch beide Schienen für den Triebrückstrom zur Verfügung stehen. Hierfür wird die zweischienige Isolierung angewandt. Sie erfordert eine relativ aufwendige Überbrückung der Isolierstöße mittels Drosselstoßtransformatoren.

Elektrischer Trennstoß

Bei elektrischen Trennstößen wird der Gleisstromkreis in seiner Länge durch Schienenverbinder mit geringem Widerstand begrenzt, wodurch Isolierstöße nicht notwendig sind. Das Prinzip ist jedoch nur bei tonfrequenten Gleisstromkreisen anwendbar.

10.2.3.5 Speisung von Gleisstromkreisen

Die Speisung von Gleisstromkreisen kann mit Gleich- oder Wechselspannung unterschiedlicher Frequenz erfolgen:

Gleichspannung

Mit Gleichspannung betriebene Gleisstromkreise sind einfach und kostengünstig, jedoch anfälliger gegen Fremdbeeinflussung. Sie werden heute nur noch bei einfachen Verhältnissen wie z. B. bei Werkbahnen angewandt.

Niederfrequente Wechselspannung

Gleisstromkreise mit Wechselspannung geringer Frequenz arbeiten bis etwa 150 Hz. In diesem Frequenzbereich befinden sich auch die Triebrückströme, so dass die Frequenz des Gleisstromkreises sorgfältig zu wählen ist. Sie muss in den Lücken der Oberwellen des Traktionsstroms liegen.

Tonfrequente Wechselspannung

Gleisstromkreise mit Wechselspannung höherer Frequenz arbeiten im Bereich bis etwa 20 kHz. Man spricht auch von Tonfrequenz-Gleisstromkreisen, da es sich um Frequenzen im menschlichen Hörspektrum handelt. Im Spektrum der Triebrückströme sind diese Frequenzen nicht enthalten, so dass entsprechende Beeinflussungen praktisch nicht auftreten. Vorteilhaft ist der mögliche Fortfall von Isolierstößen, nachteilig wirkt sich der größere Schienenlängswiderstand aus.

10.2.4 Gleisfreimeldung mittels Achszähler

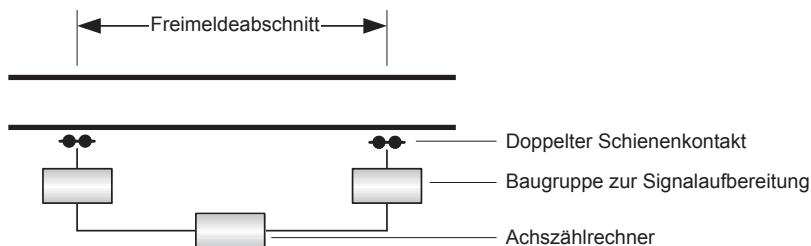
10.2.4.1 Funktionsprinzip

Achszähler bestimmen den Belegungszustand eines Freimeldeabschnitts indirekt über die Zählung der ein- und ausgefahrenen Achsen. Ist die Differenz Null, wird ein freier Abschnitt angenommen.

Achszählkreise bestehen aus folgenden Teilen (Abb. 10.14):

- Der **doppelte Schienenkontakt** (Abb. 10.5) ist ein punktförmiger, auf Räder reagierender Detektor im Gleis. Er muss zur Einzelerkennung von Rädern (Achsen) und zur Richtungserkennung in der Lage sein. Die Richtungserkennung wird i. d. R. durch die Auswertung der Signale zweier unmittelbar benachbarter Sensorsysteme im Schienenkontakt realisiert.
- Die **Baugruppe zur Signalaufbereitung** erzeugt aus dem analogen Signal der beiden Sensorsysteme die digitalen Zählpulse zur Weiterleitung an den Achszählrechner. Die

Abb. 10.14 Aufbau eines Achszählkreises



Baugruppe kann in einem separaten Gehäuse direkt neben dem Gleis untergebracht oder im Zählpunkt integriert sein.

- Der **Achszählrechner** setzt die Informationen mehrerer Zählpunkte zueinander in Beziehung und ermittelt aus der Addition eingefahrener und Subtraktion ausgefahrener Achsen den Belegungszustand.

Meist werden Mehrabschnitts-Achszähler angewendet. Dabei werden die Zählinformationen eines Zählpunktes für beide an den Zählpunkt angrenzende Freimeldeabschnitte genutzt. Auch die Begrenzung eines Freimeldeabschnitts durch mehr als zwei Zählpunkte ist möglich und bei Verzweigungen (Weichen) unumgänglich.

10.2.4.2 Aufbau und Funktion des Schienenkontaktes

Der Schienenkontakt funktioniert i. d. R. nach dem induktiven Wirkprinzip, indem infolge der ferromagnetischen Masse des Rades die Feldlinien eines Magnetfeldes verändert werden und diese Änderung registriert wird. Die Richtungs-erkennung wird durch Doppelung des Sensors und Auswertung der Reihenfolge des Ansprechens realisiert.

10.2.4.3 Umgang mit Zählfehlern

Typische Zählfehler sind die Nichterkennung und die Mehrfachzählung von Achsen sowie das Zählen nicht vorhandener Achsen. Gefährlich im Sinne einer fehlerhaften Freimeldung kann aber erst das Zusammentreffen mehrerer Fehler in bestimmter Kombination wirken. Dies ist jedoch so wenig wahrscheinlich, dass es praktisch ausgeschlossen wird. Zählfehler führen zunächst zu einer fehlerhaften Besetzmeldung

des Abschnitts und wirken sich damit zur sicheren Seite aus.

Achszählgrundstellung

Um einen fehlerhaft besetzt gemeldeten Achszählabschnitt wieder in Grundstellung zu bringen, sind bestimmte Voraussetzungen zu erfüllen, damit keine Grundstellung eines tatsächlich besetzten Abschnitts erfolgt. In jedem Fall darf die Grundstellung nur dann durchgeführt werden, wenn der Freizustand auf andere Art zweifelsfrei festgestellt wurde. Das kann durch Personal vor Ort oder durch das Befahren auf Sicht mittels einer vor der Grundstellung durchgeführten Fahrt erfolgen.

Folgende Sicherheitsvorkehrungen können zusätzlich bei einer Grundstellung gefordert werden:

- technische Registrierung und schriftliche Begründung durch den Bediener,
- letzte Aktion vor der Grundstellung muss das Auszählen einer Achse sein,
- alle den Abschnitt begrenzenden Zählpunkte müssen befahren worden sein.

Automatische Fehlerkorrektur

Um die Verfügbarkeit von Achszählabschnitten zu erhöhen ist es denkbar, bei Fehlzählungen eines Zählpunktes diesen durch benachbarte Zählpunkte zu korrigieren. Da sich jedoch die moderne Achszähltechnik als sehr zuverlässig erwies und eine Korrektur zu Schwierigkeiten in der Stellwerkslogik führen würde, wurde zunächst auf derartige Fehlerkorrektureinrichtungen verzichtet. Mittlerweile existieren Stellwerkstechniken, die für die Freimeldung der freien Strecke Fehlerkorrekturen anwenden.

10.2.5 Anwendung von Gleisstromkreisen und Achszählern

Gleisstromkreise und Achszähler haben ihre spezifischen Vor- und Nachteile. Größter Nachteil von Gleisstromkreisen ist die Notwendigkeit eines ausreichenden Bettungswiderstandes sowie die Längenbegrenzung. Achszähler sind in der Anschaffung teurer, in der Instandhaltung günstiger. Heutige Achszähltechnik arbeitet zuverlässiger als die der Gleisstromkreise.

Seit es Mitte der 1990er Jahre gelang, Achszähler ausreichend zuverlässig zu gestalten, werden bei der Deutschen Bahn fast ausschließlich Achszähler für Neuausrüstungen verwendet. Bis dahin wurden sie vorrangig für die Freimeldung von Streckengleisen eingesetzt, bei denen aufgrund der großen Länge der Bettungswiderstand problematisch ist. Manche europäische Infrastrukturbetreiber stehen Achszählern kritisch gegenüber. So werden in Westeuropa fast ausschließlich und in Osteuropa vorrangig Gleisstromkreise eingesetzt.

10.3 Sicherung beweglicher Fahrwegemente

10.3.1 Grundlagen

10.3.1.1 Elementarten

Ein bewegliches Fahrwegement ist ein dynamisches Element der Infrastruktur, das den stetigen Fahrweg durch

- Unterbrechung der Schiene oder
- in den Lichtraum hineinragende Gegenstände unterbrechen kann.

Zu den die Schiene unterbrechenden beweglichen Fahrwegementen gehören in erster Linie Weichen. Das häufigste, in den Lichtraum hineinragende bewegliche Fahrwegement ist die Gleissperre. Die Gründe für den Einsatz beweglicher Fahrwegemente zeigt Tab. 10.1.

10.3.1.2 Grundlegende Anforderungen an die Sicherung

An beweglichen Fahrwegementen besteht zu meist die Gefahr der Entgleisung, in wenigen Fällen (z. B. Tor, Wasserkran) die Gefahr des

Aufpralls. Deshalb sind bewegliche Fahrwegemente vor Zulassung einer Fahrt in die richtige Stellung zu bringen und während der Fahrt in dieser Stellung festzuhalten.

Zusätzliche Gefahren, nämlich die des Zusammenstoßes und des Zusammenpralls, ergeben sich an Elementen, die dem Wechsel des Gleises dienen (hauptsächlich Weichen). Hier kann durch falsche Stellung des Elements eine Fahrt auf ein Gleis gelenkt werden, was nicht für die Fahrt gesichert wurde.

Festhaltung

Bei der Festhaltung der Elemente kann grundsätzlich zwischen formschlüssiger und kraftschlüssiger Festhaltung unterschieden werden. Obwohl die formschlüssige Festhaltung zunächst sicherer erscheinen mag, spielt die kraftschlüssige ebenfalls eine Rolle.

Überwachung

Die Überwachung beweglicher Fahrwegemente wird heute im Wesentlichen elektrisch durchgeführt. Dazu wird die Stellung des Elements meist elektromechanisch durch Kontakte detektiert. Berührungslose Techniken sind denkbar, werden aber – auch aus Sicherheitsgründen – bisher nicht eingesetzt. Bei älteren Techniken kommen auch rein mechanische Überwachungen zum Einsatz.

10.3.2 Weiche und Kreuzung

10.3.2.1 Grenzzeichen

Das Grenzzeichen ist ein Signal und beschreibt die Stelle, bis zu der auf einem der beiden auseinander laufenden Gleise Fahrzeuge stehen dürfen, ohne Fahrten im anderen Gleis zu gefährden (Profilfreiheit). Der Standort ergibt sich aus dem Schnittpunkt der Grenzlinien (siehe Kap. 6) beider Gleise (Abb. 10.15).

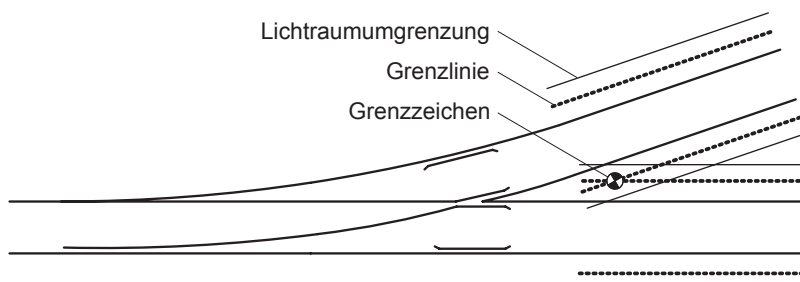
10.3.2.2 Sicherungstechnische Anforderungen an Weichen

Umstellung

Um eine Weiche in die gewünschte Lage zu bewegen, ist eine Kraft aufzubringen, die auf die

Tab. 10.1 Gründe für bewegliche Fahrweegelemente

| Art | Grund | Beispiel |
|--------------------------------------|---|---|
| Unterbrechung der Schiene | Wechsel des Gleises | Weiche, Drehscheibe, Schiebebühne |
| | Kreuzung des Gleises | Kreuzung mit beweglichen Doppelherzstückspitzen |
| | Verschwenken des Fahrwegs | Bewegliche Brücke |
| | Aufhalten von Schienenfahrzeugen | Entgleisungsweiche |
| In den Lichtraum ragender Gegenstand | Aufhalten von Schienenfahrzeugen | Gleissperre, Beweglicher Prellbock |
| | Aufhalten von Personen und Gegenständen | Tor zur Einfriedung, Tor am Tunnelportal |
| | Sonstige Aufgaben im Lichtraum | Ladeeinrichtungen, Wasserkran |

Abb. 10.15 Positionierung des Grenzzeichens

Weichenzungen zu übertragen ist. Die Kraft wird meist durch Maschinen (i. d. R. durch einen Elektromotor), in wenigen Fällen auch durch Muskelkraft eines Menschen aufgebracht.

Mechanische Festhaltung

Um Entgleisungen zu vermeiden, müssen die Weichenzungen in der Endlage festgehalten werden. Dazu gehören sowohl das Anliegen der anliegenden Zunge an der Backenschiene als auch die Gewährleistung der Durchfahrrille der abliegenden Zunge. Die Festhaltung muss besonders robust ausgeführt werden, da eine Weiche bei Überfahrt eines Eisenbahnfahrzeugs erheblichen mechanischen Belastungen ausgesetzt ist. Die Festhaltung kann sowohl innerhalb eines Weichenantriebs (Innenverschluss) als auch außerhalb des Weichenantriebs (Außenverschluss) erfolgen.

Prüfung der Endlage

Vor Zulassung der Fahrt über eine Weiche muss geprüft werden, ob sie sich in der richtigen Endlage befindet. Anschließend ist zu prüfen, ob die Weiche in der Endlage verbleibt. Dadurch wird die Funktion der Umstell- und Festhalteeinrichtungen überwacht.

Auffahrbarkeit

I. d. R. sind Weichen auffahrbar. Als Auffahren (CH: Aufschneiden¹) einer Weiche gilt das Befahren von der stumpfen Seite in falscher Lage. Beim Auffahren einer auffahrbaren Weiche entstehen i. d. R. keine Schäden, im Gegensatz zur nicht auffahrbaren Weiche. In Deutschland, Österreich und der Schweiz wird vorrangig der (auffahrbare) Außenverschluss verwendet. Nur in bestimmten Fällen (z. B. bei beweglicher Herzstückspitze) sind Weichen nicht auffahrbar.

¹ CH: Schweiz, D: Deutschland, A: Österreich



Abb. 10.16 Zungenprüfkontakt an einer Weiche

10.3.2.3 Kraftübertragungs- und Festhalteeinrichtungen

Die Kraftübertragungs- und Festhalteeinrichtungen verbinden die Antriebseinrichtungen mit den Weichenzungen. Sie haben folgende Aufgaben:

- Übertragung der am Weichenantrieb aufgewandten Kraft auf die Weichenzungen,
- mechanische Festhaltung der anliegenden Weichenzunge, um eine unbeabsichtigte Bewegung zu verhindern,
- Halten der abliegenden Zunge in einem definierten Abstand von der Backenschiene.

Beim Außenverschluss finden Spitzenverschlüsse Anwendung. Im Gegensatz zum Innenverschluss übertragen sie nicht nur die Stellkraft vom Weichenantrieb auf die Weichenzungen, sondern halten diese auch in ihrer Lage fest, wenn die Weiche nicht umgestellt wird (siehe auch Kap. 5).

10.3.2.4 Zungenprüfer

Zungenprüfer sind mit den Weichenzungen über Prüferstangen verbunden und bewegen sich mit diesen mit. Somit können sie die Lage der Weichenzunge direkt prüfen. Bewegen sich die Zungen während des Umstellens nicht mit, erkennt der Prüfer damit ein Versagen der Stellstange oder des Spitzenverschlusses.

Bei elektrischen Weichenantrieben erfolgt die Prüfung über Kontakte, die von den Prüferstangen angetrieben werden. Die Kontakte steuern den Stromfluss derart, dass eine Überwachung nur bei ordnungsgemäßer Lage der Zungen zustande kommt. Bei mechanischen Weichenantrieben blockieren Prüfer den Antrieb, wenn die

Zungen nicht der Stellbewegung folgen und offenbaren dadurch einen Fehler.

Bei sehr langen und schweren Weichenzungen besteht die Gefahr, dass sich diese nur am unmittelbaren Angriff des bzw. der Weichenantriebe bewegen. Um die Bewegung der Zunge bzw. ihre geometrisch exakte Endlage auch an weiteren Orten zu prüfen, werden zusätzliche Prüfer angewandt. Einen elektrischen Zungenprüfer (Zungenprüfkontakt) zeigt Abb. 10.16.

10.3.2.5 Zungenriegel

Zungenriegel sind über Riegelstangen mit den Zungen verbunden und halten diese formschlüssig fest. Dadurch sind geriegelte Weichen nicht auffahrbar. Fernbediente Weichenriegel gibt es nur in Verbindung mit mechanischen Weichenantrieben. Zungenriegel haben aber nach wie vor große Bedeutung, da sie für die Herstellung der Signalabhängigkeit ortsbedienter Weichen über Riegelhandschlösser (siehe 10.3.2.9) verwendet werden.

10.3.2.6 Weichenantrieb

Mechanische Ortsbedienung

Mechanisch ortsbediente Weichen (umgangssprachlich: Handweichen) sind noch heute im Einsatz, vor allem in Anlagen, in denen nur rangiert wird. Die notwendige Kraft zum Umstellen wird vor Ort durch Muskelkraft aufgebracht. Ortsgestellte Weichen können durch Handverschlüsse (siehe 10.3.2.9) in Abhängigkeiten einbezogen werden.

Elektrische Ortsbedienung

Elektrisch ortsbediente Weichen (EOW) sind eine moderne Form ortsgestellter Weichen, die sich in Rangierbereichen zunehmend durchsetzen. Der Antrieb der Weichen erfolgt dabei mit elektrischen Weichenantrieben wie bei der elektrischen Fernbedienung. In Bereichen mit EOW-Technik wird meist frei rangiert, also ohne Rangierstraßen. Ein als Lichtsignal ausgebildeter Weichenlagemelder unmittelbar an der Weiche meldet dem Rangierpersonal die Weichenlage (Abb. 10.17).

EOW werden i. d. R. durch Achszähler freigemeldet. Diese realisieren zum einen die Umstell-



Abb. 10.17 Elektrisch ortsbediente Weiche mit Weichenlagemelder

sperre bei belegter Weiche; zum anderen geben die richtungsselektiven Sensoren einen Umstellanstoß an die Weiche, wenn sie stumpf befahren wird und die falsche Lage besitzt. Beim spitzen Befahren erfolgt die Umstellung durch Schlagtaster oder Stelltafeln, die vom Rangierpersonal bedient werden. Insbesondere an Stelltafeln ist es üblich, einen Fahrweg einzustellen, d. h. mehrere Weichen mit einer Bedienung zu stellen. Weiterhin besteht die Möglichkeit, einer EOW eine Grundstellung zu geben, in die sie nach dem Befahren in entgegengesetzter Stellung zurückläuft.

Mechanische Fernbedienung

Die mechanische Fernbedienung wird nur in mechanischen Stellwerken angewandt. Dabei wird sowohl die Umstellenergie als auch die Lageinformation über Drahtzug- bzw. Gestängeleitungen übertragen. Die Energie wird im Stellwerk i. d. R. durch menschliche Muskelkraft aufgebracht.

Elektrische Fernbedienung

Die elektrische Fernbedienung ist die am häufigsten angewandte Art der Weichenansteuerung. Dabei kommt ein elektrischer Weichenantrieb zum Einsatz, der heute überwiegend mit einem Drehstrommotor arbeitet. Die Kraftübertragung auf das Gestänge erfolgt mechanisch oder hydraulisch. Bei mechanischer Übertragung beinhaltet der Antrieb eine Rutschkupplung, damit bei Blockade der Mechanik eine Beschädigung des Motors vermieden wird. Ein Innenverschluss kann in den Antrieb integriert sein.

Die Anzahl der erforderlichen Weichenantriebe ist je nach Weichenbauform unterschiedlich. Bei der Mehrzahl der Weichen genügt ein Antrieb an der Spitze der Weichenzungen. Sind



Abb. 10.18 Riegelhandschlösser an einer mechanisch ortsbedienten Weiche (je eines pro Stellung)

die Weichenzungen sehr lang (bei großen Zweigleisradien), machen sich mehrere Antriebs-, Festhalte- und Prüfeinrichtungen erforderlich.

10.3.2.7 Handverschlüsse für Weichen

Handverschlüsse haben nach wie vor große Bedeutung. Sie werden verwendet, wenn

- mechanisch ortsbediente Weichen in Abhängigkeit gebracht,
- vorübergehend außer Betrieb genommene Weichen gesichert oder
- gestörte, fernbediente Weiche gesichert werden sollen.

Das Riegelhandschloss (Abb. 10.18) ist die hochwertigste Form des Weichenhandverschlusses und wird für planmäßige Abhängigkeiten genutzt. Über Riegelstangen werden die Weichenzungen formschlüssig festgehalten. Die Herstellung der sicherungstechnischen Verbindung erfolgt über einen Schlüssel, der in ein korrespondierendes Schloss (z. B. im Stellwerk) passt.

Das Weichenschloss wird zur Herstellung von temporären Abhängigkeiten oder zur Sicherung untergeordneter Gleise genutzt. Es ist an der Backenschiene befestigt und blockiert die abliegende Zunge. Über den Spitzenverschluss wird die anliegende Zunge festgehalten.

Die heute nur noch wenig verbreitete Zungensperre hält entweder die anliegende Zunge fest oder blockiert die abliegende. Es können keine Abhängigkeiten hergestellt werden, da die Schlüssel nicht dafür geeignet sind.

Das heute bei deutschen Eisenbahnen weit verbreitete Schloss HV 73 (Abb. 10.19) ist dem

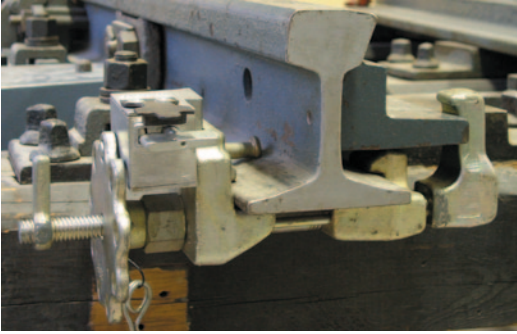


Abb. 10.19 Handverschluss HV 73 in sperrender Stellung der anliegenden Zunge

System nach eine Zungensperre mit dem Unterschied, dass Schlüssel wie beim Riegelhand- bzw. Weichenschloss genutzt werden.

10.3.3 Gleissperre

Gleissperren (A: Sperrschuh, CH: Entgleisungsvorrichtung) dienen hauptsächlich dem Flankenschutz, indem sie mittels eines in den Lichtraum hineinragenden Gegenstandes (Entgleisungsschuh) darüber fahrende Schienenfahrzeuge zum Entgleisen bringen (Abb. 10.20). Aufgrund der möglichen Entgleisung dürfen Gleissperren nicht in Hauptgleisen eingesetzt werden.

Eine Gleissperre besteht aus dem Entgleisungsschuh, dem Antrieb und dem Gleissperrensignal (CH: Laternen-Sperrsignal), der die Lage der Gleissperre anzeigt. Der Entgleisungsschuh lässt den Spurkranz des Schienenfahrzeugs über den Schienenkopf aufsteigen und drückt ihn nach außen. Die Auswurfrichtung ist so zu wählen, dass sie von den zu schützenden Gleisen weg führt.

Gleissperren werden wie Weichen angetrieben, jedoch ohne Prüfer oder Riegel. Zur Herstellung von Abhängigkeiten bei Ortsbedienung werden Gleissperrenschlösser verwendet.

10.3.4 Bewegliche Brücke

Eine bewegliche Brücke unterbricht den stetigen Fahrweg, indem sie diesen verschwenkt, um den Raum für andere Zwecke (z. B. Schiffsverkehr)



Abb. 10.20 Ortsbediente Gleissperre mit Gleissperrensignal

freizugeben. Sie werden i. d. R. durch Deckungssignale gedeckt oder in die Fahrstraßenlogik einbezogen.

10.3.5 Drehscheibe und Schiebebühne

Drehscheiben und Schiebebühnen haben die Funktion des Gleiswechsels mit dem Vorteil eines geringeren Platzbedarfes gegenüber Weichenstraßen, aber den Nachteilen der erforderlichen Unterbrechung der Fahrt und der Längenbegrenzung des bewegten Fahrzeugs. Sie finden vor allem in Werkstätten Anwendung. Nur sehr selten führen Fahrstraßen über diese Elemente, in die sie dann einbezogen werden müssen. In einigen Fällen gibt es Deckungssignale in einfacher Form.

10.3.6 Tor

Tore dienen der Einfriedung von Geländen oder dem Verschluss von Räumen. Letztere Aufgabe übernehmen z. B. Tore an Tunnelportalen, die das Eindringen von Schnee oder Tieren verhindern sollen. Auch Tore von Werkstattgebäuden oder Wehrkammertore, mit denen Tunnel wasserdicht abgeriegelt werden können, gehören dazu.

In modernen Anlagen und vor allem, wenn sie Bestandteil von Fahrstraßen sind, werden solche Tore in sicherungstechnische Abhängigkeiten einbezogen. Auch die Sicherung mit Deckungssignalen ist möglich, wobei diese in einfachen

Fällen auch aus gängigen Industriekomponenten und nicht aus etablierter Sicherungstechnik bestehen können.

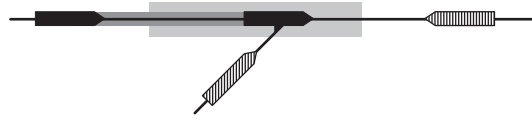


Abb. 10.21 Fahrt eines Fahrzeugs in einen exklusiven Raum und ausgeschlossene feindliche Fahrten (schraffiert)

10.4 Technologien der Fahrwegsicherung

10.4.1 Herleitung

10.4.1.1 Abstandshaltung

Aus den maßgebenden Systemeigenschaften des Schienenverkehrs ergeben sich besondere Anforderungen an die Regelung der Abstandshaltung. An Abstandshalteverfahren kommt heute überwiegend neben dem „Fahren auf Sicht“ (z. B. Eisenbahn beim Rangieren, Straßenbahnen) das Fahren im festen Raumabstand zur Anwendung. Dabei wird jedem Zug ein räumlicher Abschnitt zur ausschließlichen Verfügung gestellt (Abb. 10.21). Um das zu erfüllen, sind zwei Grundbedingungen einzuhalten:

1. Bevor die Zustimmung zur Einfahrt in den Abschnitt gegeben wird, muss dieser frei von anderen Fahrzeugen sein.
2. Vom Geben der Zustimmung bis zur Beendigung der Fahrt müssen alle feindlichen Fahrten in diesen Abschnitt ausgeschlossen werden.

Wurde die Fahrt im Abschnitt beendet, so wird zwar die 2. Bedingung nicht mehr aufrecht erhalten, jedoch müsste vor einer potenziell feindlichen Fahrt wiederum die 1. Bedingung für diese geprüft werden, die dann nicht erfüllt wäre.

In bestimmten Situationen kann es vorkommen, dass sich der Triebfahrzeugführer „verbrems“, also die Bremseigenschaften nicht richtig einschätzt. Ursachen hierfür sind meist kurze Unaufmerksamkeit oder verminderter Reibwert zwischen Rad und Schiene, z. B. bei Nieselregen. Die Folge ist, dass der Zug einige Meter über das Ende des für ihn reservierten Raumes hinaus fährt. Um für solche Fälle vorzubeugen, wird zusätzlich ein Sicherheitsraum freigehalten und gesichert – der sogenannte Durchrutschweg.

Das Fahren im Raumabstand kann grundsätzlich mit zwei verschiedenen Technologien realisiert werden:

- **Fahrstraße:** Bei der Fahrstraße werden unmittelbar vor der Fahrt die Gleise auf Freiheit von anderen Fahrzeugen geprüft. Außerdem wird verhindert, dass feindliche Folge-, Gegen- und Flankenfahrten in den freigegebenen Fahrweg gelangen. Somit werden die o. g. Grundbedingungen für das Fahren im Raumabstand direkt umgesetzt.
- **Sicherung mit Blockinformation:** Nachdem ein Zug einen Abschnitt verlassen hat, wird eine Information, die sogenannte Blockinformation, dem Signal am Anfang des Abschnittes gesandt. Somit wird der Folgefahrerschutz durch Austausch von Informationen zwischen Signalen aufeinander folgender Zugfolgestellen² gewährleistet. Durch Austausch von Blockinformationen zwischen Signalen, die auf dasselbe Streckengleis benachbarter Zugmeldestellen³ weisen, wird der Gegenfahrerschutz gewährleistet.

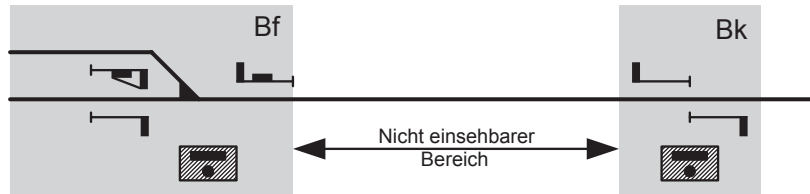
Historisch haben sich die beiden Technologien aufgrund der Möglichkeiten zur nichttechnischen Gleisfreiprüfung entwickelt. Während man in den Betriebsstellen noch die Gleise überblicken konnte, bei großer Ausdehnung auch durch Untergliederung in mehrere Bereiche, war dies auf der Strecke nicht mehr möglich (Abb. 10.22). Hier konnte die Freiprüfung nur indirekt durch Prüfung des Zugchlusses am Ende der Strecke durchgeführt werden.

In den Betriebsstellen konnten also unmittelbar vor Zulassung der Zugfahrt die Gleise freigeprüft werden. Diese Information stand damit auch dort zur Verfügung, wo das Signal bedient

²Zugfolgestelle: Betriebsstelle, durch die die Zugfolge auf der freien Strecke geregelt wird. Einer Zugfolgestelle entspricht anlagenseitig die Einrichtung einer Blockstelle.

³Zugmeldestelle: Betriebsstelle, durch die die Reihenfolge der Züge auf der freien Strecke geregelt wird.

Abb. 10.22 Einsehbare und nicht einsehbare Fahrwege (Bf – Bahnhof, Bk – Blockstelle)



wurde. Nicht so ist es auf der Strecke: Hier wurde die Freiprüfung zum einen nicht vor der Zugfahrt, sondern immer nach dem vorausgefahrenen Zug durchgeführt. Zum anderen steht die Information nicht an der signalbedienenden Stelle zur Verfügung und muss damit zu ihr übertragen werden – was durch die Blockinformation geschieht.

Aus der Forderung nach Verhinderung weiterer Fahrten in den freigegebenen Abschnitt ergibt sich eine Besonderheit, wenn die Abschnitte durch Signale voneinander abgegrenzt sind. Verlässt ein Zug einen Abschnitt, so kann dieser für eine weitere Fahrt genutzt werden. Ist aber der Zug im zweiten Abschnitt nicht durch ein Halt zeigendes Signal gedeckt (Abb. 10.23), bestünde die Gefahr, dass ein berechtigt in den ersten Abschnitt eingefahrener Zug dem ersten Zug in den zweiten Abschnitt folgt, womit sich unzulässigerweise zwei Züge in einem Abschnitt befänden und die Vorschrift des Fahrens im Raumabstand verletzt wäre.

Um solche gefährlichen Situationen nicht entstehen zu lassen, wurden verschiedene Strategien entwickelt, die bei der Sicherung mit Fahrstraßen und mit Blockinformationen angewandt werden.

10.4.1.2 Steuerung und Sicherung der Fahrwegelemente

Eine weitere, sich aus den maßgebenden System-eigenschaften ergebende Aufgabe ist die Steuerung und Sicherung der beweglichen Fahrwegelemente. Diese Aufgabe wird im Wesentlichen von der Fahrstraße bewältigt. Nur in seltenen Fällen werden bei der Sicherung mit Blockinformationen auch bewegliche Fahrwegelemente gesichert.

Fahrstraßen finden sich in allen Zugmeldestellen. Die Sicherung der Zugfolge zwischen Zugfolgestellen, wo i. d. R. keine beweglichen

Fahrwegelemente zu erwarten sind, wird klassischerweise mit Blockinformationen, in modernen Anlagen jedoch ebenfalls mit Fahrstraßen durchgeführt.

10.4.2 Technologie Fahrstraße

10.4.2.1 Begriff

Der Weg, den ein Schienenfahrzeug nach Lage der Gleise und Weichen nehmen kann, wird Fahrweg genannt. Um den Fahrweg zu sichern, müssen vor dem Befahren die Lage der beweglichen Fahrwegelemente sowie weitere sicherheitsrelevante Bedingungen erfüllt sein. Ist ein Fahrweg derart gesichert, wird er Fahrstraße genannt.

Je nach Art der Fahrt, die darauf stattfinden soll, unterscheidet man zwischen Zug- und Rangierstraße (CH: Zug- und Rangierfahrstraße). In alten Stellwerksbauformen gab es noch keine Rangierstraßen.

Eine Fahrstraße besitzt immer einen definierten Startpunkt und ein definiertes Ziel. Fast immer beginnt eine Fahrstraße an einem Hauptsignal. Ziel einer Fahrstraße ist meist ein Hauptsignal oder (bei Ausfahrten aus einem Bahnhof) die Strecke an der Grenze des Bahnhofs. Aber auch andere Signale können eine Fahrstraße begrenzen. So besitzt ein Prellbock an einem Stumpfgleis, in welches eine Fahrstraße führt (z. B. in Kopfbahnhöfen) ein definiertes Zeichen, was das Ende des Fahrwegs und damit auch der Fahrstraße markiert.

10.4.2.2 Grundlegende Kriterien für die Sicherung einer Fahrstraße

Signalabhängigkeit

Die Sicherstellung der richtigen Endlage von beweglichen Fahrwegelementen, insbesondere von

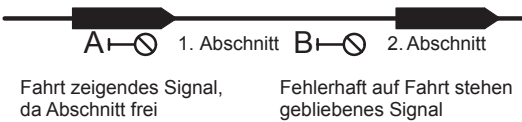


Abb. 10.23 Entstehung einer gefährlichen Situation durch fehlerhaft auf Fahrt stehen gebliebenes Signal

Weichen, wird durch die Signalabhängigkeit gewährleistet. Die Signalabhängigkeit beinhaltet zwei Forderungen:

1. Ein Signal darf sich nur dann auf Fahrt stellen lassen, wenn die zur Fahrstraße gehörenden Elemente richtig gestellt sind.
2. Solange ein Signal auf Fahrt steht, müssen die zur Fahrstraße gehörenden Elemente verschlossen sein.

Welche Elemente darin einbezogen werden, hängt von der jeweiligen Definition ab. So sind laut deutscher EBO nur die spitz befahrene Weichen zu sichern; Stand der Technik ist jedoch, alle befahrenen und Flankenschutz bietende Elemente einzubeziehen.

Die Signalabhängigkeit wird im Stellwerk durch den Fahrstraßenverschluss realisiert. Durch den Fahrstraßenverschluss werden die Elemente gegen Umstellen gesperrt und somit in ihrer Lage festgehalten. Weiterhin wird verhindert, dass der Fahrstraßenverschluss zurückgenommen werden kann, während ein Signal auf Fahrt steht.

Fahrstraßenfestlegung

Durch die Signalabhängigkeit wird nur erreicht, dass die Elemente während der Fahrtstellung des Hauptsignals richtig stehen. Ist der Zug am Signal vorbeigefahren, so besteht die Möglichkeit, das Signal auf Halt zu stellen, wodurch der Zug unverschlossene Elemente befahren könnte. Zur Verhinderung dessen dient die Fahrstraßenfestlegung. Die Fahrstraßenfestlegung hält den Fahrstraßenverschluss so lange aufrecht, bis der Zug das letzte bewegliche Fahrweegelement (meist die letzte Weiche) verlassen hat. Danach kann die Fahrstraße aufgelöst werden, was die Rücknahme der Fahrstraßenfestlegung bedeutet. Der Punkt, den der Zug verlassen haben muss, damit die Fahrstraße aufgelöst wird, wird Fahrstraßenzugschlussstelle genannt.

Fahrstraßenausschluss

Zwei Fahrstraßen, die gemeinsame Fahrweegelemente nutzen, nennt man feindliche Fahrstraßen. Zur Kollisionsvermeidung muss die gleichzeitige Einstellbarkeit zweier feindlicher Fahrstraßen ausgeschlossen sein.

Wenn feindliche Fahrstraßen zu verschließen Fahrweegelemente in unterschiedlichen Stellungen benötigen, so können – bedingt durch die Wirkung der Signalabhängigkeit – beide niemals gleichzeitig eingestellt werden. Man spricht von einem einfachen Ausschluss. Ein einfacher Ausschluss erfordert keine weiteren Maßnahmen.

Haben zwei feindliche Fahrstraßen keine gemeinsamen Fahrweegelemente, die sich in der Stellung unterscheiden (z. B. bei Gegenfahrten), so ist ein besonderer Ausschluss erforderlich. Ein besonderer Ausschluss bedeutet immer einen zusätzlichen Aufwand in der Sicherungslogik.

Flankenschutz

Flankenschutz ist eine Maßnahme zur Verhinderung des Eindringens von Fahrzeugen in Fahrstraßen über einmündende Fahrwege. Während feindliche Fahrstraßen durch Ausschlüsse bereits verhindert sind, besteht immer noch die Möglichkeit, dass Rangierfahrten, die frei (ohne Rangierstraße) rangieren, oder unabsichtlich in Bewegung geratene, abgestellte Fahrzeuge eine Flankenfahrt verursachen. Der notwendige Umfang des Flankenschutzes wird ausführlich in Abschn. 8.3 behandelt.

Der Flankenschutz schützt jedoch nur vor Flankenfahrten, die vor dem Flankenschutz bietenden Element beginnen. Deshalb muss das Gleis zwischen dem Flankenschutz suchenden und dem Flankenschutz bietenden Element frei sein. Dieser Raum wird Flankenschutzraum genannt.

Gleisfreimeldung

Die Gleisfreimeldung ist eine Maßnahme, mit der die Freiheit der Gleise von Schienenfahrzeugen geprüft wird. In den seltenen Fällen, wo eine Freimeldung des Lichtraumes auch von systemfremden Verkehrsteilnehmern oder übriger Umwelt erfolgt, kann auch diese mit hinzu gezählt werden. Die Möglichkeiten dazu sind in 10.2 erläutert.

10.4.2.3 Topologische Bestandteile einer Fahrstraße

Topologisch besteht eine Fahrstraße nicht nur aus den Elementen, die zwischen Start und Ziel liegen. Drei Bestandteile gehören dazu (Abb. 10.24):

- befahrener Teil,
- Flankenschutzraum,
- Durchrutschweg.

In der Regel werden alle drei Teile in die Gleisfreimeldung einbezogen.

Wie der Name schon sagt, gehören zum befahrenen Teil alle diejenigen Elemente, die die Zug- oder Rangierfahrt auf ihrem Weg vom Start zum Ziel befährt. Dabei kommt dem Zielgleis eine besondere Bedeutung zu: Es muss nicht freigefahren werden, um die Fahrstraße aufzulösen. Es ist zwar Teil der Fahrstraße und wird vor Zulassung dieser freigepüft, die Auflösung der Fahrstraße geschieht jedoch nach dem Passieren der Fahrstraßenzugschlussstelle. Dies ist auch logisch, da eine Fahrt im Zielgleis halten und für längere Zeit dort verweilen kann.

10.4.2.4 Teilfahrstraßen

In hoch belasteten Fahrstraßenknoten ist es sinnvoll, bereits freigefahrene Elemente schon vor dem Passieren der Fahrstraßenzugschlussstelle aufzulösen, um sie für andere, zur betreffenden Fahrt feindliche Fahrstraßen zu nutzen. Zu diesem Zweck werden Teilfahrstraßen eingerichtet. An deren Ende befindet sich die Teilfahrstraßenzugschlussstelle. Nach dem Freifahren wird die Teilfahrstraße aufgelöst und steht für andere Fahrten zur Verfügung.

10.4.2.5 Fahrstraßenverschluss

Der Fahrstraßenverschluss beinhaltet die Festhaltung aller Fahrwegelemente in der für die Fahrstraße benötigten Stellung sowie die besonderen Ausschlüsse. Er ist eine Voraussetzung, um das Signal auf Fahrt zu stellen (Signalabhängigkeit). Die vom Verschluss geprüften Bedingungen sowie die Aufrechterhaltung des Verschlusses selbst werden ständig geprüft und würden (außer bei sehr alten Stellwerksbauformen) beim Ausbleiben zur sofortigen Signalhaltstellung führen.

Eine verschlossene Fahrstraße kann vor dem Eintreten der Fahrstraßenfestlegung jederzeit zurückgenommen werden. Eine Gefährdung ergibt sich daraus nicht, da das Signal erst nach der Festlegung auf Fahrt gestellt werden kann.

Teilfahrstraßen werden je Fahrstraßenteil verschlossen, da sie einzeln aufgelöst werden. Bei Zusammenfassung mehrerer Elemente zu einem Gleisfreimeldeabschnitt bestimmt dieser den Umfang der Teilfahrstraße.

Der erfolgte Fahrstraßenverschluss kann als Zwischenbilanz beim Fahrstraßenaufbau betrachtet werden, bei dem nur die wichtigsten, selten gestörten Freigabebedingungen geprüft werden. Andere Bedingungen (z. B. Gleisfreimeldung) werden bewusst erst später geprüft, um bei deren Störung mit dem Fahrstraßenverschluss wenigstens die wichtigsten Bedingungen technisch geprüft zu haben. Dadurch muss im Störfall der Bediener nicht die gesamte Verantwortung übernehmen.

Stellbare Fahrwegelemente

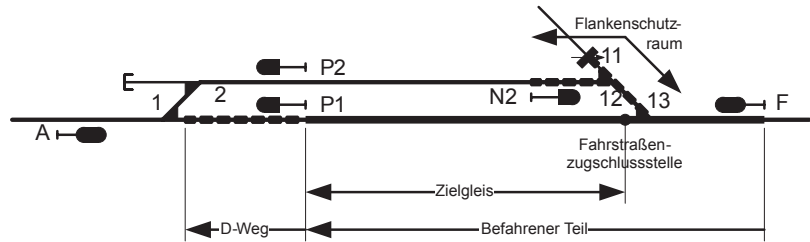
Bei stellbaren Fahrwegelementen bedeutet der Verschluss, dass sie in der richtigen Endlage festgehalten werden. Dazu gehören alle in 10.3.1.1 genannten Elemente. Für Zwecke des Flankenschutzes werden auch Signale in Haltstellung verschlossen.

Mittelweichen

Mittelweichen sind Weichen und Kreuzungen die sich im Zielgleis (also hinter der Fahrstraßenzugschlussstelle) befinden. Sie müssen sowohl bei der Einfahrt in das als auch bei der Ausfahrt aus dem Gleis gesichert werden. Das betrifft einerseits den Verschluss, andererseits die Geschwindigkeit der Fahrstraßen, die durch die Mittelweiche eingeschränkt sein kann. Somit werden diese Elemente wie solche im befahrenen Teil der Fahrstraße gesichert.

In moderneren Stellwerksbauformen werden die Mittelelemente über eine besondere Teilfahrstraße – die Mittelweichenteilfahrstraße – verschlossen. Nach der Einfahrt eines Zuges wird diese nicht aufgelöst, wenn der Zug das Element nicht freigefahren hat. Hat der Zug nach dessen

Abb. 10.24 Bestandteile einer Fahrstraße



Weiterfahrt die Mittelweichenteilfahrstraße verlassen, löst sie auf. Fährt der Zug nicht in die gleiche Richtung weiter oder endet er und fährt als Rangierfahrt in die entgegengesetzte Richtung, muss sie mit einer besonderen Bedienung aufgelöst werden. Auch mehrere Mittelweichenteilfahrstraßen vor einem Hauptsignal sind möglich.

Besondere Bedingungen

Im Fahrstraßenverschluss können auch besondere Bedingungen für die Fahrt abgeprüft werden. So kann auf Systemwechselbahnhöfen die Einschaltung der richtigen Traktionsspannung in den Verschluss einbezogen werden oder gar die grundsätzliche Verfügbarkeit des Bahnstromes im freigegebenen Abschnitt.

Besondere Fahrstraßenausschlüsse

Mit dem Fahrstraßenverschluss werden auch die besonderen Ausschlüsse feindlicher Fahrstraßen hergestellt. Dazu ist es notwendig, dass sich diese in Grundstellung (nicht eingestellt) befinden. Ebenso wie sich verschlossene Elemente nicht mehr umstellen lassen, lassen sich auch die ausgeschlossenen Fahrstraßen nicht mehr einstellen.

10.4.2.6 Flankenschutzelemente

Verschluss der Elemente

Wie die befahrenen Fahrwegelemente werden auch die Elemente des unmittelbaren Flankenschutzes verschlossen. Für alle Weichen und Kreuzungen im befahrenen Teil und im Durchrutschweg muss Flankenschutz gewährleistet sein. Abhängig von den Forderungen der Eisenbahninfrastrukturunternehmen kann bei Durch-

rutschwegen und Rangierstraßen auf Flankenschutz verzichtet werden.

In den meisten Fällen wird der Flankenschutz durch das benachbarte Element gegeben. Im Fall der Weiche 12 in Abb. 10.24 kann diese keinen Flankenschutz bieten, wenn die Weiche 13 ihn anfordert. Hier muss der Flankenschutz von der Weiche 12 „durchgereicht“ und von Gleissperre 11 und Signal N2 gewährleistet werden. Weichen, die den Flankenschutz auf diese Art weiterleiten, werden auch „Flankenschutztransportweichen“ genannt.

Zwieschutzweichen

Ein Sonderfall des Flankenschutzes sind Zwieschutzweichen. Sie ergeben sich immer dann, wenn eine Weiche gleichzeitig in beiden Stellungen für den Flankenschutz angefordert werden kann. In Abb. 10.25a) kann das bei Weiche 3 geschehen: Wenn die eingezeichneten Fahrstraßen von P1 und P3 gleichzeitig eingestellt werden, fordert jede Fahrstraße die Flankenschutzweiche 3 in einer anderen Stellung an. Da Flankenschutzweichen verschlossen werden, ergäbe sich daraus ein einfacher Ausschluss und die beiden Fahrstraßen wären nicht gleichzeitig einstellbar, obwohl sie keine gemeinsam befahrenen Elemente besitzen. Eine solche Weiche wird **Echte Zwieschutzweiche** genannt.

Im Fall der Weiche 14 in (Abb. 10.25b) handelt es sich um eine **Eigenzwieschutzweiche**. Im Gegensatz zur Echten Zwieschutzweiche wird hier die Zwieschutzweiche von der gleichen Fahrt in beiden Stellungen gleichzeitig angefordert. Durch die im Beispiel gekennzeichnete Fahrt von P11 verlangt einerseits die Weiche 13, andererseits die Weiche 11 nach Flankenschutz und

Abb. 10.25 Beispiele für Zwieschutzweichen

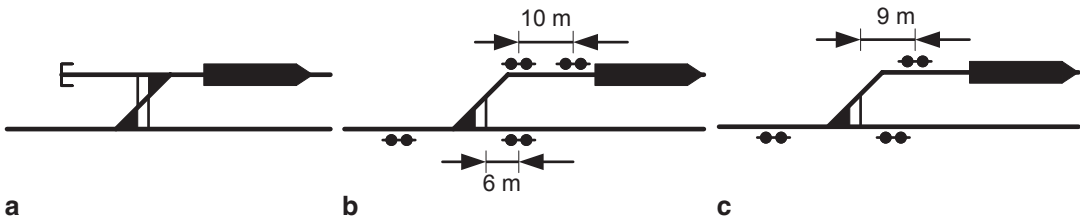
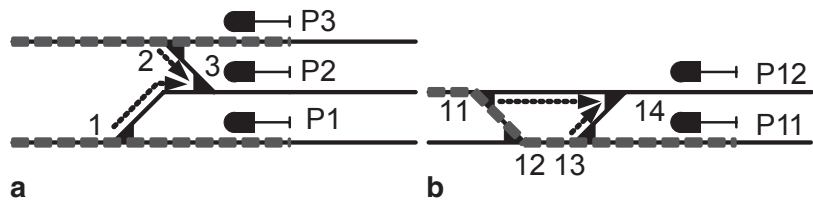


Abb. 10.26 Möglichkeiten zur Gewährleistung des Streckschutzes

beide finden ihn an der Weiche 14 – jedoch in unterschiedlichen Stellungen.

Zwieschutzweichen müssen in der Stellwerkslogik besonders behandelt werden. Der Konflikt des Ausschlusses von Fahrstraßen durch Zwieschutzweichen wird behoben, indem für die Flankenschutzanforderungsfälle folgende Reaktionen geplant werden:

- Verschluss der Zwieschutzweiche (Bedienung der Flankenschutzanforderung)
- Ersatzschutz (Erfüllung der Flankenschutzanforderung durch ein alternatives Flankenschutzelement)
- Flankenschutzverzicht

Die Wahl der jeweiligen Maßnahme hängt von der betrieblichen Situation auf der Infrastruktur ab. So kommt Flankenschutzverzicht i. d. R. nur dann zur Anwendung, wenn die zu schützende Fahrt kein hohes Risikopotenzial birgt (z. B. nur Güterverkehr).

Flankenschutz gegen das Strecken der Züge

Das Phänomen des Streckens von Zügen besteht darin, dass ein haltender Zug mit eingedrückten Federpuffern zum Stehen kommt, da die Wagen beim Bremsen aufeinander auflaufen. Wenn während eines längeren Halts die Bremskraft der Luftdruckbremse nachlässt, entspannen sich die Federn der Puffer wieder – der hintere Zugteil bewegt sich dadurch bis zu mehreren Metern

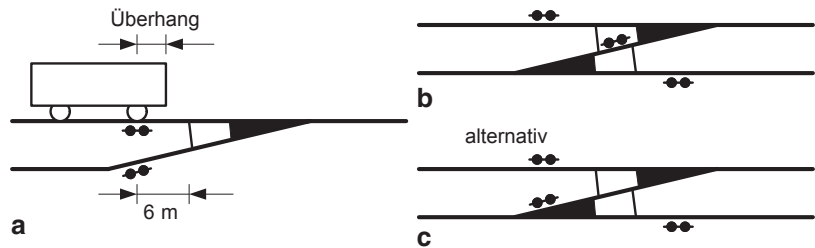
rückwärts. Diese ungewollte Bewegung kann zu einer Gefährdung durch Flankenfahrt führen, der entgegengewirkt werden muss.

Sind Fahrwegweichen mit Flankenschutzfunktion vorhanden, so werden diese verwendet, wie in Abb. 10.26a) dargestellt. Sind solche nicht vorhanden, wird der Streckschutz durch Gleisfreimeldeabschnitte sichergestellt.

Eine relativ aufwändige Möglichkeit ist der Einsatz eines separaten Streckschutzabschnittes (Abb. 10.26b). Hierbei liegt die Fahrstraßenzugschlussstelle am Ende des Streckschutzabschnittes, so dass die Einfahrstraße erst dann aufgelöst wird, wenn dieser besondere Abschnitt frei ist. Sollte sich der eingefahrene Zug in den Abschnitt hinein strecken, so hat das keine Auswirkungen, da für die Fahrt auf dem anderen Gleis nur die Weiche freigemeldet werden muss.

Eine einfachere Möglichkeit ist die Verlängerung des Freimeldeabschnittes der einmündenden Weiche (Abb. 10.26c). Hierbei liegt die Fahrstraßenzugschlussstelle am Ende dieses Abschnittes, der Zug muss diesen also geräumt haben, damit die nächste Fahrt stattfinden kann. Sollte er sich nun strecken, so stehen ihm dafür, abhängig von der Neigung, mindestens 9 m zur Verfügung. Diese Länge reicht aus, damit das Zugende noch vor dem Grenzzeichen der Weiche zum Stehen kommt. Nachteilig bei dieser Variante ist, dass es zu einer Betriebshemmung

Abb. 10.27 Freimeldung von Weichen



im Nachbargleis kommt, wenn der Freimeldeabschnitt der Weiche durch die Streckung belegt wird. Da hierfür aber ein sich streckender Zug mit maximaler Länge erforderlich ist, kommt dies nur sehr selten vor.

10.4.2.7 Freimeldung der Fahrstraßenbestandteile

In der Regel müssen alle topologischen Bestandteile einer Zugstraße auf Freiheit von anderen Schienenfahrzeugen geprüft werden. Dazu werden alle freizuprüfenden Gleise in Gleisfreimeldeabschnitte unterteilt. Dort, wo auch der „Schutz vor übrigen Hindernissen“ (siehe 10.1.2) realisiert wird, werden auch die Ergebnisse dieser Sensoren einbezogen. Bei Rangierstraßen ist die Freimeldung i. d. R. nicht notwendig, da zum Bilden und Zerlegen von Zügen in besetzte Gleise eingefahren werden muss.

In Stellwerken mit technischer Gleisfreimeldung erfolgt die Prüfung kontinuierlich. Dadurch werden die Gleisfreimeldeabschnitte ständig geprüft. Eine Besetzung durch ein in die Fahrstraße eindringendes Fahrzeug führt zum sofortigen Signalhaltfall.

Um sicherzustellen, dass ein Fahrzeug an einer Weiche nicht mit einer Fahrt im benachbarten Strang zusammenstößt, muss es noch vor dem Grenzzeichen (CH: Sicherheitszeichen, A: Grenzmarke) der Weiche stehen; man spricht auch von grenzzeichenfreier Stellung des Fahrzeugs (CH: Profilmfreiheit). Hieraus ergibt sich eine Anforderung an die Freimeldung von Weichen.

Zur Gleisfreimeldung werden Schienenfahrzeuge nur an ihren Rädern detektiert. Jedes Fahrzeug ragt aber über die äußerste Achse

hinaus. Man spricht dabei auch vom „Überhang“ (Abb. 10.27a). Um sicherzustellen, dass ein Fahrzeug, welches den Freimeldeabschnitt der Weiche verlassen hat, auch grenzzeichenfrei steht, wird die Gleisfreimeldegrenze einige Meter vor dem Grenzzeichen angeordnet. Nach deutschem Regelwerk sind das 6 m (CH: mindestens 3 m).

Ein besonderes Problem, was häufig auftritt, besteht an Gleisverbindungen dicht benachbarter Gleise. Hierbei sind die Weichen so dicht aneinander angeordnet, dass sich die Grenzzeichen überlappen (Abb. 10.27b). Die Freimeldung kann nicht mehr grenzzeichenfrei erfolgen. Eine Möglichkeit der Abhilfe wäre die Anordnung zweier Gleisfreimeldegrenzen jeweils 6 m nach dem Grenzzeichen. Aufgrund des hohen Aufwands für einen weiteren Gleisfreimeldeabschnitt kommt diese Maßnahme nicht zur Anwendung. Außerdem ist die Positionierung von Gleisfreimeldegrenzen in Weichen bei Gleisstromkreisen problematisch.

Das Problem kann durch einen Eingriff in die Stellwerkslogik gelöst werden. Dazu wird bei jeder Weiche – aber nur in der Stellung für den Fahrweg, der über beide Weichen geht – eine Umstellsperre aktiv, die so lange andauert, bis die benachbarte Weiche frei ist. Durch die Umstellsperre kann im benachbarten Gleis (im Beispiel über die geraden Stränge der Weichen) keine weitere Fahrt stattfinden.

Da bei Achszählern das Anordnen von Gleisfreimeldegrenzen in Weichen möglich ist, kann zumindest eine Weiche grenzzeichenfrei freigemeldet werden (Abb. 10.27c). Hierbei ist nur die nicht grenzzeichenfrei freigemeldete Weiche entsprechend zu behandeln.

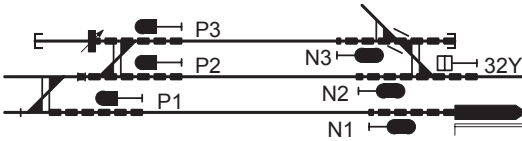


Abb. 10.28 Beispiele für markante Punkte

10.4.2.8 Sicherung des Durchrutschweges

Der Durchrutschweg (A: Schutzweg), als Bestandteil der Fahrstraße, beginnt am Zielsignal und endet am markanten Punkt bzw. Gefahrenpunkt. International wird er nicht bei allen Bahnen verwendet und manche verwenden ihn nur in bestimmten Fällen.

Mit wenigen Ausnahmen gelten in der Fahrstraßenlogik alle Sicherungskriterien für die Fahrstraße auch für den Durchrutschweg. So wird er in den Fahrstraßenverschluss und die -festlegung einbezogen, benötigt Flankenschutz sowie Freimeldung und schließt andere Fahrten aus.

Durchrutschwege enden an einem markanten Punkt, damit bei Stellwerken ohne oder bei gestörter Gleisfreimeldeanlage in der Rückfallebene der visuell frei zu prüfende Abschnitt eindeutig in der Außenanlage identifizierbar ist. Abb. 10.28 zeigt Beispiele für markante Punkte:

- N2 Signal der Gegenrichtung
- P1 Grenzezeichen einer Weiche
- P2 Spitze einer Weiche
- P3 Gleissperre
- N1 Bahnsteiganfang
- N3 Gleisabschluss

Längen von Durchrutschwegen

Je nach Geschwindigkeit, mit der auf das Halt zeigende Signal zugefahren wird, sind unterschiedliche Längen von Durchrutschwegen vorzusehen. Die Staffelung ergibt sich aus der Annahme, dass sich bei größeren Geschwindigkeiten der Bremsweg und damit auch der tatsächliche Durchrutschweg verlängern. Die Längen von Durchrutschwegen sind – sofern überhaupt vorgesehen – international sehr unterschiedlich. Die in Deutschland, Österreich und der Schweiz vorgeschriebenen Längen bei Normalspurbah-

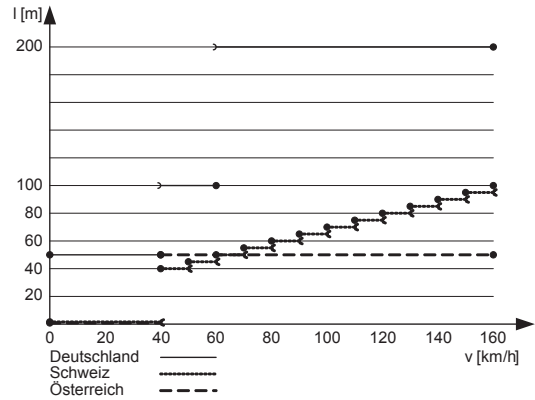


Abb. 10.29 Regeldurchrutschweglängen

nen sind in Abb. 10.29 wiedergegeben. Teilweise werden sie noch mit einem Gefällezuschlag versehen.

In besonderen Fällen, wie Einfahrt in ein teilweise besetztes Gleis oder in ein Stumpfgleis, kann es vorkommen, dass kein oder nur ein sehr kurzer Durchrutschweg zur Verfügung steht. Dann sind Maßnahmen zu treffen, die die Wahrscheinlichkeit des Durchrutschens verringern, wie z. B. Verringerung der Einfahrtgeschwindigkeit oder besondere Hinweise an den Triebfahrzeugführer durch Signalisierung oder Fahrplanunterlagen.

Verschluss von Weichen im Durchrutschweg

Deutsche Regelwerke lassen es zu, dass stumpf berutschte Weichen mit auffahrbarem Antrieb nicht verschlossen werden müssen. Man spricht von einer „Regelstellungsweiche“, weil diese i. d. R. für den Durchrutschweg in eine bestimmte Stellung gebracht werden soll, aber nicht verschlossen wird. Bei diesen Weichen besteht lediglich die Gefahr, dass sie im Falle des Berutschens falsch steht und dabei aufgefahren wird, was nicht gefährlich ist.

Nicht in allen Stellwerksbauformen kann die Logik von Regelstellungsweichen implementiert werden. In so einem Fall müssen auch stumpf berutschte Weichen verschlossen werden.

Vereinfachungen bei Durchrutschwegen

Die Wahrscheinlichkeit für das Durchrutschen ist gering und beträgt ca. 10^{-5} pro Fahrt auf ein

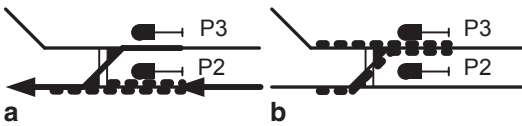


Abb. 10.30 Beispiele für Wahldurchrutschwege

Halt zeigendes Signal. Die Wahrscheinlichkeit des gleichzeitigen Durchrutschens zweier Züge ist hinreichend klein, so dass dieser Fall nicht angenommen wird. Deshalb dürfen nach deutschen Richtlinien Fahrweegelemente gleichzeitig von zwei Durchrutschwegen in Anspruch genommen werden. Auch diese Besonderheit ist nicht in allen Stellwerksbauformen implementierbar. In einigen Fällen kann es schon deshalb scheitern, weil stumpf berutschte Weichen verschlossen werden müssen.

In der Schweiz gilt bei Gegeneinfahrten nur die einfache Länge des jeweils längeren Durchrutschweges. Bei Paralleleinfahrten ist nur ein Durchrutschweg zu berücksichtigen. Außerdem kann für Folgefahrten der Durchrutschweg auf 40 m verkürzt werden, wenn der Abstand zum nächsten

- Hauptsignal mehr als 750 m oder
- Perron (Bahnsteig) mehr als 100 m beträgt.

Wahldurchrutschwege

Selbstverständlich schließen sich Durchrutschwege mit anderen Fahrten aus. Wenn z. B. die in Abb. 10.30a) dargestellte Ausfahrt von P3 und die Einfahrt auf P2 gleichzeitig eingestellt werden soll, würden sich diese beiden Fahrten ausschließen, wenn der reguläre Durchrutschweg hinter P2 in die Ausfahrstraße hineinreicht. Um solche Ausschlüsse zu vermeiden, ist es möglich, einen weiteren Durchrutschweg hinter P2 einzurichten. Dieser ist kürzer und endet bereits am Grenzzeichen der nächsten Weiche. Die Verkürzung muss mit einer Verringerung der Einfahrtsgeschwindigkeit erkauft werden. Mehrere Durchrutschwege hinter einem Signal nennt man Wahldurchrutschwege, da der Bediener je nach betrieblicher Situation einen Durchrutschweg wählen kann.

Ein anderes Erfordernis für die Einrichtung von Wahldurchrutschwegen können mehrere Ausfahrrichtungen hinter einem Ausfahrtsignal sein (Abb. 10.30b). Um eine Durchfahrt einzustellen, müssen Ein- und Ausfahrstraße gleichzeitig eingestellt werden. Wenn aber die Verzweigung unterschiedlicher Ausfahrwege im Durchrutschweg liegt, kann nur die Ausfahrt eingestellt werden, in die der Durchrutschweg hinein reicht. Um solcher Art Fahrstraßenausschluss – eine Einfahrt mit der weiterführenden Ausfahrt – zu vermeiden, werden ebenfalls Wahldurchrutschwege eingeführt.

10.4.2.9 Fahrstraßenfestlegung

Vor dem Stattfinden der Fahrt muss die Fahrstraßenfestlegung erfolgen. Sie verhindert ein Zurücknehmen des Fahrstraßenverschlusses und ist Voraussetzung für die Fahrtstellung des Signals; letzteres deshalb, damit nur festgelegte Fahrstraßen befahren werden.

Mit der Festlegung ist die Fahrstraße nicht mehr ohne weiteres rücknehmbar, da ab diesem Zeitpunkt ein Signal auf Fahrt gestanden haben und damit sich bereits eine Fahrt in der Fahrstraße befinden kann. Soll bei Unregelmäßigkeiten eine bereits festgelegte Fahrstraße ohne durchgeführte Fahrt aufgelöst werden, so ist eine registrierpflichtige Handlung notwendig.

10.4.2.10 Abhängigkeiten zum Streckenblock

Wird bei Ausfahrstraßen die anschließende Strecke mit Blockinformationen gesichert, so werden die Kriterien des Folge- und Gegenfahrtschutzes mit geprüft. Weitere Erläuterungen über die Kriterien erfolgen in 10.4.3.

10.4.2.11 Weitere Abhängigkeiten

Bei besonderen Bedingungen kann es weitere Abhängigkeiten zur Einstellung der Fahrstraße geben. So ist es z. B. möglich, die Einfahrt in ein bestimmtes Ladegleis von der Zustimmung des Bedieners der Ladeeinrichtung abhängig zu machen. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, auf Grenzbahnhöfen die Ausfahrt eines Zuges nur zu gestatten, wenn die Stellen der Grenzabfertigung zugestimmt haben. In Tunneln kann der Zustand

seitlicher Türen z. B. zu Querschlägen (Verbindung zweier Röhren) oder Fluchtwegen geprüft werden.

10.4.2.12 Abhängigkeiten zu Bahnübergängen

In einigen Fällen müssen Bahnübergänge (BÜ) von Fahrstraßen abhängig sein (siehe Kap. 13). Das betrifft sowohl den Einschaltanstoß als auch die Überwachung des gesicherten Zustandes.

Die Einschaltung eines BÜ erfolgt beim Fahrstraßenaufbau immer als letztes Kriterium vor der Signalfahrtstellung. Dem liegt die Überlegung zugrunde, dass bei einer Störung im Fahrstraßenaufbau der BÜ nicht unnötig für den Straßenverkehr gesperrt sein soll.

10.4.2.13 Signalisierung von Fahrstraßen

Fahrtstellung des Signals

Erfüllt die Fahrstraße alle Anforderungen und ist sie festgelegt, kann das Signal auf Fahrt gestellt werden. Voraussetzung dafür ist, dass das Zielsignal kein Zusatzsignal zur ersatzweisen Erteilung der Zustimmung zur Zufahrt zeigt, nicht betrieblich abgeschaltet oder erloschen ist. Diese Bedingungen weisen auf das Problem der Sicherung des folgenden Abschnitts hin. Wichtig ist also, dass der freigegebene Bereich am Ende durch ein Halt zeigendes Signal begrenzt wird. Da es in den meisten Fällen möglich sein muss – bei Vorliegen der Voraussetzungen – auch mehrere Fahrstraßen hintereinander einzustellen, kommt eine Haltprüfung des Zielsignals nur in solchen Fällen in Frage, in denen das gleichzeitige Einstellen der nächsten Fahrstraße nicht gefordert ist. Ansonsten werden andere Strategien angewandt.

Geschwindigkeitssignalisierung

Statische Geschwindigkeitsbegrenzungen werden durch die Einrichtung ständiger oder vorübergehender Langsamfahrstellen gekennzeichnet. Wo aber ein Hauptsignal einen Fahrweg sichert, kann es z. B. durch Fahrwegverzweigungen zu unterschiedlichen Geschwindigkeiten je nach Fahrweg kommen. Diese müssen durch

dynamische Signalisierung dem Triebfahrzeugführer bekannt gegeben werden. Es gibt drei grundlegende Ursachen für eine Geschwindigkeitsbeschränkung in der Fahrstraße:

Geschwindigkeitseinschränkung durch Fahrweg bei verschiedenen Fahrwegen Die häufigste Einschränkung der Geschwindigkeit ergibt sich durch die im jeweiligen Fahrweg zulässige Geschwindigkeit, die wiederum fast immer durch die Abzweiggeschwindigkeit abzweigend befahrener Weichen bestimmt wird. Dabei ist zu beachten, dass auch vor dem Signal befindliche Elemente eine solche Einschränkung hervorrufen können (z. B. bei Gruppensignal oder Mittelweiche). In der Regel können Weichen im Stammgleis mit unverminderter Geschwindigkeit durchfahren werden; die Geschwindigkeit im Zweiggleis richtet sich nach dem Radius des Zweiggleises (siehe Kap. 5). Bei Bogenweichen können auch im durchgehenden Gleis Geschwindigkeitseinschränkungen notwendig sein. Aber auch andere Trassierungselemente (z. B. Gleisverzierungen) können zur Einschränkung der Geschwindigkeit eines Fahrweges führen. In den meisten Fällen wird jedoch so trassiert, dass im Umfeld von Weichen keine schärferen Geschwindigkeitseinschränkungen durch Trassierungselemente entstehen.

Verkürzter Durchrutschweg Wie bereits erläutert, können zur Vermeidung von Fahrstraßen-ausschlüssen Wahldurchrutschwege eingerichtet werden. Oftmals sind alternative Durchrutschwege kürzer; sie führen damit zu einer Einschränkung der Geschwindigkeit, mit der auf das Zielsignal zugefahren werden darf. Diese Geschwindigkeit muss am Startsignal signalisiert werden.

Verkürzter Bremswegabstand Ist der Abstand zweier Hauptsignale geringer als der Regelbremsweg, so kann es vorkommen, dass am Startsignal bereits eine geringere Geschwindigkeit gefahren werden muss, damit der Zug innerhalb des verkürzten Bremswegabstandes sicher zum Stehen kommt.

In der Schweiz wurden in modernen Stellwerken weitere Funktionalitäten implementiert, die zu verringerten Geschwindigkeiten führen können:

- nicht vollständig gegebener Flankenschutz (dann höchstens 120 km/h),
- Arbeiten im Nachbargleis bei zweigleisigen Tunneln.

Sonstige Zusatzsignalisierung

Neben der Geschwindigkeitssignalisierung können weitere Besonderheiten signalisiert werden. Die Möglichkeiten werden in Abschn. 8.2.2.3 vorgestellt.

Vorsignalisierung

Die Stellung des Hauptsignals einschließlich solcher Besonderheiten, die ein vorheriges Bremsen erfordern, ist vorzusignalisieren, damit der Triebfahrzeugführer seine Fahrweise auf das zu erwartende Hauptsignal einstellen kann. Erfolgt die Vorsignalisierung durch ein separates Vorsignal, wird dessen Steuerung in den meisten Fällen direkt von der Hauptsignallogik aus angesteuert.

Stehen Vor- und Hauptsignal an einem Standort oder werden kombinierte Signale genutzt, so muss ein Haltbegriff am Hauptsignal einen eventuellen Fahrtbegriff am Vorsignal maskieren, d. h. das Vorsignal darf dann keinen Begriff anzeigen.

Haltstellung des Signals

Nach der Vorbeifahrt des Zuges am Startsignal der Fahrstraße muss dieses umgehend auf Halt gestellt werden, damit der Zug durch ein Halt zeigendes Signal gedeckt ist. In Stellwerken mit technischer Gleisfreimeldung geschieht das mit dem Befahren des Haltfallabschnitts, auch Löscharbeitsabschnitt genannt. Der Haltfallabschnitt ist der Gleisfreimeldeabschnitt, bei dessen Befahren das Signal auf Halt zurückgestellt, die Fahrtstellung also „gelöscht“ wird. In Stellwerken ohne technische Gleisfreimeldung wird die Haltstellung durch den Zug an punktförmigen Ortungskomponenten oder durch den Bediener im Stellwerk ausgelöst.

Neben der regulären Haltstellung des Signals muss diese zur Gefahrenabwehr jederzeit mög-

lich sein. Das kann durch einen Eingriff des Bedieners erfolgen oder durch die technische Fahrstraßenüberwachung, wenn nicht mehr alle Voraussetzungen für die Fahrstraße gegeben sind.

10.4.2.14 Fahrtabbau

Fahrstraßenauflösung im Regelfall

Nachdem die Fahrstraßenzugschlussstelle passiert wurde, kann der befahrene Teil der Fahrstraße einschließlich dessen Flankenschutzes aufgelöst werden. Sind die Fahrweegelemente in Teilfahrstraßen (siehe 10.4.2.4) aufgeteilt, wird nach dem Befahren der Teilfahrstraßenzugschlussstelle die jeweilige Teilfahrstraße aufgelöst. Teilfahrstraßen werden meist durch einen, selten durch mehrere Gleisfreimeldeabschnitte freigemeldet.

Voraussetzung für eine Auflösung ist in den meisten Fällen, dass das Startsignal inzwischen Halt zeigt. Um zu erreichen, dass ein Zug nur festgelegte Fahrstraßen befährt, muss die Festlegung eingetreten sein, bevor das Signal auf Fahrt geht. Analog dazu muss beim Fahrstraßenabbau das Signal erst in die Haltstellung kommen, bevor die Festlegung gelöscht wird. Dadurch wird sichergestellt, dass ein Signal ohne Festlegung nie Fahrt zeigen kann.

In Stellwerken mit technischer Gleisfreimeldung werden die Gleisfreimeldeabschnitte zur Fahrstraßenauflösung herangezogen. Diese müssen besetzt gewesen und wieder frei sein, um aufzulösen. Damit wird gleichzeitig eine Funktionskontrolle der Freimeldeeinrichtungen durchgeführt, da nur so geprüft werden kann, ob ein besetzter Zustand wirklich detektiert wird.

Der Durchrutschweg kann aufgelöst werden, wenn er nicht mehr benötigt wird, was dann der Fall ist, wenn der Zug steht, die Gefahr des Durchrutschens somit nicht mehr gegeben ist. Bei Vorhandensein von örtlichem Personal kann dieses den Stillstand durch Beobachtung feststellen und mit einer Bedienhandlung den Durchrutschweg auflösen. Befindet sich kein Personal vor Ort, kann lediglich der Zustand der Gleisfreimeldeanlage ausgewertet werden. Da die Gleisfreimeldeabschnitte aber diskret wirken und eine Fahrzeugbewegung nicht direkt erkennen können, muss auf den Stillstand des Zuges in-

direkt geschlossen werden. Das wird durch eine zeitverzögerte Auflösung des Durchrutschweges erreicht, deren Zeitglied nach dem Besetzen des Zielgleises angestoßen wird. Die Dauer der Zeitverzögerung ist in Abhängigkeit von der Länge des Zielgleises und der Einfahrtgeschwindigkeit zu projektieren.

Fahrstraßenhilfsauflösung

Kann eine Fahrstraße nicht regulär aufgelöst werden, so sind meist technische Ausfälle dafür verantwortlich. Aber auch betriebliche Gründe können die Auflösung verhindern, z. B. dann, wenn der vorgesehene Zug die Fahrstraße gar nicht befahren hat. In solchen Fällen muss die Fahrstraße durch eine Hilfsbedienung aufgelöst werden.

Fahrstraßenhilfsauflösungen sind sicherheitsrelevante Bedienungen. Da nach der Festlegung das Signal auf Fahrt gestanden haben kann, kann sich bereits ein Zug in der Fahrstraße befinden. Deshalb unterliegt die Fahrstraßenhilfsauflösung einer Registrierpflicht. Bei dieser Registrierung muss der Bediener seine Handlung begründen.

Es besteht aber auch die Möglichkeit, eine Fahrstraßenhilfsauflösung zeitverzögert wirksam werden zu lassen. Nach Ablauf einer bestimmten Zeit kann angenommen werden, dass ein eventuell in der Fahrstraße befindlicher Zug diese verlassen oder das Zielgleis erreicht hat.

10.4.2.15 Rangierbereiche außerhalb der Verantwortung des Stellwerkspersonals

In Stellwerksbereichen stellt im Regelfall der Stellwerksbediener die Weichen bzw. Rangierstraßen für Rangierfahrten. Um den Bediener von solchen Handlungen zu entlasten, besteht die Möglichkeit, die fahrdienstliche Verantwortung in abgegrenzten Bereichen an den Rangierer vor Ort abzugeben. Die Bereiche können sowohl Neben- als auch Hauptgleise umfassen. Die in dem Bereich liegenden Weichen werden dann vom Personal vor Ort bedient, was bei elektrisch angetriebenen Weichen durch in der Außenanlage aufgestellte Bedienelemente geschieht. Damit entfällt auch die sonst notwendige Kommunikation zwischen Rangierpersonal und Stellwerks-

bediener. Solche abgegrenzten Bereiche werden Nahbedienbereiche (CH: Rangierzone) genannt.

Ist die Nahbedienung eingeschaltet, die Verantwortung also beim Rangierpersonal, so muss der Bereich vom übrigen Bahnhofsbereich getrennt werden. Das wird dadurch erreicht, dass Flankenschutzelemente (meist Weichen) die Bereiche gegenseitig schützen. Bei eingeschalteter Nahbedienung sind diese in Flankenschutzstellung verschlossen.

10.4.3 Technologie Blockinformation

10.4.3.1 Wesen der Blockinformation

Auf der freien Strecke reduzieren sich die Gefährdungsmöglichkeiten. Mit wenigen Ausnahmen muss kein Flankenschutz gewährleistet werden, da keine Weichen vorhanden sind. Dadurch entfällt die Sicherung beweglicher Fahrwegelemente. Somit sind vorrangig Folge- und Gegenfahrerschutz zu gewährleisten.

Wie in 10.4.1.1 beschrieben, hat sich die von der Fahrstraße abweichende Technologie aufgrund der besonderen nichttechnischen Freimeldung entwickelt. Durch die indirekte Freimeldung der Strecke an deren Ende steht die Freimeldeinformation nur dort zur Verfügung, und zwar immer nachdem ein Zug gefahren ist. Benötigt wird sie aber am Anfang der Strecke, wo die Signalbedienung erfolgt. Deshalb muss sie dorthin übertragen werden – was durch die Blockinformation geschieht.

10.4.3.2 Folgefahrerschutz

Um den Folgefahrerschutz zu realisieren, muss lediglich gewährleistet sein, dass ein „Nachfahren“ in einen Abschnitt – hier den Blockabschnitt – nicht möglich ist. Zunächst darf keine Fahrt in einen bereits besetzten Abschnitt zugelassen werden, d. h. das Signal am Abschnittsanfang darf nur Fahrt zeigen, wenn der Abschnitt frei ist.

Analog zur Fahrstraße muss auch hinter einem Halt zeigenden Zielsignal ein Schutzabschnitt freigehalten werden. Dieser Abschnitt wird in deutschen sicherungstechnischen Regelwerken „Gefahrpunktabstand“ genannt. In betrieblichen Regelwerken findet sich auch die

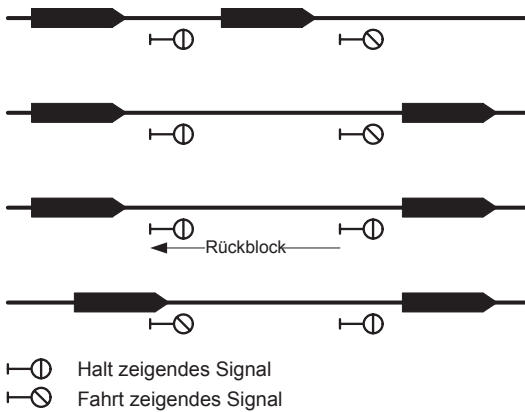


Abb. 10.31 Verhinderung des Nachfahrens von Zügen bei der Sicherung mit Blockinformationen

Bezeichnung „Durchrutschweg hinter Einfahrtsignalen“. Die Länge beträgt nach deutschen Vorschriften 200 m, in wenigen Fällen auch darunter. In der Schweiz wird dieser Weg gar nicht berücksichtigt, in Österreich kommen die Regeln des Durchrutschweges zur Anwendung.

Die in 10.4.1.1 dargestellte Problematik der Deckung eines Zuges durch ein Halt zeigendes Signal besteht auch bei der Sicherung mit Blockinformationen. Würde ein Zug in einen freien Abschnitt eingelassen werden, an dessen Ende aber das Signal fehlerhaft nicht in die Haltstellung gekommen ist, so könnte er in den nächsten Abschnitt einfahren, ohne dass geprüft wurde, ob dieser frei ist (Abb. 10.23).

Das Signal am Anfang des Blockabschnittes muss nach Einfahrt des Zuges in den Abschnitt in der Haltstellung verschlossen werden, um den Zug zu decken. Im Gegensatz zum Signal am Ende des Abschnittes, was beim Verlassen des Abschnittes nur gegen eine fehlerhafte, weiterhin Fahrt zeigende Stellung gesichert werden muss, ist das Signal am Anfang so zu sichern, dass es erst wieder nach dem Eintritt der Grundbedingungen des Folgefahrerschutzes einen Fahrtbegriff zeigen kann, Abb. 10.31.

Durch die praktische Umsetzung der Bedingungen ergibt sich in der Technologie der Sicherung mit Blockinformationen eine gewisse Abfolge. Beispielhaft soll hier die deutsche Ausprägung herangezogen werden.

Nachdem ein Zug in einen Blockabschnitt eingefahren ist, wird zunächst das Signal am Anfang des Abschnittes in die Haltstellung gebracht. Die Haltstellung ist solange nicht sicherheitsrelevant, wie kein anderer Zug in den davor liegenden Abschnitt gelangen kann.

Befindet sich das Signal in der Haltstellung, so kann die nachfolgende Zugfolge über die Besetzung des Blockabschnittes informiert werden. Dieser Vorgang wird Vorblocken genannt. Die Übertragung des Vorblocks ist nicht sicherheitsrelevant. Der gleichzeitig eintretende Verschluss des oder der Signale am Anfang des Blockabschnittes hingegen besitzt Sicherheitsrelevanz. Man spricht auch vom Signalverschluss. Das Signal bzw. die Signale müssen nun so lange in Halt verschlossen bleiben, bis die Bedingungen für eine Fahrtstellung wieder gegeben sind.

Wie bereits erwähnt, liegen die Bedingungen am Ende des Blockabschnittes vor, weshalb die Information über ihr Eintreten übertragen werden muss. Die Übertragung wird durch den Rückblock realisiert. Dieser ist in höchstem Maße sicherheitsrelevant; gibt er doch den Abschnitt für eine weitere Zugfahrt frei.

Für die Zulassung einer folgenden Fahrt sind drei Grundbedingungen zu erfüllen:

1. Blockabschnitt frei
2. Schutzabschnitt hinter dem Signal am Ende des Blockabschnitts frei (nicht in CH)
3. Vorausfahrender Zug durch Signal gedeckt

10.4.3.3 Gegenfahrerschutz

Für den Gegenfahrerschutz ist zu gewährleisten, dass zwei Züge nicht im gleichen Abschnitt aufeinander zufahren können. Einerseits könnte eine Zugfahrt zugelassen werden, während sich bereits eine andere in entgegengesetzter Richtung im Abschnitt befindet. Andererseits könnte aber auch nur die Möglichkeit bestehen, dass eine Zugfahrt in Gegenrichtung zugelassen werden kann.

Die Vereinbarung über die aktuelle Richtung der Befahrung wird „Erlaubnis“ (CH: Fahrrichtung) genannt. Dass sich kein Zug auf der Strecke befindet, wird dadurch erzwungen, dass der Wechsel der Erlaubnis nur bei freier Strecke stattfinden kann. Hierfür muss abgeprüft werden, ob sich ein Zug auf der Strecke befindet.

Um nicht bei einer möglichen Gegeneinfahrt in den Abschnitt eine Fahrt zuzulassen, muss gewährleistet werden, dass im Moment des Erlaubniswechsels alle auf die Strecke weisenden Signale der begrenzenden Zugmeldestellen verschlossen sind.

Darüber hinaus besteht noch eine nicht sicherheitsrelevante, aber Behinderungen vermeidende Aufgabe. Zwar könnten auf einem Gleis zwei Züge aufeinander zufahren, solange sie sich in eigenen Blockabschnitten befinden. Allerdings würden sie sich dann an einer Blockstelle gegenüberstehen und damit eine Betriebsbehinderung („Deadlock“) ausgelöst haben.

Die letzte, nicht sicherheitsrelevante Aufgabe zeigt, dass eine Vereinbarung über die Richtung, in der die Strecke befahren werden darf, nur zwischen benachbarten Zugmeldestellen sinnvoll ist.

Zur Gewährleistung des Gegenfahrerschutzes sind zwei Grundbedingungen zu erfüllen:

1. Es befindet sich kein Zug auf der Strecke.
2. Alle auf die Strecke weisenden Signale sind verschlossen.

Bei der bisherigen Beschreibung wurde immer von einer platzierten Erlaubnis ausgegangen. Dabei befindet sich die Erlaubnis immer an der Zugmeldestelle, die Züge ablassen kann; deren Ausfahrtsignale sind also nicht durch die Erlaubnis verschlossen. Beim Wechsel der Erlaubnis kann unterschieden werden zwischen dem Abgeben und dem Holen der Erlaubnis. In der deutschen und österreichischen Sicherungslogik ist das Abgeben der Erlaubnis üblich, in der Schweiz wird die Erlaubnis geholt (CH: „Fahr-richtung anfordern“).

Es gibt aber auch Verfahren mit neutraler Erlaubnis. Dabei hat in Grundstellung keine Zugmeldestelle die Erlaubnis („neutrale Stellung“), es sind also alle Ausfahrtsignale in Halt verschlossen. Um eine Fahrt durchführen zu können, muss sich eine Stelle die Erlaubnis „nehmen“, sofern die Bedingungen erfüllt sind. Nach einer Fahrt geht die Erlaubnis wieder in die neutrale Stellung.

10.4.3.4 Einbeziehung beweglicher Fahrwegelemente

In den meisten Fällen befinden sich auf der freien Strecke keine beweglichen Fahrwegelemente.

In einigen Fällen ist das jedoch möglich (z. B. Ausweichanschlussstelle, Bahnübergang). Dann müssen diese Elemente gesichert werden, bevor das Signal am Anfang des Blockabschnittes die Fahrtstellung einnehmen kann. Stellbare Fahrwegelemente können durch Verknüpfungen mit der Blocklogik in die Sicherung mit Blockinformationen integriert werden.

10.5 Techniken zur Fahrwegsicherung

Die Fahrwegsicherung mit Fahrstraßen oder Blockinformation verlangt nach konkreten Techniken, in denen diese Technologien umgesetzt werden. Die im Laufe der Eisenbahngeschichte entwickelten Techniken sind auch immer eine Manifestation der zum Entwicklungszeitpunkt vorhandenen technischen Möglichkeiten. Einerseits betrifft das die Mittel zur technischen Informationsverarbeitung; des Weiteren hatten die technischen Voraussetzungen (insbesondere die Möglichkeiten zur Gleisfreiprüfung) unmittelbaren Einfluss auf die Herausbildung der unterschiedlichen Technologien zur Fahrwegsicherung (siehe auch 10.4.1.1). Da Stellwerke sehr langlebig sind, sind neben den modernen Bauformen auch heute noch mechanische und elektro-mechanische Exemplare im Einsatz. Neubauten werden jedoch fast ausschließlich durch elektronische Stellwerke realisiert.

10.5.1 Differenzierung zwischen Leit- und Sicherungstechnik

Sicherungstechnische Anlagen sind von zwei grundlegenden Merkmalen geprägt, die die Begründung dafür liefern, dass heute noch so viele Altstellwerke in Betrieb sind.

Funktionalität: Durch die Spurführung der Eisenbahn sind die Fahrmöglichkeiten auf diskrete Alternativen begrenzt – im Gegensatz z. B. zum Flugwesen, bei dem der Kurs stetig innerhalb von drei Dimensionen berechnet werden muss. Deshalb kann der Bahnbetrieb mit einer

vergleichsweise einfachen Logik gesteuert werden. Die Anforderungen an die Logik haben sich im Laufe der Entwicklung der Eisenbahn kaum geändert, da sich der zu steuernde Prozess – die Sicherung von Zug- und Rangierfahrten – im Grundsatz nicht geändert hat. Lediglich die Sicherheit oder die Leistungsfähigkeit steigernde Anforderungen sind im Laufe der Zeit hinzugekommen.

Sicherheit: Die Forderung nach dem Fail-Safe⁴-Charakter relativiert die Aussagen zur geringen Komplexität der Informationsverarbeitung nur wenig. Sie bedeutet aber, dass spezielle, „sichere“ Komponenten und Systeme eingesetzt werden müssen, deren Herstellung aufwendig und deshalb kostenintensiv ist.

Da ältere Techniken die Anforderungen der Funktionalität nach wie vor beherrschen und moderne Technik aufgrund der hohen Sicherheitsanforderungen sehr teuer und der Umbau sehr aufwendig ist, wird die Mehrheit der Stellwerkeinheiten noch durch mechanische, elektromechanische und Relaisstellwerke gesteuert und gesichert.

Leittechnische Anlagen, wie z. B. eine Zuglenkung (siehe 10.6.3), benötigen hingegen eine sehr viel komplexere Informationsverarbeitung. Deshalb kommen hier fast ausschließlich elektronische Systeme zum Einsatz, weil nur diese die Komplexität beherrschen. Die Forderung nach einem Fail-Safe-Charakter besteht i. d. R. nicht. Aus den genannten Gründen ähneln Anlagen der Leittechnik eher den heute allgemein bekannten Anlagen der Automatisierungstechnik. Aus Prozessgründen werden aber auch an die Leittechnik hohe Anforderungen an die Verfügbarkeit gestellt.

10.5.2 Klassifizierung der Techniken

10.5.2.1 Hebelstellwerk

Im 19. Jahrhundert stand nur die Mechanik zur technischen Informationsverarbeitung zur Ver-

fügung. Deshalb wurden zunächst rein mechanische Stellwerke entwickelt, die später mit elektrischen Zusatzeinrichtungen verbessert wurden. Mit Anwendungsreife der Leistungselektrotechnik wurden elektromechanische Stellwerke entwickelt, die zunächst „elektrisches Stellwerk“ genannt wurden, was sich jedoch vorrangig auf die Energieübertragung zum Element bezog.

Namensgebend für Hebelstellwerke ist, dass für jedes Element (z. B. Weiche, Signal) ein Bedienelement existiert, was unabhängig von der Platzierung in der Außenanlage in einer oder mehreren Reihen angeordnet ist. Während die Bezeichnung „Hebel“ bei mechanischen Stellwerken offensichtlich ist, werden die hauptsächlichlichen Bedienelemente im elektromechanischen Stellwerk (Drehknaufe) ebenfalls „Hebel“ genannt.

Den genannten Stellwerksgenerationen ist gemein, dass sie i. d. R. ohne technische Gleisfreimeldung arbeiten, was für die Gestaltung dieser Stellwerke und für deren Bedienung besondere Folgen hat: Sie müssen derart geschaffen sein, dass vom Bedienraum aus die visuelle Gleisfreimeldung vorgenommen werden kann. Das führt auf Bahnhöfen i. d. R. dazu, dass mehrere Stellwerke eingerichtet werden, die zusammenarbeiten müssen.

10.5.2.2 Gleisbildstellwerk

Ab Mitte des 20. Jahrhunderts standen Relaisstellwerke zur Verfügung, bei denen die Informationsverarbeitung ausschließlich elektrisch über Relais erfolgt. Hierdurch konnte auch ein höherer Automatisierungsgrad erreicht werden. Etwa 30 Jahre später wurden elektronische Stellwerke (ESTW) entwickelt, deren Informationsverarbeitung auf Mikrorechnern basiert. Die Funktionalität wurde von den Relaisstellwerken übernommen.

Die namensgebende Eigenschaft von Gleisbildstellwerken besteht darin, dass die Bedienelemente in einer topologischen Anordnung („Gleisbild“) zueinander stehen, die der Anordnung in der Außenanlage entspricht. Dadurch wird eine bessere Übersichtlichkeit erreicht. Die Bezeichnung Gleisbildstellwerk darf nicht

⁴Fail-Safe: Eigenschaft eines Systems, im Fall eines Fehlers zur sicheren Seite auszufallen.

mit der Bezeichnung der Relaisstellwerke der Deutschen Reichsbahn verwechselt werden. Hier stand der Begriff Gleisbildstellwerk synonym für Relaisstellwerk.

Gleisbildstellwerke besitzen i. d. R. eine Gleisfreimeldeanlage. Damit ist die Voraussetzung geschaffen, dass der Bediener nicht unbedingt direkte Sicht auf seinen gesteuerten Bereich haben muss. Dennoch wurden die Bedienräume zunächst so angeordnet, dass ein Großteil der Anlagen einsehbar ist. Mit steigender Zentralisierung in der Bedienung und damit einhergehender Fernsteuerung ist das jedoch nicht mehr möglich.

Während im Gleisbildstellwerk die Fahrstraßenbildezeit aufgrund höherer Automatisierung kurz ist (einige Sekunden), muss im Hebelstellwerk jedes Element einzeln bedient werden. Auch die notwendige Zusammenarbeit mehrerer Hebelstellwerke auf einem Bahnhof erhöht den Zeitbedarf, der etwa dem Zehnfachen des Bedarfs der Gleisbildstellwerke beträgt. Der Komplexitätsgrad der Technik von Gleisbildstellwerken ist höher als der von Hebelstellwerken. Dadurch sind aber auch erst Automatisierungen möglich und die Komplexität der Bedienung sinkt.

10.5.2.3 Sicherung ortsbedienter Fahrwegelemente

In sehr schwach belasteten Anlagen ist eine zentrale Bedienung der Elemente nicht notwendig. Hier kann die Elementstellung, im Wesentlichen das Stellen von Weichen, an den Elementen vor Ort durchgeführt werden. Dazu werden die mechanische und die elektrische Ortsbedienung verwendet. Weiterhin werden Handverschlüsse genutzt, die benötigt werden, um ortsgestellte Weichen über Schlüsselabhängigkeiten in die Signalabhängigkeit einzubeziehen. Wird über diese Weichen lediglich rangiert und werden sie auch nicht für Flankenschutzaufgaben benötigt, so können sie auch völlig ohne Abhängigkeit bleiben.

10.5.2.4 Streckenblock mit Blockinformation

Klassische Streckenblockanlagen bedienen sich der Sicherung mit Blockinformationen. Die Übertragung der Blockinformation geschieht dabei meist mit niederfrequentem Wechsel-

strom, der durch Schrittschaltwerke ausgewertet wird. Daneben gibt es elektronische Systeme, bei denen die Information durch einen Frequenzcode übermittelt wird. In der Schweiz sind vornehmlich Systeme mit Gleichstrom im Einsatz.

Grundsätzlich ist – ähnlich wie bei Hebel- und Gleisbildstellwerken – zu unterscheiden, ob die Gleisfreimeldung nichttechnisch oder technisch geschieht. Ist eine technische Freimeldung vorhanden, so kann der Folgefahrerschutz vollautomatisch gewährleistet werden. Ist sie nicht vorhanden, ist die Mitwirkung des Bedieners zur Zugschlussprüfung notwendig, was Personal auf allen Zugfolgestellen erfordert.

10.5.2.5 Streckenblock mit Fahrstraße

Wie in 10.4.1 beschrieben, haben sich die unterschiedlichen Technologien Fahrstraße und Blockinformation aufgrund der nichttechnischen Gleisfreimeldung entwickelt. Mit der Einführung einer technischen Gleisfreimeldung auch auf längeren Abschnitten war die Notwendigkeit einer abweichenden Technologie (Blockinformation) auf der Strecke mit allen daraus folgenden Unterschieden gegenüber der Fahrstraße für die betriebliche Handhabung eigentlich entfallen. Dennoch wurde zunächst an der Sicherung mit Blockinformationen festgehalten, vor allem, um die Kompatibilität zu benachbarten Betriebsstellen und zum Regelwerk zu bewahren.

Erst später wurden Blocktechniken entwickelt, die auf der Technologie der Fahrstraße basieren. Im Gegensatz zu den Techniken, die mit Blockinformation arbeiten und bei denen die Blocklogik an jeder Zugfolgestelle angeordnet ist, wird hier die Sicherungslogik zentral angeordnet. Deshalb werden solche Blockbauformen auch „Zentralblock“ genannt.

10.5.3 Mechanisches Stellwerk

Schon in den Anfangszeiten der Eisenbahnen wurde erkannt, dass für ein zeitgerechtes Einstellen der Fahrwege eine Zentralisierung der Bedienung von Vorteil ist. Diese Zentralisierung schuf gleichzeitig die Voraussetzungen, die Bedienelemente und damit die Weichen und Signale unter-

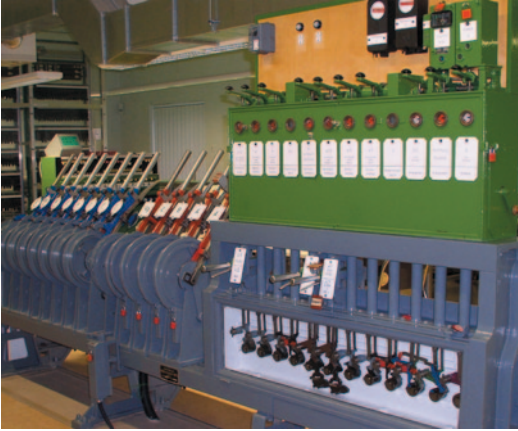


Abb. 10.32 Mechanisches Stellwerk

einander in Abhängigkeit zu bringen (Signalabhängigkeit). Zur Verarbeitung der Informationen stand nur die Mechanik zur Verfügung, was zur Konstruktion mechanischer Stellwerke führte, bei denen die Verknüpfung der Elemente durch mechanische Verschlüsse realisiert wird.

Die Kraft zum Stellen der Elemente wird dabei durch Muskelkraft des Menschen aufgebracht, die Übertragung zu den Elementen erfolgt durch Gestänge oder Drahtzugleitungen. Wegen der mechanischen Informationsübertragung sind die Stellentfernungen für Weichen auf wenige hundert Meter begrenzt. Für Signale lässt sich etwa die doppelte Stellentfernung realisieren.

In der Regel haben mechanische Stellwerke keine Gleisfreimeldeanlagen; die Freimeldung erfolgt visuell durch den Menschen, was eine entscheidende Sicherheitslücke darstellt.

Aufgrund der begrenzten Stellentfernungen und der geforderten Übersicht werden in Bahnhöfen meist mehrere solcher Stellwerke benötigt. Abhängigkeiten der Stellwerke untereinander lassen sich elektrisch herstellen und werden als Bahnhofsblockanlagen bezeichnet.

Mechanische Stellwerke sind noch heute in nennenswerter Anzahl im Einsatz, Abb. 10.32. Aufgrund des hohen Instandhaltungsaufwands und des aus den kleinen Stellbereichen resultierenden hohen Personalbedarfs verursachen sie hohe Betriebskosten.

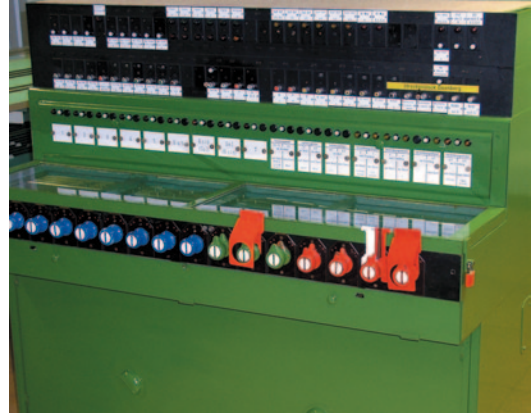


Abb. 10.33 Elektromechanisches Stellwerk

10.5.4 Elektromechanisches Stellwerk

Elektromechanische Stellwerke unterscheiden sich von mechanischen Stellwerken dadurch, dass der Antrieb und die Überwachung der Elemente sowie die Realisierung eines Teils der Abhängigkeiten elektrisch geschehen, Abb. 10.33. Damit steigt zwar die realisierbare Stellentfernung, die Bereiche der Stellwerke müssen sich dennoch an der Übersicht orientieren, da auch hier regulär noch keine technische Gleisfreimeldung vorgesehen ist. Auch elektromechanische Stellwerke sind noch in nennenswertem Umfang im Einsatz.

10.5.5 Relaisstellwerk

In Relaisstellwerken werden alle Abhängigkeiten elektrisch über Relais hergestellt. Zur Gewährleistung der Sicherheit sind besondere Relais, die Signalrelais (CH: Sicherheitsrelais), in Verbindung mit einer speziellen Schaltungsgestaltung notwendig.

Durch die nun mögliche Trennung von Bedienung und Informationsverarbeitung muss sich die Anordnung der Bedienelemente (hier: Tasten) nicht mehr nach der dahinter stehenden Technik richten. Somit werden die Bedienelemente in einer für den Bediener leicht erfassbaren Anordnung verwendet, die der Topologie des Gleisnetzes entspricht. Die Art der Bedienung prägte

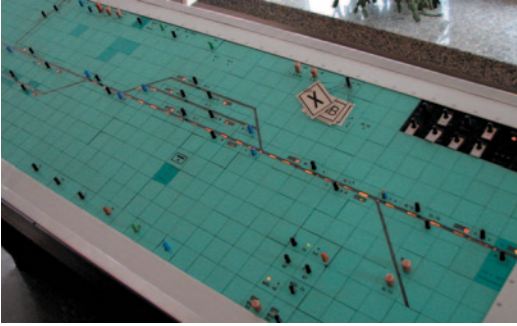


Abb. 10.34 Bedienplatz eines Relaisstellwerks

auch die ursprüngliche Bezeichnung „Gleisbildstellwerk“ bzw. „Drucktastenstellwerk“, s. Abb. 10.34.

Technische Gleisfreimeldung ist Standard im Relaisstellwerk, was ein entscheidender Sicherheitsvorteil gegenüber den Hebelstellwerken ist. Aufgrund der technischen Freimeldung ist eine Übersicht über die Gleise nicht mehr notwendig. Deshalb und weil die maximale Stellentfernung durch die elektrische Ansteuerung mehrere Kilometer (typisch: 6,5 km) beträgt, wird auch in großen Bahnhöfen i. d. R. nur ein Stellwerk errichtet. Außerdem eröffnet sich die Möglichkeit der Fernsteuerung, so dass Stellwerke unbesetzt bleiben und von einer übergeordneten Zentrale gesteuert werden können.

Relaisstellwerke realisieren momentan noch den größten Anteil der Steuerung und Sicherung des Eisenbahnbetriebes.

10.5.6 Elektronisches Stellwerk (ESTW)

Elektronische Stellwerke entsprechen in ihrem Funktionsumfang im Wesentlichen dem von Relaisstellwerken. Durch Vernetzung von Rechnern mittels Bussystem jedoch setzt die Stellentfernung elektrischer Elemente der Außenanlage keine Grenze mehr hinsichtlich der örtlichen Ausdehnung eines Stellwerksbereiches. Dies hat eine erheblich höhere Zentralisierung der Sicherung und Steuerung zur Folge, s. Abb. 10.35.



Abb. 10.35 Bedienplatz eines ESTW

In Elektronischen Stellwerken werden die sicherungstechnischen Verknüpfungen durch Mikrorechner mit entsprechender Software realisiert. Dabei sind besondere Maßnahmen zur Gestaltung der Hard- und Software erforderlich, um Ausfälle der Technik nicht gefährlich wirken zu lassen. Aber auch besondere Maßnahmen zur Gewährleistung der Verfügbarkeit sind notwendig, da technische Ausfälle wegen der großen Stellbereiche erheblich größere betriebliche Behinderungen zur Folge haben können als in früheren Stellwerksbauformen.

Elektronische Stellwerke verdrängen mehr und mehr die älteren Stellwerksbauformen. Die Fernsteuerung elektronischer Stellwerke wird heute oft angewendet. Dabei wird die Bedienung mehrerer Stellwerke in Zentralen (DB: Betriebszentrale, SBB: Betriebssteuerzentrale) zusammengefasst. Da sich die Bedienbereiche in elektronischen Stellwerken flexibel den Bedienern zuordnen lassen, kann der Aufwand an Bedienpersonal der betrieblichen Belastung angepasst werden, was einen wirtschaftlichen Vorteil darstellt.

10.6 Leittechnik

10.6.1 Aufgaben der Leittechnik

Erst durch die Verfügbarkeit von Techniken zur komplexen Informationsverarbeitung konnte sich die Leittechnik entwickeln. Bei deren Einsatz gehen bestimmte Aufgaben zur Disposition vom Menschen auf die Technik über.

Tab. 10.2 Ebenen der Betriebsführung von Bahnen

| Ebene | Anwendung | Zeithorizont | Beteiligte | Technik |
|-------------------|----------------------------------|---------------|----------------------|-------------------------|
| Strategieebene | Netzausbau, Langfristfahrplan | Langfristig | Infrastrukturplaner | Bürokommunikation |
| Planungsebene | Fahrplan | Mittelfristig | Fahrplankonstrukteur | |
| Betriebsleitebene | Disposition | Kurzfristig | Disponent, Zuglenker | Dispositive Leittechnik |
| Steuerungsebene | Fahrdienstleitung | Kurzfristig | Fahrdienstleiter | Operative Leittechnik |
| | Stellwerksinnenanlagen | – | – | Sicherungstechnik |
| Feldebene | Stellwerksaußenanlagen | – | – | |

Die Leittechnik kann nach operativer und dispositiver Leittechnik unterschieden werden. Ein typischer Anwendungsfall für die operative Leittechnik ist die Bedienung elektronischer Stellwerke. Hierbei bekommt die Leittechnik in ausgewählten Fällen (z. B. bei Hilfsbedienungen) auch Sicherheitsrelevanz. Im Wesentlichen werden mit der Leittechnik folgende Ziele verfolgt:

- Gewinnung der Übersicht über die Betriebslage in einem Bereich, dessen Größe sich nach der Dispositionsaufgabe richtet,
- Optimierung der Nutzung von Fahrwegressourcen,
- Entlastung des Bedieners von Routinehandlungen.

Tabelle 10.2 zeigt die Ebenen der Prozessautomatisierung angewandt auf die Steuerung von Schienenverkehrsinfrastruktur. In der langfristigen (bis 20 Jahre) wirkenden Strategieebene werden mit dem Netzausbau die Möglichkeiten des Fahrplans festgelegt. Mit der bestehenden Infrastruktur erstellt der Fahrplankonstrukteur in der Planungsebene den Jahresfahrplan sowie auch Fahrpläne für kurzfristig bestellte Züge. Aus allen Fahrplandaten wird der jeweils gültige Tagesfahrplan erstellt. Dessen Betriebsprogramm wird in der Betriebsleitebene überwacht. Bei Abweichungen z. B. durch Verspätungen muss der Disponent eingreifen, um den planmäßigen Zustand wieder herzustellen.

In der Steuerungsebene agiert der Fahrdienstleiter, der das Stellwerk bedient und eng mit der Betriebsleitebene zusammenarbeitet. Zur Steuerungsebene gehört außerdem das Stellwerk mit seiner Logik (Stellwerksinnenanlagen). Dieses steuert die Elemente wie Weichen und Signale (Stellwerksaußenanlagen) in der Feldebene.

10.6.2 Zugnummernmeldung (ZN)

Eine wichtige Voraussetzung zur Disposition ist die Kenntnis der Zugstandorte. Die Zuglaufverfolgung erfolgte früher ausschließlich durch fernmündliche Meldungen des Personals. Heute wird sie i. d. R. technisch realisiert, was auf verschiedenen Wegen durchgeführt werden kann:

1. Eingabe der Zugnummer und Weiterschaltung dieser nach Information aus der Sicherungstechnik
2. Erkennung der Fahrzeuge in der Infrastruktur durch Kennungsgeber (z. B. Transponder)
3. Selbststörung des Fahrzeugs und Übertragung der Information an eine Zentrale.

Bei Eisenbahnen wird hauptsächlich die erste Variante angewendet. Die zweite Variante wenden oft Stadtbahnen an. Hierfür besteht die Notwendigkeit einer einheitlichen Ausrüstung der Fahrzeuge mit einem Kennungsgeber, was bei überschaubaren Fahrzeugflotten durchführbar ist. Die dritte Variante kommt ohne Investitionen in die Infrastruktur aus, weshalb sie gern von Eisenbahnverkehrsunternehmen verwendet wird, die auf verschiedenen Eisenbahninfrastrukturen verkehren. Typischerweise sind solche Systeme auch bei Straßenbahnen und Linienbussen im Einsatz.

Technisch wird die Zuglaufverfolgung durch Zugnummernmeldeanlagen (ZN-Anlagen) realisiert. Durch sie wird nicht nur das fernmündliche Zugmeldeverfahren ersetzt, sondern auch eine übersichtliche Darstellung der Zugstandorte in einem Gleisbild möglich (Abb. 10.36).

Die heute bei Eisenbahnen übliche Art der Zugnummernmeldung besteht in der infrastrukturbasierten Weiterschaltung der Zugnummer nach Variante 1. Dazu muss zunächst bei Beginn des Zuges die Zugnummer in das System einge-

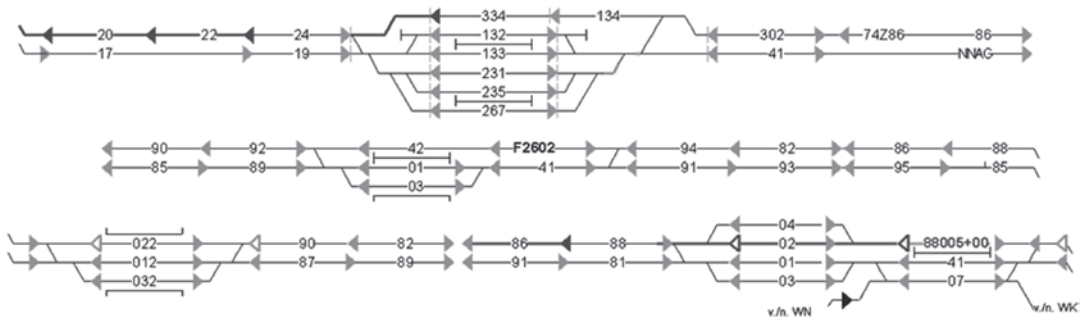


Abb. 10.36 Ausschnitt aus einem Übersichtsbild mit Zugnummern (zwei- und dreistellige Zahlen sind Gleisnummern)

geben werden. Für die Weiterschaltung der Zugnummer bei Fahrt des Zuges wird die Lage der Weichen ausgewertet. Somit kann auch in alten Stellwerksbauformen eine ZN-Anlage installiert werden. Die Fortschaltung der Zugnummer wird i. d. R. durch den Signalhaltfall ausgelöst; es sind jedoch auch andere Auslöser möglich.

10.6.3 Zuglenkung (ZL)

Mit den Gleisbildstellwerken (siehe 10.5.2.2) war die Automatisierung der Stellwerksbedienun- gung so weit vorangeschritten, dass eine Fahrstraße i. d. R. durch nur eine Bedienhandlung eingestellt werden konnte. Für eine weitergehende Automatisierung ist die automatische Einstellung von Fahrstraßen notwendig. Hierzu dient die Zuglenkung, die aus der Kenntnis des sich nähernden Zuges die Einstellung von Fahrstraßen automatisch anstößt. Für diese Kenntnis ist die technische Erfassung der Zugstandorte Voraussetzung, was über die ZN geschieht.

Durch die Zuglenkung wird der Bediener von Routinetätigkeiten entlastet und ein zeitgerechtes Einstellen der Fahrstraße – sofern die Voraussetzungen dafür vorliegen – erreicht. Bei Abweichungen vom Fahrplan muss der Bediener jedoch eingreifen. Außerdem dürfen nicht alle Züge zuggelenkt fahren, wie z. B. Züge mit außergewöhnlichen Sendungen.

Zuglenkungen können nach zwei Prinzipien arbeiten: mit Lenkziffer oder mit Lenkplan. Bei der Zuglenkung mit Lenkziffer wird jede Zugnummer in der ZN-Anlage um mindestens eine

Lenkziffer ergänzt, die einen Laufweg beschreibt. Damit können aber nur grundsätzliche Entscheidungen an Streckenverzweigungen automatisiert werden. Geeignet ist diese Form vor allem für stark linienorientierte Bahnen mit homogenen Geschwindigkeiten wie U- oder S-Bahnen. Bei weniger stark linienorientierten Bahnen mit inhomogenen Geschwindigkeiten, wie es die Eisenbahn üblicherweise ist, sind Lenkziffern nicht mehr praktikabel. Deshalb wird hier ein Lenkplan erstellt, der für jede Zugnummer das zu benutzende Gleis vorsieht.

10.6.4 Fernsteuerung von Stellwerken

Im Hebelstellwerk (siehe 10.5.2.1) muss sich der Bediener immer am Stellwerk befinden, um Bedienhandlungen ausführen zu können. Das ist der Technik geschuldet und der Tatsache, dass i. d. R. keine technische Gleisfreimeldung vorhanden ist. Diese Restriktionen gelten im Gleisbildstellwerk nicht mehr, so dass eine Fernsteuerung möglich ist. Die meisten Bauformen von Gleisbildstellwerken sind technisch in der Lage, ferngesteuert zu werden.

An Bedienplätzen von ESTW besteht immer eine serielle Schnittstelle zwischen Bedienplatz und Stellwerk. Im Relaisstellwerk ist die klassische Schnittstelle zwischen Bedienung (Bedienpult) und Informationsverarbeitung (Relaisschaltung) parallel ausgeführt. Mittels einer Fernsteueranlage kann diese parallele in eine serielle Schnittstelle gewandelt werden, so dass damit Informationen über große Entfernungen übertragen

Tab. 10.3 Deutsches Bezeichnungsschema der Haupt- und Vorsignale

| | In km-Richtung | Entgegen km-Richtung |
|----------------|--|-----------------------|
| Einfahrtsignal | A, B, C, D, E | F, G, H, J, K |
| Ausfahrtsignal | N + Gleisnr. | P + Gleisnr. |
| Zwischensignal | ZR, ZS, ZT + Gleisnr. | ZU, ZV, ZW + Gleisnr. |
| Vorsignal | V + Buchstabe des Hauptsignals (klein) | |

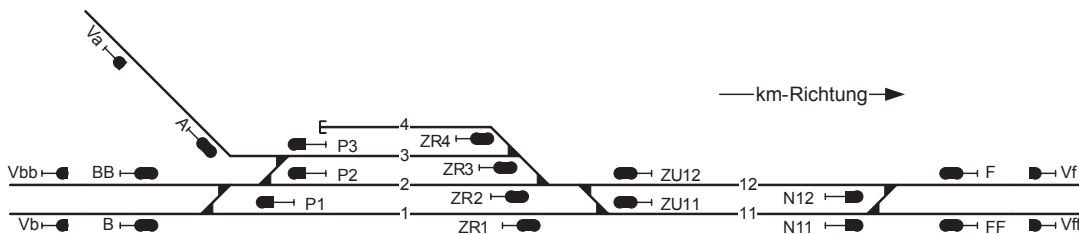


Abb. 10.37 Beispiel für die Bezeichnung von Vor- und Hauptsignalen

werden können. Eine Mischform ergibt sich bei Relaisstellwerken, die nicht mehr mit einem Pult, sondern von einem elektronischen Bedienplatz bedient werden; hier ist nur eine Umsetzung an der Relaisanlage notwendig.

Die Übertragung der Bedien- und Meldedaten ist teilweise sicherheitsrelevant. Hierzu sind gesonderte Verfahren notwendig, um die Integrität (Richtigkeit) und Authentizität (Echtheit) der übertragenen Daten zu wahren.

10.6.5 Zentralen zur Betriebsführung

Die Zentralisierung der Betriebsführung findet ihren vorläufigen Höhepunkt in den Zentralen zur Betriebsführung (Betriebszentrale/Betriebsleitzentrale/Betriebssteuerzentrale). Ziel der Zentralen ist es, sowohl die infrastrukturelle als auch die verkehrliche Betriebsführung zu konzentrieren. Aufgrund deutscher wettbewerbsrechtlicher Vorgaben müssen jedoch Eisenbahninfrastrukturunternehmen (EIU) und Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) räumlich getrennt voneinander arbeiten; andernorts wird das teilweise anders gehandhabt.

10.7 Anordnung ortsfester Signale

10.7.1 Bezeichnung der Vor- und Hauptsignale

10.7.1.1 Deutsches System

Zur Bezeichnung der Vor- und Hauptsignale wurde ein einheitliches Bezeichnungsschema eingeführt, aus dem auch die betriebliche Funktion hervorgeht. Tabelle 10.3 zeigt die wichtigsten Bezeichnungen. Bei der Bezeichnung wird unterschieden, ob die Signale in Richtung oder in Gegenrichtung der Kilometrierung einer Strecke stehen. Bei Einfahrtsignalen besteht ein Wertevorrat für fünf Strecken je Richtung. Bei zweigleisigen Strecken bekommt das Einfahrtsignal am Gegengleis den doppelten Buchstaben. Ausfahr- und Zwischensignale bekommen einen oder zwei Buchstaben zusammen mit der Gleisnummer. Vorsignale werden mit einem „V“ und dem Kleinbuchstaben des Hauptsignals bezeichnet (Abb. 10.37).

10.7.1.2 Österreichisches System

Die Bezeichnungen für Haupt- und Vorsignale in Österreich werden ähnlich wie in Deutschland vergeben. Auch hier sind für bestimmte Funktio-

Tab. 10.4 Österreichisches Bezeichnungsschema der Haupt- und Vorsignale

| | In Richtung | |
|----------------|---|--------------------------|
| | Endpunkt der Strecke | Anfangspunkt der Strecke |
| Einfahrtsignal | A, B, C, D | Z, Y, X, W |
| Ausfahrtsignal | R + Gleisnr. | H + Gleisnr. |
| Zwischensignal | E, F, G, K, L, M, N, O, P, S, T, U + Gleisnr. | |
| Vorsignal | Bezeichnung des Hauptsignals (Kleinbuchstabe) | |

nen Buchstaben vorgesehen, die bei Ausfahr- und Zwischensignalen mit der Gleisnummer ergänzt werden. Die Bezeichnung von Vorsignalen entspricht der des zugehörigen Hauptsignals mit dem Unterschied, dass jeweils der Kleinbuchstabe verwendet wird (Tab. 10.4).

10.7.1.3 Schweizer System

In der Schweiz werden Haupt- und Vorsignale ebenfalls mit einem Buchstaben und einer Zahl, die aus der Gleisnummer abzuleiten ist, bezeichnet, jedoch kann hier aus der Bezeichnung nicht auf die betriebliche Funktion geschlossen werden.

Für eine Signalstaffel (mehrere Signale in etwa gleicher Höhe) von Hauptsignalen wird ein Großbuchstabe vergeben, der durch die jeweilige Gleisnummer ergänzt wird. In Richtung der Kilometrierung wird mit dem Buchstaben A begonnen und entsprechend dem Alphabet fortgesetzt. In Lageplänen ist es üblich, die Signalbezeichnungen mit den möglichen Fahr Begriffen zu ergänzen.

Vorsignale werden mit demselben Buchstaben wie das zugehörige Hauptsignal bezeichnet; die Nummer resultiert jedoch aus der Nummer des Gleises, an dem das Vorsignal steht. Die Nummer wird nach unten, zur Kennzeichnung der Vorsignalfunktion wird ein Stern * nach oben abgesetzt angetragen.

10.7.2 Standort quer zum Gleis

Selbstverständlich müssen alle Bestandteile von Signalen außerhalb des Lichtraumes aufgestellt werden (Details siehe Kap. 6). Außerdem müssen die Signale für den Triebfahrzeugführer eindeutig seinem Gleis zuordenbar sein.

In der Regel werden Signale immer rechts (CH: links) vom Gleis aufgestellt. Zur Aufstellung von Signalen zwischen Gleisen ist jedoch ein ausreichender Gleisabstand notwendig (D: 4,50 m zwischen Gleisen ohne Überhöhung und einem Bogenradius ≥ 250 m). Kann der Mindestabstand nicht hergestellt werden, so werden Signalbrücken oder -ausleger eingesetzt.

Auf zweigleisigen Strecken, außerhalb der Bahnhöfe, werden am Gegengleis (D, A: links; CH: rechts) die Signale links (CH: rechts) vom Gleis aufgestellt. Somit wird auf zweigleisigen Strecken eine Aufstellung von Signalen zwischen den Gleisen vermieden. Zum einen kann dadurch ein geringerer Gleisabstand gewählt werden (z. B. 4,0 m), zum anderen gestaltet sich die Instandhaltung sowohl des Oberbaus als auch der Signale einfacher.

Aufgrund örtlicher Besonderheiten kann von den Regeln abgewichen werden. Wichtig ist in jedem Fall, dass die Zuordnung von Gleis und Signal eindeutig ist.

10.7.3 Standort längs zum Gleis

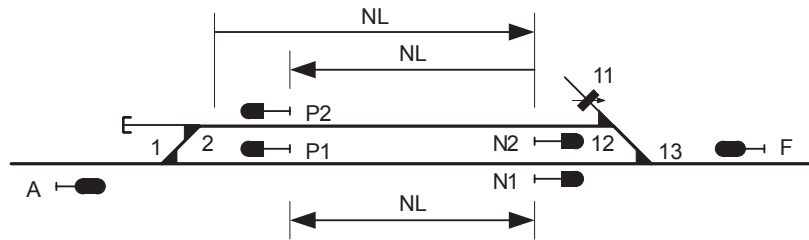
10.7.3.1 Durchrutschweg

Die Anordnung von Hauptsignalen erfolgt mindestens im Abstand des Durchrutschweges (A: Schutzweg) vom festgelegten Punkt (markanter Punkt bzw. Gefahrenpunkt). Aus betrieblicher Sicht ist zu beachten, dass die Elemente des Durchrutschweges während seiner Sicherung nicht für andere Fahrten zur Verfügung stehen.

10.7.3.2 Nutzbare Gleislänge

Einen wesentlichen Einfluss auf den Standort der Hauptsignale hat die betrieblich geforderte Gleisnutzlänge. Diese bemisst sich allgemein aus dem

Abb. 10.38 Beispiel für die Bemessung der Gleisnutzlänge



Tab. 10.5 Sollsichtbarkeit von Haupt- und Mehrabschnittssignalen (D)

| Geschwindigkeit [km/h] | Sichtweite [m] |
|------------------------|----------------|
| $120 < v \leq 160$ | 500 |
| $100 < v \leq 120$ | 400 |
| $0 < v \leq 100$ | 300 |

Abstand zwischen dem Zielsignal und der Fahrstraßenzugschlussstelle.

Wo die Freimeldung des Flankenschutzraumes gefordert (i. d. R. bei Stellwerken mit technischer Gleisfreimeldung) und an der theoretischen Fahrstraßenzugschlussstelle (letzte Weiche) kein Flankenschutz bietendes Element vorhanden ist, stellt diese nicht die Begrenzung der Nutzlänge dar, sondern das nächste Flankenschutz bietende Element.

Abbildung 10.38 verdeutlicht das an einem Beispiel: Fährt ein Zug von A nach Gleis 1 ein, so befindet sich zwar die theoretische Fahrstraßenzugschlussstelle hinter der Weiche 1, dennoch muss der Zug mit seinem Zugschluss bis hinter P1 fahren, da dieses Signal das Flankenschutz bietende Element für Fahrten von und nach Gleis 2 darstellt. Würde ein Teil des Zuges zwischen Weiche 1 und Signal P1 stehen bleiben, so wäre der Flankenschutzraum nicht freigemeldet und eine Fahrstraße von und nach Gleis 2 nicht einstellbar. Für die Fahrten von F nach den Gleisen 1 und 2 verhält es sich ebenso.

Anders verhält es sich, fährt der Zug von A nach Gleis 2 ein. Hier stellt die Fahrstraßenzugschlussstelle an der Spitze von Weiche 2 gleichzeitig die Begrenzung der Nutzlänge dar; denn hier ist mit der Weiche 2 ein Flankenschutz bietendes Element vorhanden, das Fahrten nach Gleis 1 Flankenschutz gibt.

Um in solchen Fällen die Gleisnutzlänge zu verlängern, kommt im Wesentlichen nur die Ver-

schiebung des Ausfahrsignals in Betracht. Wird das Ausfahrsignal in Richtung Bahnhofskopf verschoben, so werden sich jedoch Fahrstraßenausschlüsse ergeben, da der Durchrutschweg nun (weiter) in den Bahnhofskopf hinein reicht. Dem kann zwar durch Verkürzung des Durchrutschweges mit gleichzeitiger Verringerung der Einfahrtsgeschwindigkeit entgegengewirkt werden, beide Maßnahmen bedingen jedoch eine Einschränkung der betrieblichen Leistungsfähigkeit.

Gleichwohl kann auch von vornherein eine größere bauliche Gleislänge vorgesehen werden. Hier gilt es, in frühen Phasen der Planung sehr sorgfältig wirtschaftliche und betriebliche Belange abzuwägen.

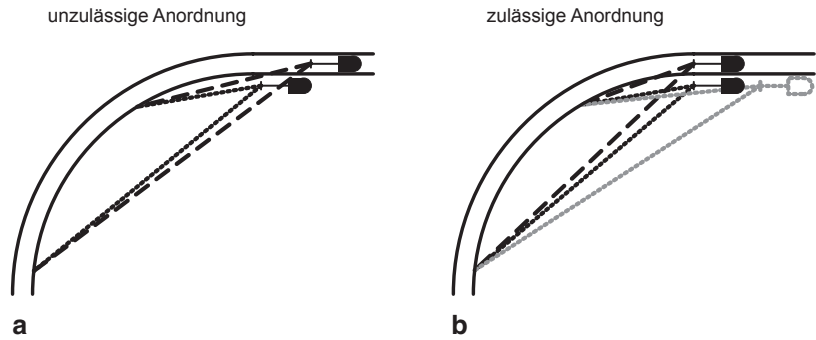
10.7.3.3 Sichtbarkeit

Um den Signalbegriff aufzunehmen, ist dem Triebfahrzeugführer eine ausreichende Zeit, die Signalsichtzeit, einzuräumen. Die Einhaltung dieser Mindestzeit wird durch die Bereitstellung einer Mindestsichtweite realisiert, die sich aus dem Produkt der größten zulässigen Geschwindigkeit und der Signalsichtzeit ergibt. Beide Vorgabearten – Sichtzeit und Sichtweite – sind üblich.

Im Bereich der Mindestsichtbarkeit muss immer der vollständige Signalbegriff sichtbar sein, damit durch partielle Verdeckung (z. B. Hoch- oder Kunstbauten, Bewuchs) kein anderer Signalbegriff vorgetäuscht wird.

Gemäß Ril 819.0202 der Deutschen Bahn ist die Entfernung, ab der ein Haupt- bzw. Mehrabschnittssignal ununterbrochen sichtbar sein muss, abhängig von der maximalen Geschwindigkeit mit der sich ein Zug diesem für ihn gültigen Signal nähern kann. Daraus ergeben sich die in Tab. 10.5 dargestellten, anzustrebenden Sollsichtweiten von Haupt- bzw. Mehrabschnittssignalen.

Abb. 10.39 Unzulässige und zulässige Anordnung von Hauptsignalen an Gleisbögen



Kann die Sollsichtbarkeit nur mit hohem Aufwand (i. d. R. durch Vorsignalwiederholer) erreicht werden, so ist es zulässig, die Sichtweite auf die minimale Sichtbarkeitsdauer von 6,75 s zu verkürzen.

Eine konstante Signalsichtdauer für Haupt- und Vorsignale wird in Österreich mit 9,0 s und der Schweiz mit 7,0 s gefordert.

Kann das Maß der Mindestsichtbarkeit nicht erreicht werden, so sind Vorsignalwiederholer (CH: Wiederholungssignal, A: Signalnachahmer) aufzustellen. Der Standort ist so zu wählen, dass der Vorsignalwiederholer von dem Punkt aus sichtbar ist, von dem auch das zugehörige Hauptsignal aus gesehen werden müsste. Bei Bedarf können auch mehrere Vorsignalwiederholer aufgestellt werden.

10.7.3.4 Anordnung zusammenstehender Signale

Der Standort längs zum Gleis trägt auch zu einer eindeutigen Zuordnung des Signals zum Gleis bei. Vor allem bei Gleisbögen muss darauf geachtet werden, dass sich aus der Perspektive des Triebfahrzeugführers immer die gleiche Anordnung der Signale darstellt. Abb. 10.39a) zeigt eine unzulässige Anordnung. Hier ergibt sich während der Fahrt auf einem Gleis an unterschiedlichen Orten eine unterschiedliche Reihenfolge der Signale. Bei der Anordnung nach Abb. 10.39b) hingegen ergibt sich an jedem Punkt des Gleises die gleiche Reihenfolge der Signale. Dabei müssen die Signale nicht immer in einer Linie senkrecht zum Gleis angeordnet sein. Das gestrichelte Symbol in Abb. 10.39b) zeigt eine ebenfalls mögliche Anordnung.

Führen die Gleise hingegen so auf die Signale zu, dass Verwechslungen ausgeschlossen sind, hat bei Ausfahr- und Zwischensignalen die Erzielung einer möglichst großen Gleisnutzlänge meist Priorität.

Mehrere Einfahrsignale sollen immer in einer Linie senkrecht zur Gleisachse angeordnet werden, um eine Torwirkung zu erzielen. Hierdurch wird die Grenze des Bahnhofes eindeutig markiert.

10.7.3.5 Signalfolgeabstand

Grundsätzlich ist jedes Signal so anzukündigen, dass die stärkste mögliche Geschwindigkeitsreduktion bis zum Erreichen des Signals durchgeführt werden kann. In Deutschland ist – ähnlich wie in Österreich – der Regelvorsignalabstand identisch mit dem Nennwert der für diese Strecke geltenden Bremsstafel. Dieser beträgt i. d. R.:

- 1000 m auf Hauptbahnen mit $v > 100$ km/h,
- 700 m auf Hauptbahnen mit $v \leq 100$ km/h,
- 400 m auf Nebenbahnen mit $v \leq 80$ km/h.

Vorsignale sind (unabhängig von den Neigungsverhältnissen) im Regelvorsignalabstand zum zugehörigen Hauptsignal aufzustellen. Es ist zulässig, diesen Abstand um bis zu 50 % zu verlängern und um bis zu 5 % zu verkürzen.

Auf Neu- und Ausbaustrecken mit Signalisierung nach Ks-System soll bei 1000 m Regelvorsignalabstand – unbeschadet des Fensters von 950 ... 1500 m – ein Vorsignalabstand von 1300 m angestrebt werden.

In der Schweiz wird der Vorsignalabstand abhängig von den örtlichen Parametern ermittelt. In Bremstabellen sind die minimalen Abstände in Abhängigkeit von Geschwindigkeiten und Gefälle vorgegeben.

10.7.3.6 Lage der Bahnsteige

Hauptsignale an Bahnsteiggleisen müssen so aufgestellt werden, dass Reisezüge mit allen Wagen am Bahnsteig halten können. Bei Neubauten werden Bahnsteige heute nur noch so lang bemessen, wie es der längste planmäßig an der Bahnsteigkante haltende Reisezug erfordert, ggf. aufgerundet auf die nächste Regellänge. Da der Einsatz von Wendezügen heute üblich ist, muss bei der Planung außerdem beachtet werden, dass Lokomotiven auch am Ende des Zuges laufen können.

Die Wechselwirkungen zwischen Bau (Bahnsteig) und Sicherungstechnik (Fahrstraßenzugschlussstellen, Signalstandorte, Gleisnutzlängen) sind auch hier in einer frühen Planungsphase abzustimmen. Bei komplizierten, beengten oder gegebenen Verhältnissen der baulichen Infrastruktur wird es sich nicht immer vermeiden lassen, Signale auch auf dem Bahnsteig aufzustellen.

10.7.3.7 Einflüsse von Ingenieurbauwerken

Neben den bereits genannten baulichen Randbedingungen ist auch die bauliche Umgebung der Anbringung zu beachten. Die Aufstellung von Signalen z. B. in Tunneln, auf Brücken oder an Stützmauern ist prinzipiell möglich, jedoch immer mit einem höheren Aufwand sowohl bei der Errichtung als auch der Instandhaltung verbunden. Nach Möglichkeit sollten deshalb solche Standorte vermieden werden.

10.7.3.8 Belange der Fahrleitung

Auch zwischen Fahrleitungsanlagen und Signalstandorten bestehen Wechselwirkungen. Zum einen können durch Fahrleitungsmasten erhebliche Sichtbehinderungen vor allem in Bögen entstehen, zum anderen müssen die elektrischen Grenzen bei der Standortwahl von Hauptsignalen beachtet werden. So muss das Einfahrtsignal eines Bahnhofs noch vor der elektrischen Bahnhofsgränze stehen, damit ein elektrisch geförderter Zug noch vor einem eventuell abgeschalteten Bereich zum Stehen gebracht werden kann.

10.8 Zugbeeinflussung

10.8.1 Anforderungen

Die Systemeigenschaften der Eisenbahn, insbesondere die langen Bremswege, erfordern es, dass die Beachtung der Signalbegriffe unbedingt sichergestellt wird. Im modernen Umfeld – außerhalb des automatischen Fahrens – ist der Mensch als Regler der Geschwindigkeit die entscheidende Schwachstelle im Regelkreis der Betriebssicherheit des Schienenverkehrs (vgl. Abb. 10.4), da menschliche Handlungen einer weitaus höheren Fehlerrate unterliegen als technische (siehe Kap. 11). Werden restriktive Begriffe wie Halt oder eine Geschwindigkeitsbeschränkung nicht befolgt, können Gefährdungen oder gar Unfälle durch Kollision bzw. Entgleisung entstehen.

Mit Hilfe der Zugbeeinflussung wird in unterschiedlicher Qualität erreicht, dass der Triebfahrzeugführer die Signale aufnimmt und beachtet. Außerdem können Zugbeeinflussungssysteme zulässige Geschwindigkeiten derart überwachen, dass bei Fehlhandlungen die Fahrt in Form einer Bremsung beeinflusst wird.

Bei folgenden Handlungen des Triebfahrzeugführers können Zugbeeinflussungssysteme überwachend wirken und bei Bedarf eingreifen:

- Halt an einem Halt zeigenden Hauptsignal (Fahrsperr),
- Aufmerksamkeit an einem ein restriktives Signalbild ankündigenden Vorsignal,
- Bremsung vor einem Signal mit restriktivem Begriff,
- Einhaltung der infrastrukturell vorgegebenen, statisch zulässigen Geschwindigkeit (Geschwindigkeit der Strecke und Langsamfahrstellen),
- Einhaltung der fahrzeugseitig vorgegebenen, zulässigen Geschwindigkeit.

Die EBO fordert im § 15 für Hauptbahnen: „Strecken müssen mit Zugbeeinflussung ausgerüstet sein, durch die ein Zug selbsttätig zum Halten gebracht ... werden kann.“

Für Nebenbahnen ist Zugbeeinflussung nur vorgeschrieben,

- wenn mehr als 80 km/h gefahren wird oder
- mehrere Züge gleichzeitig verkehren und
 - Reisezugverkehr stattfindet oder
 - mehr als 50 km/h zugelassen sind.

Weiterhin sagt die EBO aus, dass Strecken, die mit mehr als 160 km/h befahren werden, mit einer Zugbeeinflussung auszurüsten sind, die den Zug selbsttätig zum Halten bringen und selbsttätig führen können muss.

10.8.2 Systematisierung

Die Einrichtungen der Zugbeeinflussung setzen sich aus der Streckeneinrichtung und der Fahrzeugeinrichtung zusammen.

Zugbeeinflussungen können nach mehreren Kriterien unterschieden werden:

- Ausdehnung des Übertragungsortes
 - diskontinuierlich (punktförmig bzw. teilweise linienförmig)
 - kontinuierlich (linienförmig)
- Ausdehnung der Überwachung
 - diskontinuierlich (punktförmig bzw. unterbrochen linienförmig)
 - kontinuierlich
- physikalische Art der Informationsübertragung zwischen Strecke und Fahrzeug
 - mechanisch
 - optisch
 - galvanisch
 - induktiv (nieder- und hochfrequent)

10.8.2.1 Ausdehnung des Übertragungsortes

Die Ausdehnung des Übertragungsortes wird nach diskontinuierlich (meist punktförmig) und kontinuierlich unterschieden. Ein wesentlicher Vorteil der kontinuierlichen Übertragung gegenüber der punktförmigen ist, dass Sollwertänderungen wie z. B. das Aufwerten eines Signalbegriffes oder die Haltstellung in einer Notsituation sofort an das Fahrzeug übertragen werden können. Allerdings verursacht die kontinuierliche Übertragung einen höheren Aufwand. Ein Kompromiss ist die teilweise kontinuierliche

Übertragung an solchen Stellen, wo die sofortige Übertragung besonders effektiv ist, wie z. B. vor Hauptsignalen.

Durch eine kontinuierliche Übertragung kann die Leistungsfähigkeit von Strecken erhöht werden. Außerdem schafft sie die Voraussetzungen für eine Führerraumsignalisierung (siehe Abschn. 10.8.1.4). Weiterhin ist die kontinuierliche Übertragung eine Voraussetzung für das automatische Fahren.

10.8.2.2 Ausdehnung der Überwachung

Die Überwachung kann ebenfalls nach diskontinuierlich und kontinuierlich unterschieden werden, wobei die diskontinuierliche Überwachung wiederum nach punktförmig und unterbrochen linienförmig unterschieden werden kann.

Unter Sicherheitsaspekten ist eine kontinuierliche Überwachung der diskontinuierlichen vorzuziehen. Bei der punktförmigen Überwachung besteht der Nachteil, dass die Geschwindigkeit zwischen zwei Prüfpunkten so weit erhöht werden kann, dass die Geschwindigkeit am nächsten Prüfpunkt einen zu langen Bremsweg für eine gefahrlose Bremsung hervorruft. Ein Kompromiss, der bei punktförmiger Übertragung zur Anwendung kommen kann, ist die unterbrochen linienförmige Überwachung nach einem Beeinflussungspunkt.

Eine Zugbeeinflussung mit kontinuierlicher Übertragung und Überwachung ermöglicht das Fahren mit höheren Geschwindigkeiten und ist damit ein wichtiger Bestandteil von Hochgeschwindigkeitssystemen.

10.8.2.3 Physikalische Wirkprinzipien der Übertragung

Physikalisch kommt heute fast ausschließlich die elektromagnetische Informationsübertragung zur Anwendung, da hierbei die Information berührungslos übertragen wird. Nur vereinzelt finden sich noch Systeme mit mechanischer oder auch mit galvanischer Informationsübertragung.

Bei der elektromagnetischen Informationsübertragung werden die Informationen durch elektromagnetische Induktion übertragen. Die Übertragung kann örtlich punktförmig oder linienförmig erfolgen. Prinzipiell bestehen zwei

Möglichkeiten für den übertragenen Informationsumfang:

- Einzelinformation (1 Bit): Induktion durch Bewegung eines Leiters im elektrischen Feld
- Mehrfachinformation (>1 Bit): Durch auf eine hochfrequente Wechselspannung aufmodulierte Signale können komplexe Datentelegramme übertragen werden. Anwendung findet das z. B. bei Systemen mit Balisen oder bei Übertragung durch Mobilfunk.

Zur kontinuierlichen Informationsübertragung kamen bisher Kabellinienleiter, im Ausland auch Schienenlinienleiter zur Anwendung; moderne Systeme nutzen Mobilfunk.

10.8.3 Systeme mit Balisen

Bei einfachen Zugbeeinflussungssystemen kann an einem Beeinflussungspunkt nur die Information „Beeinflussung erfolgt“ übertragen werden, nicht jedoch die Information „Beeinflussung nicht erfolgt“. Balisen sind dagegen Datenpunkte, die Datentelegramme übertragen. Sie können, obwohl die Information nur punktförmig übergeben wird, durch den wesentlich größeren Umfang der übertragbaren Daten eine kontinuierliche Überwachung gewährleisten. So kann durch die Balisen der Abstand zum nächsten Datenpunkt übertragen werden. Dieser Abstand wird vom Fahrzeuggerät mittels Wegmessenrichtungen überwacht. Findet die Fahrzeugeinrichtung in dieser Entfernung keine weitere Balise vor, kann damit der Ausfall einer Balise sicher erkannt werden.

Der zurückgelegte Weg wird aus der Zahl der Radumdrehungen ermittelt. Da ein Rad schleudern oder blockieren kann und außerdem der Umfang eines Rades mit zunehmendem Einsatz kleiner wird, ergeben sich Messfehler. Die Ortung kann an jedem Datenpunkt kalibriert werden, da an jedem Punkt die Position übermittelt wird. Je größer nun der Abstand der Datenpunkte zueinander, umso größer ist auch der auftretende Wegmessfehler. Um diesen nicht zu groß werden zu lassen, darf der Abstand der Datenpunkte zueinander ein bestimmtes Maß nicht überschreiten.

Die Balisen können in schaltbar und nicht schaltbar unterschieden werden. Derzeit werden in Deutschland vor allem nicht schaltbare Balisen genutzt, die Daten zum Streckenverlauf übertragen. Eine streckenseitige veränderliche Informationszufuhr ist hier nicht notwendig. Ein Beispiel hierfür ist das System GNT (Geschwindigkeitsüberwachung NeiTech). Schaltbare Balisen, beispielsweise von Signalen angeschaltet, werden dagegen bei den Systemen ZUB und ETCS Level 1 (siehe 10.8.6.4.3) verwendet. Durch die punktförmige Datenübertragung kann eine Änderung eines Zustandes nur an den Standorten der Balisen übertragen werden. Zur Verbesserung des Systems kann es deswegen an wichtigen Stellen, wie z. B. vor Signalen, durch Infill-Schleifen ergänzt werden, die eine lokal begrenzte linienförmige Übertragung ermöglichen. An Stelle von Infill-Schleifen ist auch die Verlegung von Infill-Balisen ist möglich, womit der Abstand zur Übertragung der aktualisierten Information verringert wird.

Moderne Systeme nutzen Eurobalisen. Sie werden in der Gleismitte verlegt, so dass die Übertragung einer Information notwendig wird, für welche Richtung sie gelten. Die Eurobalise folgt den ETCS-Spezifikationen, jedoch wird sie auch außerhalb von ETCS eingesetzt.

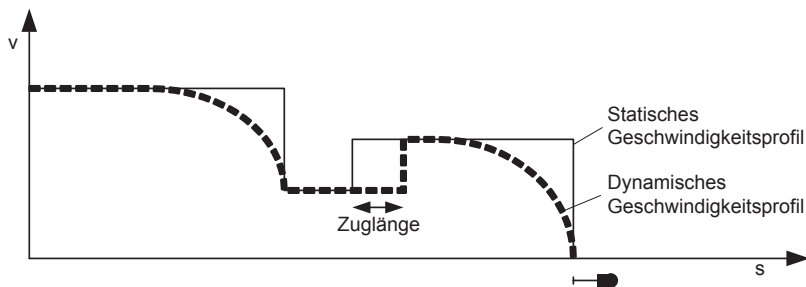
Die Fahrzeuggeräte senden permanent Energie in Form eines elektromagnetischen Feldes aus. Diese Energie wird von der Balise zur Informationsverarbeitung und Sendung der notwendigen Daten an das Fahrzeug genutzt. Übertragene Daten können z. B. sein:

- Entfernung zum nächsten Geschwindigkeitswechsel,
- zulässige Geschwindigkeit ab diesem Wechsel,
- logischer Signalbegriff,
- Neigungsverhältnisse sowie
- Entfernung zum nächsten Datenpunkt.

10.8.4 Führerraumsignalisierung

Bei der Führerraumsignalisierung werden die Führungsgrößen im Führerraum angezeigt. Im Wesentlichen sind das die Zielentfernung und die Zielgeschwindigkeit. Bei hohen Geschwindig-

Abb. 10.40 Beispielhaftes statisches und dynamisches Geschwindigkeitsprofil



keiten ist die Führerraumsignalisierung unumgänglich, da die Sichtzeit auf ortsfeste Signale zu kurz ist und der Vorsignalabstand für eine Bremsung auf Halt nicht ausreicht.

Gegenüber der ortsfesten Signalisierung entstehen folgende Vorteile:

- Die Signalinformation ist kontinuierlich sichtbar.
- Die Sichtbarkeit ist unabhängig von Witterung und örtlichen Sichtverhältnissen.
- Bei kontinuierlicher Übertragung hat der Triebfahrzeugführer die Möglichkeit, auf eintretende Signaländerungen sofort zu reagieren, was der Betriebsflüssigkeit dient bzw. die Möglichkeiten zur Gefahrenabwehr verbessert.
- Der Vorschaubereich ist größer, so dass der Triebfahrzeugführer seine Fahrweise auf die betriebliche Situation einstellen kann.

In Abhängigkeit von der Zielentfernung, der Zielgeschwindigkeit und den Bremseigenschaften des Zuges wird auf dem Fahrzeuggerät die Sollgeschwindigkeit berechnet, deren Einhaltung überwacht wird. Bei der infrastrukturabhängigen Zielgeschwindigkeit spricht man auch vom statischen Geschwindigkeitsprofil, während die von den Fahrzeugeigenschaften (z. B. Zuglänge, Bremseigenschaften) abhängige Sollgeschwindigkeit dynamisches Geschwindigkeitsprofil genannt wird (Abb. 10.40).

Ist eine Strecke mit einem Zugbeeinflussungssystem, das eine kontinuierliche Führerraumsignalisierung erlaubt, ausgerüstet, kann auf ortsfeste Signale verzichtet werden. Dann allerdings benötigen alle dort verkehrenden Züge die entsprechende Fahrzeugeinrichtung. Um einen Mischverkehr mit nicht ausgerüsteten Zügen zu ermöglichen, werden meist dennoch ortsfeste Signale aufgestellt. Dabei ist es möglich, mittels

der kontinuierlichen Zugbeeinflussung kleinere Blockabstände zu verwenden („Teilblock“) als mit der ortsfesten Signalisierung („Ganzblock“). Häufig sind nur vor Zugmeldestellen Hauptsignale aufgestellt, während die Teilblöcke nur mit einer Tafel gekennzeichnet sind. Allerdings muss für jeden Teilblock eine eigene Ortung vorhanden sein, was i. d. R. durch eine Gleisfreimeldanlage geschieht (Abb. 10.41).

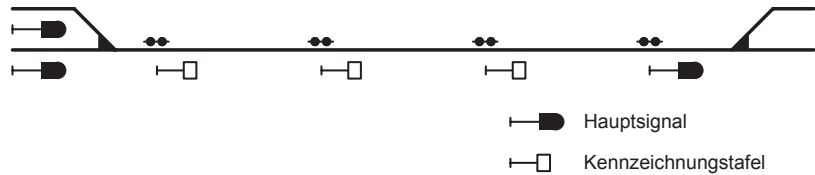
Züge ohne Führerraumsignalisierung können nur im Abstand der Hauptsignale folgen. Das Fahren im Teilblockabstand – und damit die höhere betriebliche Leistungsfähigkeit – kommt nur dann zur Anwendung, wenn ein Zug mit Führerraumsignalisierung einem beliebigen anderen Zug, der durch die Gleisfreimeldung geortet wird, folgt. Dabei kann es zu widersprüchlichen Informationen kommen: Ist der nächste Teilblock frei, der Ganzblock aber noch belegt, kann die Führerraumsignalisierung die Fahrt zulassen, während das ortsfeste Signal, was den Ganzblock deckt, noch Halt zeigen muss. Obwohl die Führerraumsignalisierung Vorrang genießt, soll der Widerspruch dennoch nicht sichtbar werden. Deshalb wird in solchen Fällen das ortsfeste Signal dunkel geschaltet.

10.8.5 Signum

Signum ist ein in den dreißiger Jahren des zwanzigsten Jahrhunderts in der Schweiz eingeführtes System der Zugbeeinflussung. Es nutzt Induktion mittels einer von Gleichstrom durchflossenen bewegten Spule auf eine ortsfeste Spule, um die Information von der Strecke über ein zweites Spulenpaar auf das Fahrzeug zu übertragen.

In folgenden Situationen greift das System mit einer Zwangsbremse ein:

Abb. 10.41 Prinzip der Überlagerung von ortsfester und Führerraum-signalisierung (nur eine Fahrtrichtung dargestellt)



- Nichtbetätigung der Wachsamkeitstaste nach Vorbeifahrt an einem Vorsignal in Warnstellung,
- Vorbeifahrt an einem Halt zeigenden Hauptsignal.

Nachteile dieser noch im Einsatz befindlichen Zugbeeinflussung sind die geringe Anzahl an übertragbaren Informationen und die Ansprechschwelle von ca. 4 km/h, die aus dem induktiven Verfahren mittels Gleichstrom resultiert.

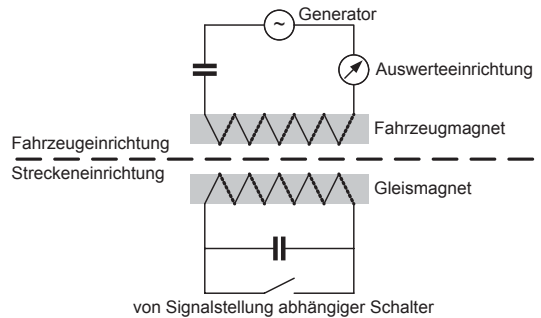


Abb. 10.42 Funktionsweise der PZB

10.8.6 Punktförmige Zugbeeinflussung PZB 90

Die PZB 90 ist die aktuelle Variante der unter dem Namen Indusi in den dreißiger Jahren des zwanzigsten Jahrhunderts eingeführten Form der induktiven Zugbeeinflussung in Deutschland. Die ursprüngliche Form der Indusi hatte neben der punktförmigen Übertragung nur eine punktförmige Überwachung. Mit der Einführung von rechnergesteuerten Fahrzeuggeräten wurde die teilweise kontinuierliche Überwachung möglich.

Mit der PZB 90 wird die Beachtung folgender Sachverhalte überwacht:

- Überwachung der Beachtung restriktiver Begriffe an schaltbaren Signalen
 - Halt zeigendes Signal
 - Vorsignal in Warnstellung
 - Überwachungssignal an BÜ
- Überwachung der Beachtung statischer Geschwindigkeitsbeschränkungen
 - örtliche Geschwindigkeitsbeschränkung
- sonstige Funktionen
 - Überwachung
 - Höchstgeschwindigkeit des Zuges in Abhängigkeit von der eingestellten Zugart
 - Höchstgeschwindigkeit des führenden Fahrzeugs

- 100 km/h bei ausgeschalteter oder gestörter PZB-Fahrzeugeinrichtung

10.8.6.1 Informationsübertragung

Die grundsätzliche Funktionsweise zeigt Abb. 10.42. Die Fahrzeugeinrichtung sendet ständig elektromagnetische Wellen mit einer Frequenz von 500, 1000 und 2000 Hz aus. In den Gleismagneten befindet sich ein Schwingkreis, der auf eine der drei Frequenzen abgestimmt ist. Bewegt sich der Fahrzeugmagnet über den Gleismagneten, so entzieht der Schwingkreis im Gleismagneten dem Fahrzeugmagneten durch induktive Kopplung Energie. Der Energieentzug führt zu einer Stromabsenkung im Fahrzeugschwingkreis, der selektiv nach den drei Frequenzen detektiert wird. Ist keine Beeinflussung notwendig (z. B. bei Fahrtstellung des Signals), wird der Gleismagnet durch Kurzschluss des Schwingkreises unwirksam geschaltet und der Energieentzug unterbleibt.

Mit einer Beeinflussung kann nur eine binäre Information übertragen werden. Durch die drei verschiedenen Frequenzen können drei verschiedene Informationen – aber nur eine je Beeinflussungspunkt – übertragen werden, die zu jeweils unterschiedlichen Reaktionen auf dem Fahrzeug führen.

Tab. 10.6 Anwendung der PZB-Zugarten

| Zugart | Bremsstellung | Brems-hundertstel | Überwachte Höchstgeschwindigkeit [km/h] | Entlassungsgeschwindigkeit [km/h] | |
|--------|---------------|-------------------|---|-----------------------------------|--------|
| | | | | 1000 Hz | 500 Hz |
| O | R oder P | > 110 | 165 | 85 | 45 |
| M | R oder P | 66 ... 110 | 125 | 70 | 35 |
| U | R oder P | < 66 | 105 | 55 | 25 |

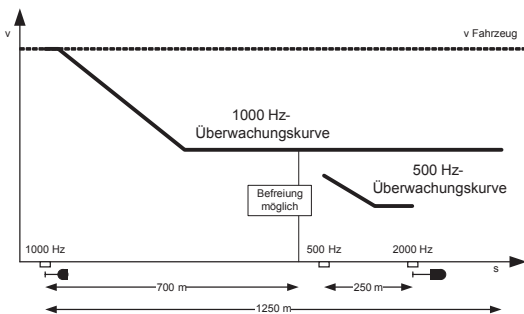


Abb. 10.43 Grundsätzliche Bremskurvenüberwachung an Haupt- und Vorsignalen bei der PZB 90

10.8.6.2 Zugarten

Das Bremsvermögen und damit der Bremsweg eines jeden Zuges ist unterschiedlich, was bei den Überwachungsfunktionen berücksichtigt werden muss. Deshalb werden die Züge je nach Bremsvermögen in drei Klassen eingeteilt: die Zugarten O, M und U („obere“, „mittlere“ und „untere“). Je nach Zugart werden unterschiedliche Bremskurven und verschiedene Höchstgeschwindigkeiten überwacht. Die Kriterien für die Wahl der Zugart und die dabei jeweils überwachten Höchstgeschwindigkeiten zeigt Tab. 10.6. Beim Aufrüsten des Fahrzeugs werden die Bremseigenschaften vom Triebfahrzeugführer eingegeben und daraufhin die Zugart automatisch eingestellt.

10.8.6.3 Überwachung an Haupt- und Vorsignalen

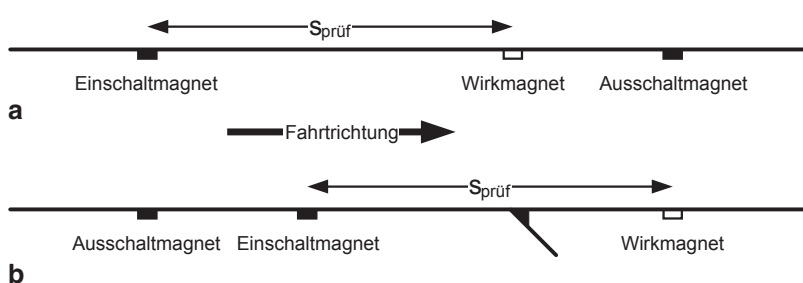
Abbildung 10.43 zeigt die grundsätzliche Anordnung der Gleismagnete vor einem Hauptsignal. Am Vorsignal befindet sich ein 1000-Hz-Gleismagnet, am Hauptsignal ein 2000-Hz-Magnet und 250 m vor dem Hauptsignal ein 500-Hz-Magnet. Im Folgenden sollen die Funktionen bei der Fahrt auf ein Halt zeigendes Hauptsignal erläutert werden.

Der **Gleismagnet 1000 Hz** ist aktiv, wenn das Vorsignal Halt erwarten zeigt oder eine Geschwindigkeitsbeschränkung auf 60 km/h oder weniger ankündigt. Bei einer solchen Beeinflussung muss der Triebfahrzeugführer die Wahrnehmung des Signals durch Betätigung der Wachsamkeitstaste quittieren, ansonsten erfolgt eine Zwangsbremung. Außerdem wird bei einer 1000-Hz-Beeinflussung die Überwachung einer von der Zugart abhängigen Bremskurve ausgelöst, d. h. es wird geprüft, dass die in der Bremskurve vorgegebene Geschwindigkeit nicht überschritten wird, ansonsten erfolgt die Zwangsbremung. Die Bremskurve ergibt sich aus einer zeitabhängig fallenden Geschwindigkeit (z. B. Zugart O: von 165 km/h auf 85 km/h in 23 s). Ist die Zielgeschwindigkeit der Überwachungskurve erreicht, wird die Geschwindigkeit weiterhin überwacht („Entlassungsgeschwindigkeit“).

Die Überwachungslänge nach einer 1000-Hz-Beeinflussung beträgt 1250 m. Weil der Abstand vom Vorsignal zum Hauptsignal maximal 1500 m betragen darf und der Abstand vom 500 Hz- zum 2000-Hz-Magneten üblicherweise 250 m beträgt, ergeben sich dadurch keine nicht überwachten Bereiche.

Da nach der Vorbeifahrt an einem Halt erwartenden Vorsignal das Hauptsignal mittlerweile in die Fahrtstellung gekommen sein kann, besteht 700 m nach der Beeinflussung die Möglichkeit der Befreiung aus der 1000 Hz-Überwachung. Der Festlegung auf 700 m liegt die Überlegung zugrunde, dass für ein Hauptsignal üblicherweise 300 m Signalsicht gewährleistet ist und der reguläre Vorsignalabstand 1000 m beträgt. Eine Befreiung vor der Sichtbarkeit des Hauptsignals soll damit vermieden werden.

Abb. 10.44 Lage der Gleismagneten bei der Geschwindigkeitsüberwachungseinrichtung



Der **Gleismagnet 500 Hz** wird vom zugehörigen Hauptsignal gesteuert und ist aktiv, wenn das Hauptsignal Halt oder einen sehr restriktiven Fahrtbegriff (z. B. 20 km/h) zeigt. Bei Beeinflussung durch den 500-Hz-Gleismagneten wird eine weitere Geschwindigkeitsüberwachung angestoßen, die restriktiver ist als die 1000-Hz-Überwachung.

Zunächst erfolgt eine Überwachung auf eine wegabständig fallende Geschwindigkeit (z. B. Zugart O: von 65 km/h auf 45 km/h in 153 m), danach wird die Entlassungsgeschwindigkeit überwacht. Insgesamt beträgt die Überwachungslänge 250 m. Eine Befreiung aus der 500-Hz-Überwachung ist nicht möglich, weshalb sich bei Signalfahrtstellung nach einer 500-Hz-Beeinflussung aufgrund der erzwungenen Schleichfahrt betriebliche Behinderungen ergeben können.

Der **Gleismagnet 2000 Hz** ist am Hauptsignal angeordnet und aktiv, wenn es Halt zeigt. Die Beeinflussung durch einen 2000-Hz-Gleismagneten führt zur sofortigen Zwangsbremmung.

Durch die Bremskurvenüberwachung nach der 1000- und 500-Hz-Beeinflussung wird sichergestellt, dass der Zug sich nur sehr langsam einem Halt zeigenden Signal nähern kann. Wird der Zug aus einer geringen Geschwindigkeit zwangsgebremmt, so ist auch die Länge, mit der das Halt zeigende Signal überfahren wird, kurz.

10.8.6.4 Restriktive Geschwindigkeitsüberwachung

Nach 1980 kam es zu schweren Unfällen bedingt durch das Anfahren beschleunigungsstarker Fahrzeuge gegen Halt zeigende Signale, wovon die früheren Indusi-Bauformen nur unzureichend schützten. Deshalb wurde mit der Weiterentwicklung zur PZB 90 auch eine restriktive Geschwin-

digkeitsüberwachung eingeführt. Unterschreitet der Zug für eine Zeitdauer von mehr als 15 s eine Umschaltgeschwindigkeit von 10 km/h oder hält er an, so werden restriktivere Überwachungen wirksam, was zu noch größeren betrieblichen Behinderungen führen kann.

10.8.6.5 Geschwindigkeitsüberwachungseinrichtung (GÜ)

Um mit der PZB örtliche Geschwindigkeitseinschränkungen zu überwachen, kann die Entlassungsgeschwindigkeit eines 1000- oder 500-Hz-Gleismagneten verwendet werden. Nachteilig hierbei ist, dass nur zwei unterschiedliche Beeinflussungen möglich sind und die Entlassungsgeschwindigkeit je nach Zugart variiert (Tab. 10.6).

Es ist jedoch möglich, eine Beeinflussung in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit des Zuges zu geben. Hierzu dient die Geschwindigkeitsüberwachungseinrichtung (GÜ). Dabei wird ein Gleismagnet (Einschaltmagnet) durch einen Fahrzeugmagneten beeinflusst, woraufhin die Anlage aktiviert wird und eine Zeitverzögerung anstößt. Innerhalb der Zeitspanne ist der im definierten Abstand verlegte Wirkmagnet aktiv. Danach wird der Wirkmagnet deaktiviert, wodurch Züge, deren Geschwindigkeit kleiner ist als die Prüfgeschwindigkeit, keine Beeinflussung erhalten.

Um die Anlage in Grundstellung zu bringen, bedarf es noch eines Ausschaltmagneten. In der Regel wird dieser nach der Prüfstrecke angeordnet (Abb. 10.44a). Befindet sich in der Prüfstrecke eine Fahrwegverzweigung, so würde der Ausschaltmagnet nicht unbedingt befahren. In solchen Fällen wird eine Anordnung gewählt, bei der sich der Ausschaltmagnet vor der Prüfstrecke befindet (Abb. 10.44b).

Als Wirkmagnet wird ein 1000- oder 2000-Hz-Gleismagnet verwendet. Beim 2000-Hz-Gleismagneten bekommen alle Züge, die die GÜ zu schnell passieren, eine Zwangsbremmung. Wird ein 1000-Hz-Gleismagnet verwendet, bekommen die Züge mit einer höheren Geschwindigkeit als der Prüfgeschwindigkeit eine 1000-Hz-Beeinflussung. Das kann dazu verwendet werden, um nur schnell fahrende Züge, die üblicherweise in Zugart O fahren, zu beeinflussen. Züge in niedrigeren Zugarten, die ohnehin langsamer fahren, werden nicht beeinflusst, wodurch sich dadurch auch nicht die geringeren Entlassungsgeschwindigkeiten hinderlich auswirken können.

10.8.7 Geschwindigkeitsüberwachung für Neigetechnik (GNT)

Um auf vorhandenen Strecken mit engen Bögen (vorrangig im Gebirge) ohne eine Aufweitung der Bögen eine Erhöhung der Geschwindigkeiten im Reiseverkehr durchführen zu können, wurden Fahrzeuge mit Neigetechnik (Geschwindigkeitsabhängige Wagenkastensteuerung, GSt) entwickelt. Fahrzeuge mit eingeschalteter GSt dürfen im Bogen schneller fahren als konventionelle Fahrzeuge. Die Geschwindigkeiten der Strecke werden deshalb nach RS- (Regelseiten-) und ES- (erhöhte Seitenbeschleunigung) Profil unterschieden.

Für Fahrten im ES-Profil forderte der Gesetzgeber eine kontinuierliche Überwachung der Geschwindigkeit. Das führte zur Entwicklung der GNT (Geschwindigkeitsüberwachung für Neigetechnik). Bei der GNT werden mittels Balisen das RS- und das ES-Profil auf das Fahrzeug übertragen. Bei eingeschalteter GSt wird das ES-, ansonsten das RS-Profil überwacht. Bis 1999 kamen Gleiskoppelpulen, danach Eurobalisen zur Anwendung.

Da nur die Geschwindigkeit der Strecke überwacht wird, gelten die Vor- und Hauptsignale einschließlich ihrer Geschwindigkeitsanzeigen weiterhin. Dies wird auch durch die PZB, die parallel zur GNT aktiv sein muss, überwacht. Die GNT wird daher nur bis 160 km/h eingesetzt.

Die Überwachung erfolgt verdeckt, die jeweils erlaubten Geschwindigkeiten muss der Triebfahrzeugführer seinen Informationsquellen im Führerraum entnehmen. Bei einer Überschreitung der erlaubten Geschwindigkeit erfolgt, je nach Höhe der Differenz, zunächst eine Warnmeldung, dann eine Betriebsbremsung und wenn die Geschwindigkeit noch weiter überschritten wird eine Zwangsbremmung bis zur erlaubten Geschwindigkeit. Das ist ein deutlicher Vorteil gegenüber der PZB, die nur die Zwangsbremmung bis zum Stillstand kennt.

10.8.8 Linienzugbeeinflussung (LZB)

Die LZB (Linienzugbeeinflussung) ist ein System mit kontinuierlicher Datenübertragung und kontinuierlicher Überwachung. Sie wurde um 1970 entwickelt. Durch das kontinuierliche Wirken erfüllt sie die Anforderung der EBO, wonach bei Geschwindigkeiten über 160 km/h ein System wirken muss, „durch das ein Zug selbsttätig zum Halten gebracht und außerdem geführt werden kann.“ Derzeitig ist die LZB noch die Regel auf Strecken, die mit mehr als 160 km/h befahren werden. Es sollen jedoch keine neuen Strecken mehr mit LZB ausgerüstet werden; langfristig wird die LZB vollständig durch ETCS (siehe 10.8.9) abgelöst.

Als fahrgewegseitige Antenne dient der Kabellinienleiter, der in Schleifen im Gleis verlegt wird. Die Fahrzeugantenne befindet sich über der Gleismitte. Die Ortung allein über Radumdrehungszähler (Odometrie) ist zu ungenau. Da die LZB über eine Antenne entlang des Gleises verfügt, kann das Problem hierüber gelöst werden: Alle 100 m wird der Kabellinienleiter gekreuzt, so dass das elektromagnetische Feld um 180° gedreht wird. Die Drehung wird durch das Fahrzeug erkannt, so dass an jeder Kreuzungsstelle die Ortung kalibriert wird.

Die LZB-Zentrale beeinflusst einen Bereich von ca. 50 ... 100 km Strecke. In dem Bereich kommuniziert sie mit allen Stellwerken und allen mit aktiver LZB-Ausrüstung fahrenden Zügen. Ebenso werden Daten mit eventuell vorhandenen benachbarten LZB-Zentralen ausgetauscht.

Die geschwindigkeitsrelevanten Daten der Infrastruktur sind in der LZB-Zentrale gespeichert. Aus diesen Daten und der aktuellen Betriebssituation (Belegung der Abschnitte) ermittelt die LZB-Zentrale die aktuellen Führungsgrößen, die an das jeweilige Fahrzeuggerät übertragen werden. Mit Hilfe dieser Daten und den im LZB-Fahrzeuggerät hinterlegten Daten, wie z. B. Höchstgeschwindigkeit, Bremsvermögen und Länge des Zuges, wird die Sollbremskurve berechnet. Dem Triebfahrzeugführer werden Zielentfernung und Zielgeschwindigkeit angezeigt.

Ist das Fahrzeug mit einer „Automatischen Fahr- und Bremssteuerung“ (AFB) ausgerüstet, kann es aus den Werten die notwendige Zug- und Bremskraft für eine automatische Führung des Zuges ermitteln. Bei eingeschalteter AFB findet somit die Regelung der Geschwindigkeit nicht mehr durch den Triebfahrzeugführer statt. Für eine automatische Zielbremsung (z. B. am Bahnsteig) ist die LZB allerdings nicht vorgesehen, da hierfür auch die Ortung nicht genau genug ist.

10.8.9 European Train Control System (ETCS)

10.8.9.1 Grundlagen

Der durchgehende Eisenbahnverkehr in Europa wird durch eine Vielzahl nationaler Systeme der Bahnstromversorgung, Spurweite, Betriebsverfahren, Signalisierung, Zugbeeinflussung und weiterer Eigenschaften behindert. Jedoch möchten die mit der Liberalisierung des Eisenbahnverkehrs nunmehr grenzüberschreitend operierenden Eisenbahnverkehrsunternehmen behinderungsfrei durch ganz Europa fahren. Während sich die Überwindung der Bahnstromsystemgrenzen mittlerweile durch Leistungselektronik in den Triebfahrzeugen bewerkstelligen lässt, ist es besonders die Vielzahl von Zugbeeinflussungssystemen, die ein freizügiges Verkehren behindert. Ende der 1980er Jahre wurde deshalb vom internationalen Eisenbahnverband UIC eine Initiative gestartet, die eine Vereinheitlichung der europäischen Zugbeeinflussungssysteme zum Ziel hatte: Das European Train Control System (ETCS).

ETCS steht zwar im Mittelpunkt der Vereinheitlichungsbestrebungen, jedoch gibt es weitere Bestandteile, die den europäischen Eisenbahnverkehr fördern sollen. Dabei dient die Vereinheitlichung nicht nur technischen Zwecken, auch der Beschaffungsmarkt – bisher überwiegend national geprägt – soll größer werden, wodurch mehr Wettbewerb ermöglicht wird.

Unter dem Dach des European Rail Traffic Management Systems (ERTMS) werden vier Hauptprojekte betrieben. Neben ETCS sind das die drei nachfolgend beschriebenen.

Das Global System for Mobile Communication-Railway (GSM-R) ist das neben ETCS am weitesten vorangeschrittene Projekt. Es handelt sich dabei um ein Digitalfunksystem auf Grundlage des Mobilfunkstandards GSM. Es wurden lediglich einige bahnspezifische Erweiterungen vorgenommen. Für GSM-R wurde ein eigenes Frequenzband reserviert. Es ist Voraussetzung für einige Ausrüstungsstufen von ETCS. Die Ausrüstung mit GSM-R ist heute bereits sehr weit verbreitet.

Der **European Traffic Management Layer (ETML)** betrifft die Ebene der (nicht sicheren) Betriebssteuerung. Er hat die Aufgabe, über Ländergrenzen – und damit EIU-Grenzen – hinweg Zuglaufdaten auszutauschen und den entsprechenden EVU zur Verfügung zu stellen. Operativ werden die Daten entsprechend grafisch oder in Tabellenform visualisiert; im Nachgang ist es möglich, Statistiken zu erstellen um z. B. Qualitätskriterien zu untersuchen.

Integrated European Signalling System (INESS): Da die Stellwerkstechnik immobil ist, bestand lange Zeit keine Notwendigkeit einer Vereinheitlichung. Lediglich die Schnittstelle zum Fahrzeug (durch GSM-R oder ETCS) muss standardisiert sein. Im Laufe der weiteren Entwicklung von ETCS zeigte sich aber, dass die komplexen Schnittstellen zwischen ETCS und dem Stellwerk ebenfalls eine Standardisierung vorteilhaft erscheinen lassen. Das Integrated European Signalling System (INESS) dient nun zur Vereinheitlichung der Stellwerkstechnik im Zuge der Einführung von ERTMS. Das wesentliche Ziel ist die Entwicklung von Standards für eine neue europäische Stellwerkstechnik, die zu



Abb. 10.45 Eurobalise

ETCS vollständig kompatibel ist. Die ortsfeste Signalisierung ist dabei nicht Bestandteil der Vereinheitlichung. Solange die ortsfeste Signalisierung nicht durch Führerraumsignalisierung abgelöst ist, wird es bei den nationalen Signalisierungssystemen bleiben.

10.8.9.2 Komponenten

Die **Eurobalise** (Abb. 10.45) ist eine europäisch standardisierte Balise. Es wird nach Festdaten- und Transparentdatenbalise unterschieden. Festdatenbalisen senden immer das gleiche Telegramm, wie z. B. Informationen über ständige Langsamfahrstellen. Transparentdatenbalisen hingegen sind schaltbar und können daher unterschiedliche Telegramme senden. Sie werden z. B. zur Übertragung von Informationen dynamischer, ortsfester Signale verwendet. Die Datenübertragung erfolgt nach dem induktiven Transponder-Verfahren.

Um insbesondere vor Hauptsignalen eine teilweise kontinuierliche Datenübertragung durch Infill-Schleifen herzustellen, wird **Euroloop** eingesetzt. Dabei handelt es sich in jedem Fall nur um eine Ergänzung der durch Balisen hergestellten punktförmigen Übertragung. Die technische Realisierung geschieht durch einen am Schienenfuß verlegten Leckwellenleiter von maximal 800 m Länge.

Die **Lineside Electronic Unit (LEU)** dient der situationsgerechten Versorgung von Transparentdatenbalisen und Euroloops mit Informationen. Dazu werden Informationen aus der Stellwerkstechnik abgegriffen und in entsprechende Datentelegramme gewandelt.

In höheren ETCS-Leveln wird GSM-R für die Datenübertragung zwischen Infrastruktur und Fahrzeug genutzt. Das Fahrzeug hält dabei ständig Kontakt mit dem **Radio Block Centre (RBC)**. Dort werden die aktuelle Zugposition verwaltet und Informationen aus der Stellwerkstechnik so aufbereitet, dass daraus die Fahrerlaubnis (Movement Authority, MA) erzeugt wird. Außerdem werden Informationen mit dem Nachbar-RBC ausgetauscht. Kern des RBC ist ein sicheres Rechnersystem.

10.8.9.3 ETCS-Fahrzeugausrüstung

Die Fahrzeugausrüstung besteht aus mehreren Komponenten mit dem European Vital Computer (EVC) als Kern. Die wesentlichen Komponenten sind:

- Odometrie: Geschwindigkeits- und Wegmessung. Primär handelt es sich dabei um Radumdrehungszähler; zur Erhöhung der Ortungsgenauigkeit wird ein Radar eingesetzt,
- Train Interface Unit (TIU): Schnittstelle zu den Antriebs- und Bremskomponenten des Fahrzeugs,
- Balise Transmission Module (BTM): Kommunikation mit Eurobalise,
- Loop Transmission Module (LTM): Kommunikation mit Euroloop,
- Euroradio: Kommunikation über GSM-R,
- Driver Maschine Interface (DMI): Schnittstelle zum Triebfahrzeugführer. Hier werden Istgeschwindigkeit, Zielgeschwindigkeit und Zielentfernung sowie weitere Zustände und Hinweise angezeigt.

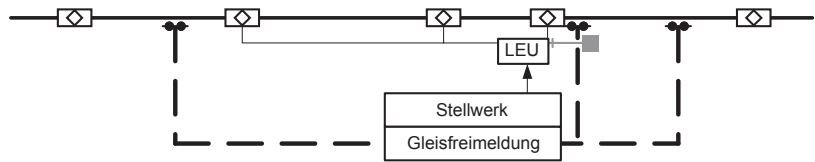
Außerhalb der ETCS-Spezifikation steht das Specific Transmission Module (STM), mit dem eine Schnittstelle vom EVC zum nationalen Zugbeeinflussungssystem hergestellt werden kann, sodass keine separate informationsverarbeitende Einheit für das nationale System benötigt wird. Für jedes nationale System ist ein eigenes STM mit entsprechender Antenne erforderlich.

10.8.9.4 Ausrüstungsstufen (Level)

Level 0

Ist das Fahrzeug mit ETCS ausgerüstet, die Strecke jedoch nicht, und kann auch ein eventuelles

Abb. 10.46 ETCS Level 1



nationales System nicht mit den ETCS-Fahrzeugkomponenten beherrscht werden, kann die ETCS-Fahrzeugausrüstung immer noch im Level 0 betrieben werden. Durch ETCS wird dabei lediglich die Istgeschwindigkeit angezeigt sowie die Geschwindigkeit des Fahrzeugs und die Geschwindigkeit für Strecken ohne Zugbeeinflussung überwacht. Letztere ist ein nationaler Wert.

Level STM

Besitzt ein ETCS-Fahrzeug auch das STM des nationalen Systems, mit dem die befahrene Strecke ausgerüstet ist, kann im Level STM gefahren werden. Über das STM werden die Informationen vom nationalen Zugbeeinflussungssystem empfangen und unter Nutzung ausgewählter ETCS-Fahrzeugkomponenten weiterverarbeitet. Dabei sind nur die Funktionen verfügbar, die das nationale System bietet.

Level 1

Im Level 1 besitzt ETCS die volle Funktionalität einer Zugbeeinflussung mit diskontinuierlicher Übertragung und kontinuierlicher Überwachung. Die Informationen werden mit Eurobalisen übertragen und können durch Infill-Elemente ergänzt werden. Es findet nur eine Kommunikation von der Strecke zum Fahrzeug statt.

Die infrastrukturseitige Gleisfreimeldung ist weiterhin erforderlich. Durch die Funktionalität des DMI kann auf ortsfeste Signale verzichtet werden, in den meisten Fällen werden sie jedoch belassen um eine Signalisierung für nicht ausgerüstete Fahrzeuge bzw. in der Rückfallebene zu haben (Abb. 10.46).

Neben den Festdatenbalisen müssen im Level 1 Transparentdatenbalisen verwendet werden, da sie das primäre Medium zur Übertragung der Movement Authority (MA) sind. Sie müssen mindestens an den ggf. virtuellen Standorten von Haupt- und Vorsignal angeordnet sein. Da eine

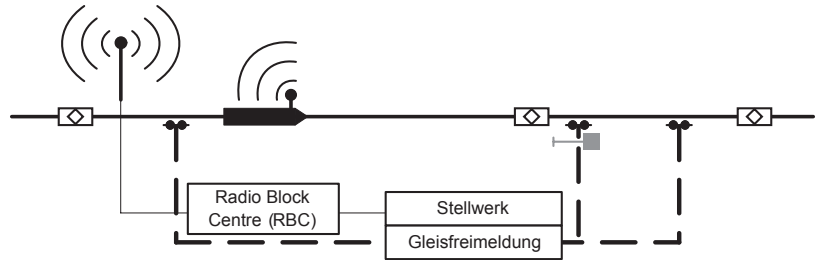
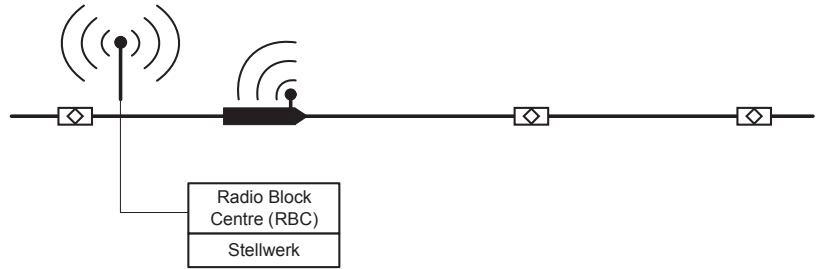
MA nur bei Überfahrt einer Transparentdatenbalise aktualisiert wird, sich die MA zwischenzeitlich aber ändern kann, ist eine häufigere Informationsübertragung wünschenswert. Dies kann auf drei Arten geschehen:

- Infill-Balisen geben zusätzliche Möglichkeiten zur punktförmigen Datenübertragung,
- mittels Euroloop können auf dessen Wirklänge linienförmig Daten übertragen werden,
- Infill-Radio ist ein örtlich begrenzter Funk, in dessen Einzugsbereich ebenfalls Daten kontinuierlich übertragen werden können.

Die in der MA enthaltenen Informationen nutzt der EVC, um daraus die dynamischen Geschwindigkeitsprofile in Abhängigkeit von den Fahrzeugeigenschaften zu berechnen und zu überwachen. Außerdem werden die Führungsgrößen auf dem DMI angezeigt.

Zukünftig wird es eine besondere Ausprägung von ETCS Level 1 geben: Der Betrieb im Modus „**Limited Supervision**“ (LS). Hierbei wird nur die Zwangsbremsgeschwindigkeit (siehe 10.8.6.5.5) überwacht und es stehen nur die Funktionen zur Verfügung, die die Schnittstellen der Stellwerke beherrschen. Aus dem beschränkten Funktionsumfang ergibt sich eine nur teilweise kontinuierliche Überwachung. Die Übertragung erfolgt ausschließlich mit ETCS-Mitteln. Damit benötigen die Fahrzeuge, die diese Strecken befahren, nur die ETCS-Ausrüstung ohne STM bzw. kein zweites Zugbeeinflussungssystem.

Der Vorteil gegenüber Level 1 ergibt sich aus der Tatsache, dass das ansteuernde Stellwerk nicht für ETCS umgebaut werden muss, sondern die bestehenden Schnittstellen zum punktförmig übertragenden nationalen System genutzt werden. Nachteilig ist, dass in den meisten Fällen diese Schnittstellen nicht alle ETCS-Funktionen bedienen können, so dass im Level 1 LS nur die Funktionen umgesetzt werden können, die die

Abb. 10.47 ETCS Level 2**Abb. 10.48** ETCS Level 3

Schnittstellen des vorangegangenen Zugbeeinflussungssystems beherrschen.

Level 2

Beim Level 2 handelt es sich um eine Zugbeeinflussung mit kontinuierlicher Übertragung und Überwachung. Die dafür notwendige ständige Kommunikation wird über GSM-R realisiert. Somit wird es möglich, Daten auch vom Fahrzeug zur Infrastruktur zu übertragen. Die Ortung des Fahrzeugs geschieht mittels Festdatenbalisen und Odometrie.

Die zentrale Schnittstelle zwischen Fahrzeug und Stellwerk ist das Radio Block Centre (RBC), dem der Standort jedes ETCS-geführten Zuges bekannt ist. Mangels einer sicheren Prüfung der Zugvollständigkeit kann daraus jedoch nicht auf die Räumung von Gleisabschnitten geschlossen werden, weshalb eine konventionelle Gleisfreiprüfung nach wie vor benötigt wird. Das Stellwerk ist weiterhin für die Fahrwegsicherung zuständig. Informationen darüber werden dem RBC zur Verfügung gestellt, was seinerseits die MA generiert (Abb. 10.47).

Wie beim Level 1 kann auch hier auf ortsfeste Signale verzichtet werden, allerdings werden häufig für nicht mit ETCS ausgerüstete Züge und als Rückfallebene dennoch Signale aufgestellt.

Die Berechnung der dynamischen Geschwindigkeitsprofile sowie die Anzeige auf dem DMI geschehen wie im Level 1.

Level 3

Level 3 ist die Weiterentwicklung von Level 2. Der ausschlaggebende Unterschied ist die Tatsache, dass für alle Züge eine Zugintegritätsprüfung erforderlich ist und im Gegenzug auf die ortsfeste Gleisfreimeldung verzichtet wird. Da nun sichergestellt ist, dass ein Zug vollständig ist, kann im Zusammenspiel mit der sicheren Ortung ein Fahren im wandernden Raumabstand („Moving Block“) realisiert werden. Dadurch verkürzen sich die minimalen Zugabstände und es erhöht sich die Streckenleistungsfähigkeit. Weil es keinen festen Raumabstand mehr gibt, können auch keine ortsfesten Signale aufgestellt werden. Insofern müssen alle Züge mit ETCS und einer Zugintegritätsprüfung ausgerüstet sein (Abb. 10.48).

Da im Level 3 das RBC für die Abstandshaltung zuständig ist, verschieben sich einige Aufgaben vom Stellwerk zum RBC. Zusammen mit dem Verzicht auf ortsfeste Signale und Gleisfreimeldung ergeben sich erhebliche infrastrukturelle Einsparungen. Durch das Fehlen einer Zugintegritätsprüfung vor allem bei Güterzügen liegt

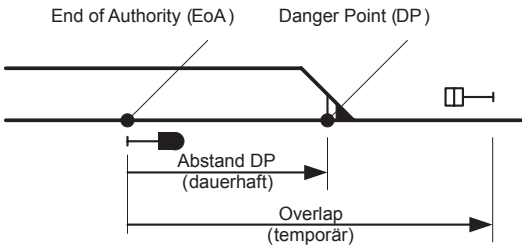


Abb. 10.49 End of Authority und Möglichkeiten der Supervised Location

jedoch eine Realisierung dieses Levels noch in weiter Ferne.

10.8.9.5 Funktionen

Fahrzeugseitige Ortung

Die fahrzeugseitige Ortung erfolgt mittels Festdatenbalisen, die sehr genau eingemessen werden und den verlegten Ort wiedergeben. Damit fungieren sie als „elektronischer Kilometerstein“. Zwischen diesen Balisen erfolgt die Ortung durch Hochrechnung der gefahrenen Strecke, die mit der Odometrie (primär durch Radumdrehungszählung) gemessen wird. Da sie mit Fehlern behaftet ist, muss das bei der Berechnung des Ortes berücksichtigt werden. Hierzu wird ein Vertrauensintervall gebildet, das mit steigender Entfernung von der letzten Positionsbalise linear größer wird.

Movement Authority (MA)

Die Erlaubnis zum Befahren eines Abschnitts wird durch die Movement Authority (MA) übertragen. Das Fahrzeug erhält die MA in Level 1 über Balisen bzw. Infill-Elemente vom Stellwerk, in Level 2 und 3 über GSM-R vom RBC.

Am Zielpunkt befindet sich die End of Authority (EoA). Außerdem wird die Supervised Location (SvL) definiert. Die SvL ist der Punkt, bis zu dem ein Gleisabschnitt als gesichert angesehen wird, falls die EoA überfahren wird. Als SvL gilt folgender Ort:

- Overlap: Durchrutschweg-Ende, wenn ein Durchrutschweg vorhanden und gesichert ist,
- Danger Point (DP): Maßgebende Gefahrstelle, wenn kein Overlap vorhanden ist,

- End of Authority (EoA): wenn weder Durchrutschweg noch Danger Point vorhanden sind (Abb. 10.49).

Die maßgebende Gefahrstelle ist der Punkt, an dem sich beim Überfahren der EoA zuerst eine Gefährdung ergibt, wenn kein Durchrutschweg eingestellt ist.

Statisches Geschwindigkeitsprofil

Infrastrukturelle Eigenschaften, wie

- EoA,
 - Geschwindigkeitsprofil der Strecke (Langsamfahrstellen, sonstige Einschränkungen),
 - signalisierte Geschwindigkeiten,
- bilden das statische Geschwindigkeitsprofil (Static Speed Profile, SSP), was per ETCS auf das Fahrzeug übertragen wird. Im ETCS-Fahrzeuggerät wird daraus und aus den fahrzeugseitigen Vorgaben das individuelle statische Geschwindigkeitsprofil (Most Restrictive Speed Profile, MRSP) berechnet.

Dynamisches Geschwindigkeitsprofil

Aus dem individuellen statischen Geschwindigkeitsprofil wird im Fahrzeug das dynamische Geschwindigkeitsprofil berechnet (Abb. 10.50), was die zulässige Geschwindigkeit (Permitted Speed, P) darstellt. Dazu werden Fahrzeug- und Streckendaten benötigt, die das individuelle Bremsverhalten beschreiben. Die wesentlichen sind:

- Bremsverzögerung bei Betriebs- und Zwangsbremmung,
- Länge des Zuges,
- Neigung der Strecke.

Die Streckendaten werden mittels ETCS übertragen, während die Fahrzeugdaten entweder vorkonfiguriert (z. B. bei Triebwagen) oder durch die Eingabe durch den Triebfahrzeugführer bekannt sind.

Überwachungskurven

Das dynamische Geschwindigkeitsprofil bildet die zulässige Geschwindigkeit ab. Um bei kleinen Ungenauigkeiten der Geschwindigkeitsregelung nicht gleich eine Zwangsbremmung hervorzurufen, wird die Geschwindigkeit in mehreren Stufen mit unterschiedlichen Folgen überwacht.

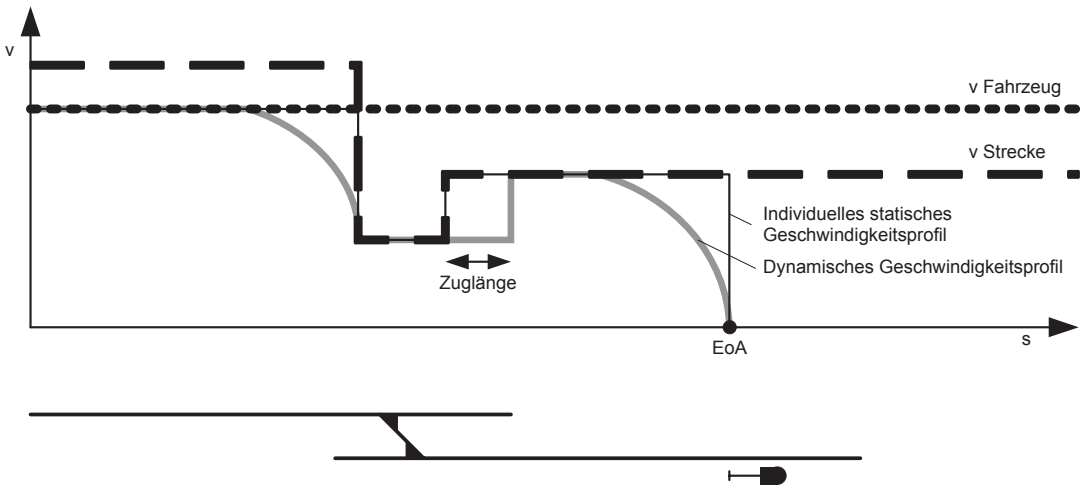


Abb. 10.50 Statisches und dynamisches Geschwindigkeitsprofil

Die zulässige Geschwindigkeit wird dem Triebfahrzeugführer auf dem DMI angezeigt. Ist eine Geschwindigkeitsreduktion zu erwarten, so wird der Triebfahrzeugführer mit dem Erreichen der Vorwarngeschwindigkeit (Preindication) auf die bevorstehende Bremsung hingewiesen. Bei geringfügiger Überschreitung der zulässigen Geschwindigkeit wird zunächst die Warnkurve (Warning, W) erreicht. Hierbei erfolgt lediglich eine Warnung des Triebfahrzeugführers. Die Warnung bleibt solange bestehen, bis die zulässige Geschwindigkeit wieder erreicht ist.

Steigt der Verstoß gegen die Geschwindigkeit weiter an, so dass die Betriebsbremseinsatzgeschwindigkeit (Service Brake Intervention, SBI) erreicht wird, erfolgt eine Betriebsbremsung durch ETCS, die bei Erreichen der zulässigen Geschwindigkeit gelöst wird. In der Bremsfahrt wird dabei eine Fahrt auf dem Profil der Betriebsbremseinsatzgeschwindigkeit (Service Brake Deceleration, SBD) angenommen. Diese ist so berechnet, dass der Fußpunkt der Kurve an der EoA liegt. Letzte Interventionsebene ist die Zwangsbremsung. Da auch hier Reaktionszeiten von Bremsen eingerechnet sind, muss die Zwangsbremseinsatzgeschwindigkeit (Emergency Brake Intervention, EBI) etwas unter der Trajektorie der Zwangsbremseinsatzgeschwindigkeit (Emergency Brake Deceleration, EBD) liegen.

Da für die Zwangsbremskurve nur die sicheren Bremsen eingerechnet werden, ist die Zwangsbremskurve flacher als die anderen Kurven. Da die anderen Kurven jedoch den definierten Abstand zur Zwangsbremskurve haben müssen, werden diese somit auch flacher, was insbesondere bei einer Fahrt auf die EoA betriebshinderlich ist. Die Behinderung wird dadurch entschärft, dass die Kurve der Zwangsbremseinsatzgeschwindigkeit an der SvL endet (Abb. 10.51). Befinden sich SvL und EoA am gleichen Standort, muss die Behinderung jedoch hingenommen werden.

Betriebsmodi

Je nach betrieblichem und technischem Zustand sind in ETCS verschiedene Betriebsmodi definiert. Hierbei variieren das Überwachungsniveau und der Grad der Verantwortung des Triebfahrzeugführers. Um eine Anpassung an nationale Gegebenheiten zu erreichen, werden für verschiedene Vorgabewerte (meist Geschwindigkeiten) nationale Werte (national values) definiert.

Full Supervision (FS)

Sofern möglich, wird in den Leveln 1, 2 und 3 der Modus Full Supervision (FS) angestrebt. Hierbei besteht eine vollständige Überwachung durch ETCS.

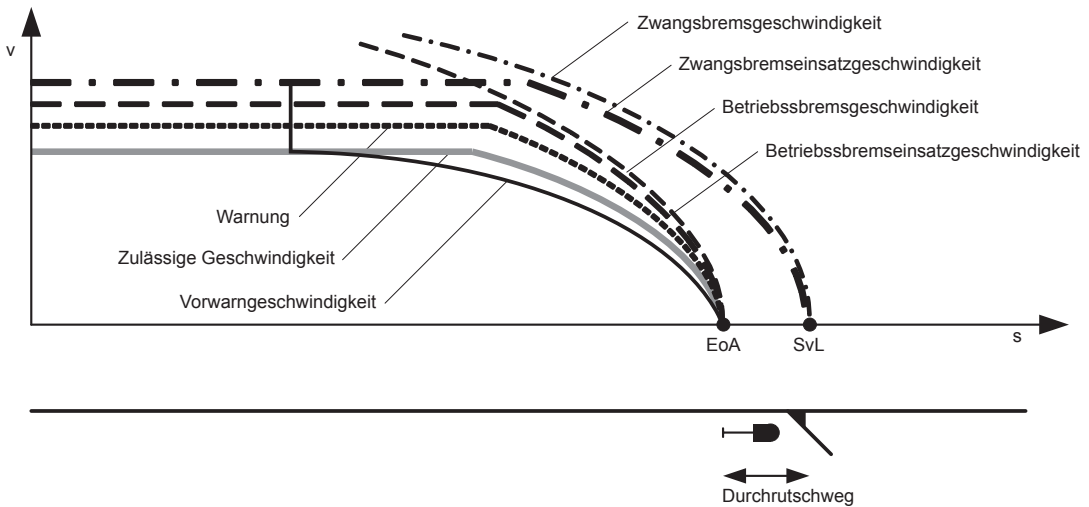


Abb. 10.51 ETCS-Überwachungskurven

Limited Supervision (LS)

Im Modus Limited Supervision (LS) sind, wie der Name schon aussagt, nur eingeschränkte Überwachungsfunktionen aktiv. Der Triebfahrzeugführer erhält seine Fahrerlaubnis ausschließlich durch ortsfeste Signale, die Führerraumsignalisierung zeigt keine Führungsgrößen an. Es wird nur die Zwangsbremsekurve überwacht.

On Sight (OS)

Der Modus On Sight (OS) wird streckenseitig kommandiert und dient der Fahrt auf Sicht in ein möglicherweise besetztes Gleis. Dabei erfolgt eine Überwachung der Geschwindigkeit nach nationalem Wert (D: 40 km/h).

Shunting (SH)

Für Rangierfahrten dient der Modus Shunting (SH). Auch hier wird eine Geschwindigkeit nach nationalem Wert (D: 40 km/h) überwacht. Für den Modus müssen keine Zugdaten eingestellt sein. Der erlaubte Bereich des Rangierens wird durch Balisen überwacht.

Staff Responsible (SR)

Soll ohne eine MA gefahren werden, wie z. B. nach Aufrüsten des Fahrzeugs, Fahrt auf Befehl oder Verlust der Verbindung zum RBC, muss der Modus Staff Responsible (SR) gewählt werden. Hierbei geht die Verantwortung für den Fahr-

weg auf den Triebfahrzeugführer über. Es erfolgt ebenfalls eine Überwachung auf eine Geschwindigkeit nach nationalem Wert (D: 40 km/h). Eine Begrenzung für eine maximal zurückzulegende Strecke ist möglich.

STM National (SN)

In STM National (SN) erfolgt die Überwachung durch ein nationales System unter Nutzung von ETCS-Fahrzeugkomponenten, wie z. B. Odometrie oder DMI. Voraussetzung ist die Ausrüstung des Fahrzeugs mit den Antennen des nationalen Systems.

Reversing (RV)

Reversing (RV) dient dem Rückwärtsfahren zur Evakuierung vor allem aus Tunneln. Wo dieser Modus infrastrukturell zugelassen ist, kann ohne Führerraumwechsel rückwärts mit begrenzter Geschwindigkeit für eine begrenzte Strecke gefahren werden.

Trip (TR)

Bei einer durch ETCS ausgelösten Zwangsbremse wird automatisch in den Modus Trip (TR) gewechselt. Der Modus bleibt bis zum Stillstand des Fahrzeugs erhalten.

Post Trip (PT)

Nach Halt im Modus Trip und Bestätigung durch den Triebfahrzeugführer kommt nur ein Wechsel in Post Trip (PT) in Frage. In diesem Modus ist nur das Rückwärtsfahren mit einer beschränkten Länge möglich. Anschließend kann in Shunting gewechselt werden oder, um eine neue MA zu erhalten, im Level 1 in den Modus Staff Responsible bzw. in den Levels 2 und 3 direkt in Full Supervision nach Erhalt einer MA.







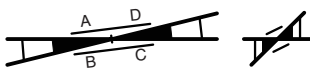
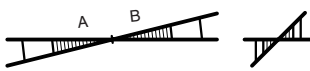












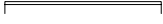

Weitere Modi

- Stand By (SB): Grundzustand nach Einschalten des Fahrzeugs
- Non Leading (NL): Für nicht vom führenden Fahrzeug aus gesteuerte Triebfahrzeuge
- Sleeping (SL): Für vom führenden Fahrzeug aus gesteuerte Triebfahrzeuge

- Unfitted (UN): Zur Befahrung von Strecken im Level 0
- Isolated (IS): Zur Abtrennung des ETCS-Fahrzeuggerätes von den übrigen Einrichtungen des Fahrzeugs bei Fehlfunktionen
- No Power (NP): Bei Ausfall der Energieversorgung, Einleitung der Zwangsbremmung
- System Failure (SF): Bei sicherheitsrelevanten Ausfällen, Einleitung der Zwangsbremmung.

Danksagung Der Autor dankt folgenden Personen für ihre Unterstützung: Dr.-Ing. Gregor Theeg (Siemens), Dr.-Ing. Robert Leemann (SBB), Dipl.-Ing. Dr.-techn. Andreas Schöbel (TU Wien)

Symbolverzeichnis

| | |
|---|--|
|  | Vorsignal |
|  | Hauptsignal |
|  | Mehrabschnittsignal |
|  | Sperrsignal |
|  | Weiche, fernbedient |
|  | Weiche, ortsbedient |
|  | Doppelte Kreuzungsweiche, fernbedient |
|  | Starre Kreuzung |
|  | Kreuzung, doppeltes Herzstück mit beweglichen Spitzen |
|  | Gleissperre, fernbedient |
|  | Radsensor (Achszählkontakt, richtungsselektiv) |
|  | Isolierstoß, einseitig |
|  | Isolierstoß, zweiseitig |
|  | Punktförmiges Gleisschaltmittel (Schienenkontakt) |
|  | Fahrzeugsensor |
|  | PZB-Gleismagnet 500/1000/2000 Hz |
|  | PZB-Gleismagnet 1000 und 2000 Hz |
|  | Balise, allgemein |
|  | Stellwerk, mechanisch, mit Bediener und Bedieneinrichtung |
|  | Stellwerk, elektrisch, ohne Bediener und Bedieneinrichtung |
|  | Bahnsteig, einseitig |
|  | Bahnsteig, zweiseitig |

Jens Braband

11.1 Einleitung

Die Eisenbahn ist unbestreitbar nach wie vor eines der sichersten Verkehrsmittel, im Sicherheitsniveau nur mit der zivilen Luftfahrt vergleichbar. Allerdings treten wie in anderen komplexen Systemen trotz des hohen technischen und organisatorischen Aufwands zur Unfallvermeidung immer wieder Unfälle auf, teilweise mit katastrophalen Folgen. Es ist mittlerweile anerkannter Stand der Wissenschaft, dass solche Unfälle selten einfache Ursachen haben und sich hinter den offensichtlichen oder direkten Ursachen, zum Beispiel menschlichen Fehlhandlungen, ein ganzer „Eisberg“ von latenten oder indirekten Ursachen verbirgt (auch Grundursachen oder root causes genannt). Ähnliches gilt für Unfälle, hinter denen sich eine Vielzahl von Beinahe-Unfällen oder Gefährdungen verbergen, siehe Abb. 11.1.

11.1.1 Wesentliche Unfallursachen

Das zentrale Ziel der Sicherheitsarbeit besteht daher darin, diese Ursachen, soweit möglich, zu vermeiden oder zu beherrschen.

Grundsätzlich lassen sich die Ursachen in drei Gruppen einteilen:

1. unzureichende technische Aktivitäten,
2. ineffektive Organisation und Kommunikation (Management),
3. Schwachstellen in der Sicherheitskultur.

11.1.2 Beispiel

Am 4. Januar 2000 kam es nahe Åsta (Norwegen) zu einem schweren Eisenbahnunfall mit 19 Todesopfern. Die eingleisige Strecke wird aus einem Kontrollzentrum ferngesteuert, die meisten Bahnhöfe sind unbesetzt. Die Einführung einer Zugbeeinflussung war geplant, aber noch nicht realisiert. Stark vereinfacht war der zeitliche Ablauf wie folgt:

- 13:07 Beide Züge fahren ab.
- 13:08 Bei Ausfahrt des Zuges in Rudstadt (dem aktuellen Kreuzungsbahnhof) wird eine Weiche aufgefahren, die für die Einfahrt des Gegenzugs gestellt war.
- 13:12 Im Kontrollzentrum wird bemerkt, dass sich beide Züge auf Kollisionskurs befinden. Es gelingt nicht, die Handy-Nummern der beiden Triebfahrzeugführer rechtzeitig zu finden, um diese noch zu warnen.
- 13:13 Die beiden Züge kollidieren und geraten in Brand (Dieseltriebzüge).

Zu den im Untersuchungsbericht angegebenen Ursachen zählten insbesondere:

- Im Kontrollzentrum wurde die aufgefahrene Weiche nur durch einen 16 mm hohen Hinweistext am Bildschirmrand angezeigt, nicht

J. Braband (✉)
Siemens AG, 38126 Braunschweig, Deutschland
E-Mail: jens.braband@siemens.com

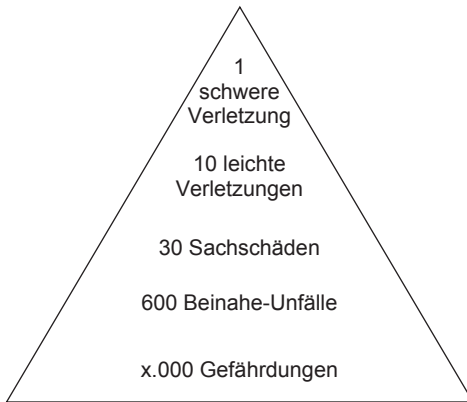


Abb. 11.1 Das Eisberg-Modell

durch einen akustischen Alarm. Dadurch wurde diese Situation erst sehr spät offenbart (unzureichende technische Aktivität).

- Ursprünglich mussten sowohl Triebfahrzeugführer als auch Zugführer die Ausfahrtsignale beobachten und der Abfahrt zustimmen. Nach einer Änderung der Vorschriften (Hintergrund Personaleinsparung) war hierfür nur noch der Triebfahrzeugführer alleine verantwortlich (Management).
- Der Bahn-Zugfunk war auf dieser Strecke abgeschafft worden. Stattdessen wurden Handys an die Triebfahrzeugführer ausgegeben. Es gab keine Vorschriften, wie die Rufnummern bekannt gemacht und verwaltet werden sollten. Das Personal im Kontrollzentrum hatte sich eine praktische Handhabung überlegt, die aber am Unglückstag versagte (Management)
- Die Kreuzung der Züge war nicht vorab bestimmt, sondern wurde dynamisch nach Betriebslage vereinbart (Management).
- Berichten über die Anzeige von fehlerhaften Signalbegriffen von Triebfahrzeugführern wurde nicht ausreichend nachgegangen (Sicherheitskultur).

11.1.3 Epochen der Systemsicherheit

Etwa in der o. a. Reihenfolge hat man sich auch historisch den Sicherheitsproblemen zugewandt. Es wurden zunächst verstärkt technische Verbesserungen gesucht, bevor das Sicherheitsmanagement in den Fokus der Aufmerksamkeit

geriet. Die Betrachtung dieser beiden Bereiche ist „Stand der Technik“ geworden, wie auch ihre Berücksichtigung in Normen belegt. In Zukunft wird aber verstärkt das Thema „Sicherheitskultur“ zum Gegenstand der Betrachtungen werden, da hier das größte Potenzial zur weiteren Verringerung der Unfallhäufigkeit liegt, siehe Abb. 11.2 für eine schematische Darstellung.

Sicherheit muss also als ganzheitlicher Ansatz gesehen werden, bei dem es insbesondere auf eine ausgewogene Mischung aus reaktiven Elementen (z. B. Unfallanalysen, Lernen aus Fehlern...) sowie pro-aktiven Elementen (z. B. Risikoanalysen...) ankommt.

11.2 Definition des Begriffs Sicherheit

11.2.1 Klassische Definitionen

Der Begriff „Sicherheit“ war aus Sicht der Gesetzgebung zunächst nur abstrakt bestimmt:

Die Eisenbahnen sind verpflichtet, ihren Betrieb sicher zu führen und die Eisenbahninfrastruktur, Fahrzeuge und Zubehör sicher zu bauen und in betriebssicherem Zustand zu halten.(Allgemeines Eisenbahngesetz, § 4(1))

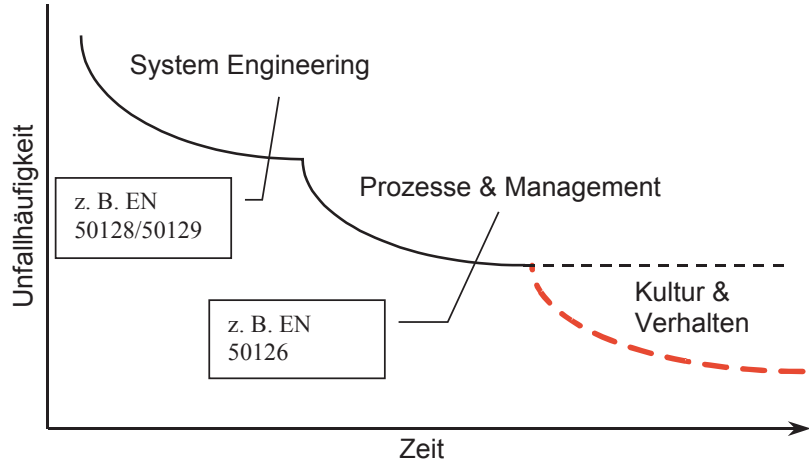
Bahnanlagen und Fahrzeuge müssen so beschaffen sein, daß sie den Anforderungen der Sicherheit und Ordnung genügen. Diese Anforderungen gelten als erfüllt, wenn die Bahnanlagen und Fahrzeuge den Vorschriften dieser Verordnung und, soweit diese keine ausdrücklichen Vorschriften enthält, anerkannten Regeln der Technik entsprechen. (Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung, § 2 (1))

Damit hat der deutsche Gesetzgeber bisher die Ausgestaltung des Begriffs „Sicherheit“ im Wesentlichen den einschlägigen Fachkreisen, i. d. R. Normungsgremien, überlassen. Dies hat sich erst in den letzten Jahren teilweise durch die von der Europäischen Eisenbahngagentur (ERA) erarbeiteten Verordnungen verändert, z. B. durch die sog. „CSM-Verordnung“.

In diesem Kapitel wird lediglich ein wichtiger Teilaspekt davon betrachtet:

- ▶ „Funktionale Sicherheit“: der Teil der Sicherheit, der von der korrekten Funktion des betrachteten Systems abhängt.

Abb. 11.2 Epochen der Systemsicherheit



Beispiel: eine Tür kann eine oder mehrere Funktionen haben, z. B. Zugangsschutz, Sichtschutz, Lärmschutz etc. Je nachdem, welche Anforderungen gestellt werden, sieht die technische Lösung anders aus, enthält z. B. einen Schließmechanismus oder nicht. Wenn es sich z. B. um eine kraftbetätigte automatische Bahnsteigtür handelt, so bestehen funktionale Sicherheitsanforderungen u. a. darin, dass die Tür nicht zur Unzeit öffnen darf, dass sie keine Menschen beim Schließen verletzen darf etc. Aber auch an das Ausfallverhalten müssen funktionale Sicherheitsanforderungen gestellt werden z. B. an das Verhalten bei Stromausfall.

Daneben gibt es natürlich noch viele weitere Aspekte, die zum Thema Sicherheit betrachtet werden müssen, hier aber aus Platzgründen nicht berücksichtigt werden können, wie z. B. elektrische Sicherheit, Brandschutz, elektromagnetische Verträglichkeit etc.

In Deutschland war die Vorgehensweise weit verbreitet, „Sicherheit“ regelorientiert zu definieren, wie in VDE 0831 und Mü8004:

Die *Fähigkeit einer Sicherungsanlage*, bei bestimmungsgemäßem Einsatz, ordnungsgemäßer Instandhaltung und vorschriftsmäßiger Handhabung während einer vorgegebenen Brauchbarkeitsdauer *Gefährdungen durch Funktionsversagen* in dem Umfang, der nach dem *Stand der Technik* erforderlich ist, auch dann zu verhindern, wenn *Bauelementeausfälle und Störungen* in der zu *Beanspruchungsbeginn als fehlerfrei angesehenen* Sicherungsanlage eintreten.

Dabei wurde pragmatisch jede Komponente einer Sicherungsanlage in eine von mehreren Anforderungs-

klassen eingeteilt (teilweise schematisch, teilweise aufgrund einer Risikoabschätzung, z. B. mit dem Risikographen nach VDV 331, siehe Abb. 11.12), zu jeder Anforderungsklasse wurden dann qualitative Vorschriften aufgestellt. Bei Einhaltung aller zu einer Anforderungsklasse gehörenden Regeln galten die Komponenten als „sicher“.

Der wesentliche Nachteil dieser Vorgehensweise bestand darin, dass den Regeln gewisse Annahmen zugrunde lagen, z. B. bezüglich der Architektur der Sicherungsanlage, die vorzüglich auf eine bestimmte Lösung passten, andere Lösungen dadurch aber ausschlossen. Dadurch erwies sich dieser Ansatz als wettbewerbs- und fortschrittshemmend, z. B. was den Einsatz neuer Technologien angeht. Zwar hätte man bei neuen Lösungen oder Technologien den Ansatz um neue Regeln erweitern können, aber bei der Vielzahl neuer Technologien und der durchschnittlichen Abstimmungsdauer in Fachgremien war dieser Ansatz nicht mehr durchzuhalten.

11.2.2 Moderne, risikoorientierte Definition

Das sogenannte „neue Konzept“ der Europäischen Union, das der technischen Harmonisierung mit Ziel, Beschränkungen des freien Warenverkehrs zu vermeiden, dient, verfolgt einen risikobasierten Ansatz. Gegenüber dem früher verfolgten Ansatz, hoch detaillierte technische

Rechtsvorschriften für einzelne Produktkategorien zu beschließen, beschränkt sich das neue Konzept auf die Festlegung und Durchsetzung der wesentlichen Sicherheitsanforderungen.

Als weitere Motivation im Eisenbahnbereich ist noch die EU-Eisenbahn-Sicherheitsrichtlinie zu nennen, die u. a. das Ziel hat, die Sicherheit der verschiedenen europäischen Eisenbahnen zu vergleichen und zu optimieren. Sie verlangt u. a. die schrittweise Einführung von gemeinsamen Sicherheitszielen (Common Safety Targets) sowie Sicherheitsanalysemethoden (Common Safety Methods), um auch vor dem Hintergrund der weiter voranschreitenden Privatisierung der Eisenbahnen das erreichte hohe Sicherheitsniveau zu erhalten. Dies ist nur mit einem risikobasierten Ansatz erreichbar.

Die wesentlichen, diesem Konzept auch in den CENELEC-Normen zugrunde liegenden Definitionen sind

► Sicherheit (safety): die Abwesenheit von unvermeidbaren Schadensrisiken

Risiko (risk): die Kombination der Wahrscheinlichkeit des Eintretens von (durch Gefährdungen verursachten) Unfällen und Zwischenfällen, die zu einem Schaden führen, und des Ausmaßes dieses Schadens.

Schaden (harm): physische Verletzung oder Schädigung der Gesundheit von Menschen

Tolerierbares Risiko (tolerable risk): Risiko, das basierend auf den aktuellen gesellschaftlichen Wertvorstellungen in einem gegebenen Zusammenhang tragbar ist

Gefährdung (hazard): Umstand, der zu einem Unfall führen könnte

Diese Definition der Sicherheit unterscheidet sich fundamental von der o. a. klassischen Definition, denn es ist die Abwesenheit eines unzulässig hohen Risikos nachzuweisen (im Gegensatz zu der Implementierung gewisser technischer Regeln). Ergänzend sei bemerkt, dass in Risikodefinitionen zwar häufig von Wahrscheinlichkeiten gesprochen wird, damit aber im engeren Sinn die Auftretenswahrscheinlichkeit von (seltenen) Ereignissen pro Zeit gemeint ist, d. h. (mathematisch) eine Ereignisrate oder (umgangssprach-

lich) eine Ereignishäufigkeit, z. B. im Mittel ein gefährliches Ereignis pro 1000 Jahre.

11.2.3 Risikoorientierter Ansatz

Es wird damit eingestanden, dass komplexe technische Systeme grundsätzlich nicht vollständig fehler- oder ausfallfrei ausgeführt werden können und daher ein gewisses Restrisiko gesellschaftlich in Kauf genommen werden muss. Daher muss ein vertretbares Risiko definiert werden, das nach Betrachtung aller wirksamen Schutzmaßnahmen unterschritten werden muss. Während häufig in den risikoorientierten Normen implizit davon ausgegangen wird, dass das Restrisiko quantitativ bewertet wird, bietet die CSM-Verordnung drei alternative, aber gleichwertige Grundsätze zur Risikoakzeptanz an:

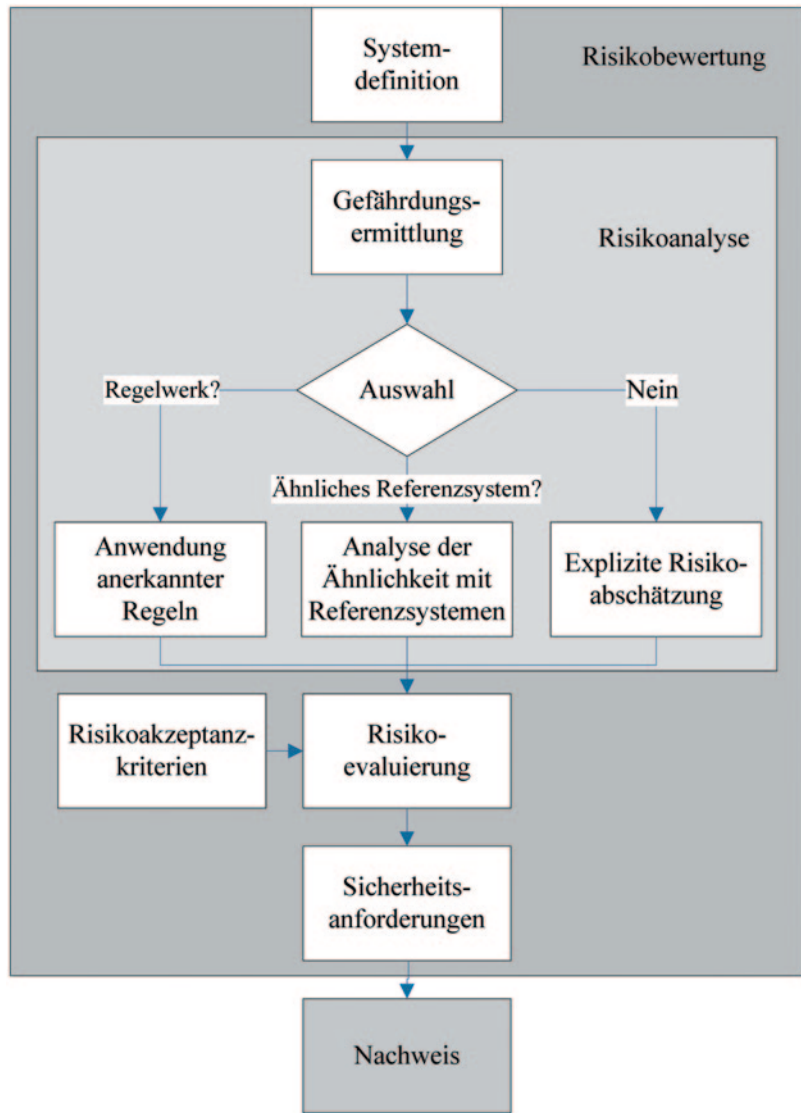
1. Anwendung der anerkannten Regeln der Technik
2. Vergleich mit ähnlichen Systemen
3. explizite Risikoabschätzung

11.2.4 Europäische gesetzliche Vorgaben

Im engeren Sinn gilt die CSM-Verordnung, die seit dem 1. Juli 2012 verbindlich ist, nicht für den kompletten Eisenbahnverkehr, z. B. ist der Nahverkehr formal ausgenommen. Auch gilt die CSM-Verordnung nur für sogenannte signifikante Änderungen. Das sind im engeren Sinn Änderungen am Eisenbahnsystem, die sich durch ein hohes Maß an Komplexität und Innovation auszeichnen, so dass eine Risikobewertung nach harmonisierten Methoden und Grundsätzen angebracht erscheint. Allerdings beruhen diese Grundsätze auf dem Stand der Technik und in diesem Abschnitt wird der Ansatz daher ohne Berücksichtigung der genannten Ausnahmen dargestellt, auch um die Darstellung zu vereinfachen.

Das Risikomanagementverfahren gilt für das komplette Eisenbahnwesen, umfasst also insbesondere die Bewertung von Risiken, die sich aus technischen, betrieblichen und organisatorischen

Abb. 11.3 Das Risikomanagementverfahren nach CSM-Verordnung (vereinfacht)



Änderungen ergeben. Hier wird es nur in dem Detaillierungsgrad dargestellt, wie es aus dem Blickwinkel der funktionalen Sicherheit notwendig ist. Einen Überblick über das Risikomanagementverfahren bietet Abb. 11.3.

Für Bewertung der funktionalen Sicherheit technischer Systeme sind die in den CENELEC-Normen angegebenen Vorgehensweisen zur Risikobewertung eine echte Untermenge des Risikomanagementverfahrens der CSM-Verordnung, d. h. erfüllt man die Vorgaben der CENELEC-Normen zur funktionalen Sicherheit, so erfüllt man auch die CSM-Verordnung. Allerdings bietet die CSM-Verordnung weitere Grundsätze zur

Risikoakzeptanz und last but not least stellt die CSM-Verordnung ein unmittelbar in allen Mitgliedsstaaten gültiges Gesetz dar.

An dieser Stelle soll nur auf die Elemente der CSM-Verordnung eingegangen werden, die über die Vorgaben der Normung hinausgehen, die anderen Elemente werden in den nächsten Kapitel im Rahmen der Diskussion der Normen behandelt.

11.2.4.1 Anwendung der anerkannten Regeln der Technik

Die CSM-Verordnung führt formal zusätzliche Grundsätze der Risikoakzeptanz ein, die zwar häufig schon in der Praxis verwendet wurden,

aber nicht formalisiert wurden. Ein wichtiger Grundsatz besteht darin, dass Risiken dann vertretbar sind, wenn die mit ihnen verbundenen Gefährdungen komplett durch Anwendung von Regelwerk (Code of Practice) ausgeräumt werden können. Die im Deutschen verwendete Übersetzung „anerkannte Regeln der Technik“ geht leider weit über den ursprünglichen Sinn der CSM-Verordnung hinaus, denn Regelwerke müssen lediglich die folgenden Anforderungen erfüllen:

- Sie müssen im Eisenbahnsektor allgemein anerkannt sein. Ist dies nicht der Fall, müssen sie begründet werden und für die Bewertungsstelle akzeptabel sein.
- Sie müssen für die Kontrolle der betreffenden Gefährdungen in dem System, das der Bewertung unterzogen wird, relevant sein.
- Sie müssen für alle Akteure, die sie anwenden wollen, öffentlich zugänglich sein.

Dies bedeutet in der Praxis vor allem, dass nicht für alle Risiken quantitative Sicherheitsanforderungen definiert werden müssen.

11.2.4.2 Vergleich mit einem Referenzsystem

Sicherheitsanforderungen können auch dadurch bestimmt werden, dass bez. einer oder mehrerer Gefährdungen die Sicherheitsanforderungen eines ähnlichen Referenzsystems übernommen werden. Ein solches Referenzsystem muss die folgenden Eigenschaften besitzen:

- Es hat sich bereits in der Praxis bewährt, weil es ein akzeptables Sicherheitsniveau gewährleistet, und es würde in dem Mitgliedstaat, in dem die Änderung eingeführt werden soll, nach wie vor eine Genehmigung erhalten.
- Es verfügt über ähnliche Funktionen und Schnittstellen wie das System, das der Bewertung unterzogen wird.
- Es wird unter ähnlichen Betriebsbedingungen eingesetzt wie das System, das der Bewertung unterzogen wird.
- Es wird unter ähnlichen Umweltbedingungen eingesetzt wie das System, das der Bewertung unterzogen wird.

Entscheidend ist hier, dass die Systeme lediglich hinreichend ähnlich, nicht aber identisch sein müssen. Sind die Unterschiede zwischen den Systemen gering, so können sie vernachlässigt

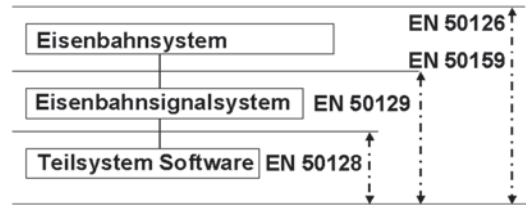


Abb. 11.4 Geltungsbereich ausgewählter CENELEC-Normen

werden. Sind sie dagegen so groß, dass sie ins Gewicht fallen, so kann sich ggf. die Risikoanalyse auf die Untersuchung der Unterschiede beschränken.

11.2.5 Bedeutung der Normen

Unter risikobasiertem Ansatz wurde bisher in der Normung jede Vorgehensweise verstanden, bei der die Sicherheit über einen Risikogrenzwert definiert wird, dies wird in der CSM-Verordnung als explizite Risikoabschätzung bezeichnet. Zum Zeitpunkt der Verfassung des Manuskripts befanden sich die Normen EN 50126 sowie EN 50129 in Überarbeitung und der Prozess der Anpassung der Normen an die CSM-Verordnung war noch nicht abgeschlossen, deswegen wird hier, um Missverständnisse zu vermeiden, immer von expliziter Risikoabschätzung gesprochen.

Bei der Implementierung des risikoorientierten Ansatzes in der Eisenbahntechnik kommt den Normen eine zentrale Bedeutung bei, denn sie definieren den Stand der Technik und enthalten i. d. R. konkretere Vorgaben und detailliertere Ausprägungen als die CSM-Verordnung. Dabei muss allerdings immer ihr Geltungsbereich berücksichtigt werden, siehe Abb. 11.4.

In der Normung kommt dem Bereich Risikoanalyse eine zweifache Bedeutung zu. Im Mittelpunkt steht dabei zuerst die Festlegung zu Vorgehensweisen und Methoden für Risikoanalysen, siehe z. B. EN 50126 oder EN 50129. Diese müssen dann projektspezifisch angewendet werden, um die Sicherheit eines Systems nachzuweisen. Es ist andererseits aber auch möglich, für standardisierte Produkte eine Risikoanalyse durchzuführen und die Ergebnisse selbst in eine Produktnorm zu übernehmen. Dies bedeutet, dass fortan

für das standardisierte Produkt keine Risikoanalyse mehr gemacht werden muss, sondern lediglich die Anforderungen der Produktnorm eingehalten werden müssen.

11.3 Risikoanalyse

Um die Motivation für die Festlegungen in den CENELEC-Normen besser verstehen zu können, muss man die grundlegenden technischen und politischen Anforderungen an eine international abgestimmte Vorgehensweise kennen:

1. Der Ansatz soll risikoorientiert sein
2. Die Vorgehensweise soll diskriminierungsfrei sein, d. h. die Definition von Sicherheitsanforderungen darf weder bestimmte technische Lösungen noch Hersteller bevorzugen
3. Die Vorgehensweise soll flexibel und offen für neue Technologien sein.
4. Die Verantwortung der beteiligten Parteien soll klar festgelegt werden.

Während Forderung 1 sich aus der Definition der Sicherheit ergibt, ist Forderung 2 eine politische Vorgabe der Europäischen Union, um den Binnenmarkt zu fördern. Forderung 3 ist zum Teil auch politisch motiviert, hat aber ihren Hintergrund auch in den Sachzwängen der Arbeit der Normungsgremien, denn i. d. R. dauert es mindestens drei Jahre, bis substanzielle Änderungen in internationalen Normen abgestimmt sind (bei Neuerstellung ist sogar mit fünf Jahren zu rechnen). Forderung 4 entspricht einem Wunsch vor allem der Hersteller und Betreiber, die sich klare Zuständigkeiten (und damit auch Kostenverantwortung) wünschen.

11.3.1 Prozess der expliziten Risikoanalyse

Der hier dargestellte Prozess („Sanduhr“) wurde für die europäische Eisenbahnsignaltechnik in der EN 50129 normativ festgeschrieben, er wird mittlerweile in den Entwürfen zur neuen EN 50126 für alle Gewerke empfohlen (siehe Abb. 11.5).

Den Mittelpunkt des Prozesses bildet eine klar definierte Schnittstelle zwischen den Betriebsanforderungen und dem Sicherungssystem als der technischen Lösung.

- ▶ Es ist Aufgabe des Betreibers, eine Risikoanalyse durchzuführen, insbesondere:
 - die Funktionsanforderungen für das betreffende System (unabhängig von dessen technischer Ausführung) festzulegen, wie etwa die Art des Betriebsprogramms (Signalisierungsprinzipien), Betriebsparameter (Geschwindigkeit, Zugdichte), Systemgrenzen usw.,
 - systemrelevante Gefährdungen (Hazards) zu identifizieren,
 - die Folgen von Gefährdungen zu analysieren,
 - sicherzustellen, dass das sich ergebende Risiko tolerierbar ist, und
 - die tolerierbaren Gefährdungsraten (THR) abzuleiten.
- ▶ Der Hersteller ist verpflichtet, eine Gefährdungsanalyse durchzuführen, insbesondere:
 - Festlegung der Systemarchitektur unter Berücksichtigung der tolerierbaren Gefährdungsraten für jede Gefährdung,
 - Analyse der Ursachen für jede Gefährdung und
 - Bestimmung der Sicherheitsanforderungen (Sicherheitsanforderungsstufe und Gefährdungsraten) für Funktionen bzw. die sie implementierenden Teilsysteme.

In der Ursachenanalyse wird die tolerierbare Gefährdungsraten für jede Gefährdung unter der Berücksichtigung der gewählten Sicherheitsarchitektur auf die Ebene der Systemfunktionen aufgeteilt. Auf dieser Ebene werden Sicherheitsanforderungsstufen für die Teilsysteme, die die Funktionalität realisieren, festgelegt. Die Gefährdungsraten für ein Teilsystem wird anhand von Tab. 11.1 (sog. SIL-Tabelle) in eine Sicherheitsanforderungsstufe umgesetzt. Dabei wurde die SIL-Tabelle aus der Sicherheitsgrundnorm IEC 61508 übernommen. Die Einhaltung dieser

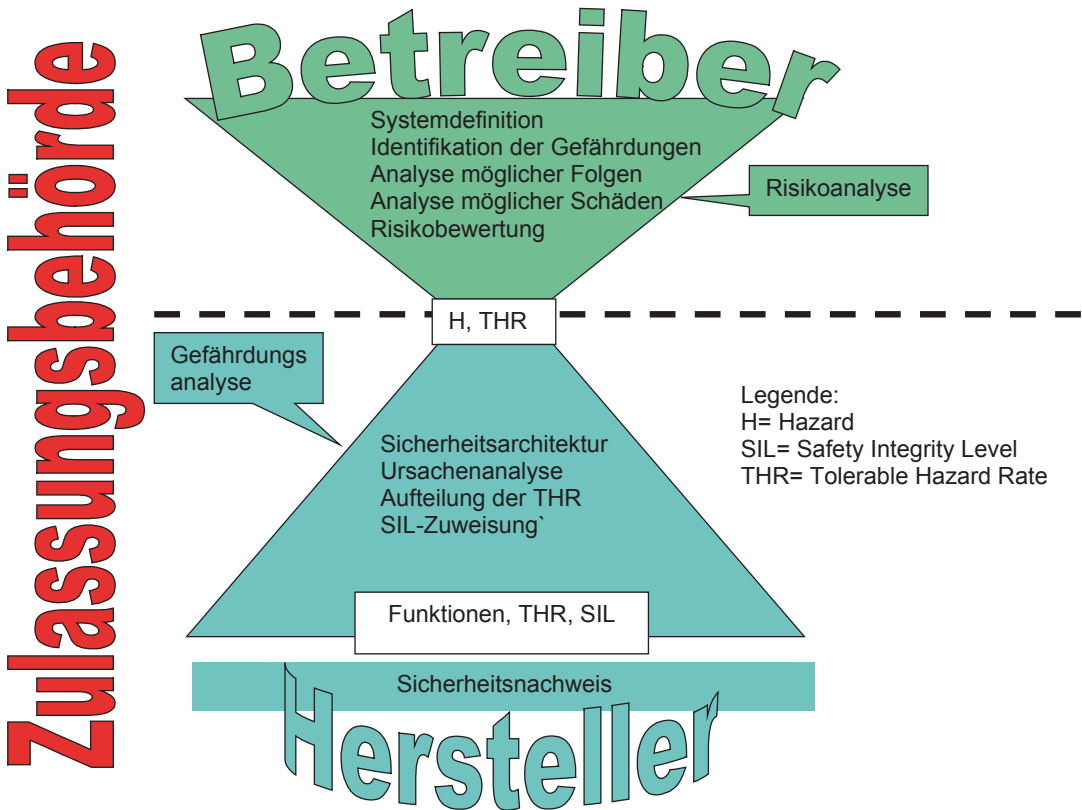


Abb. 11.5 Sanduhr-Modell

Tab. 11.1 Zuordnung von THR zu SIL nach EN 50129

| Tolerierbare Gefährdungsrate THR pro Stunde und pro Funktion | Sicherheitsanforderungsstufe (SIL) |
|--|------------------------------------|
| $10^{-9} \leq \text{THR} < 10^{-8}$ | 4 |
| $10^{-8} \leq \text{THR} < 10^{-7}$ | 3 |
| $10^{-7} \leq \text{THR} < 10^{-6}$ | 2 |
| $10^{-6} \leq \text{THR} < 10^{-5}$ | 1 |

- ▶ Passive Sicherheitskonzepte beschäftigen sich vornehmlich mit der Reduktion des Schadensausmaßes, d. h. der Verringerung der Unfallfolgen.
- ▶ Aktive Sicherheitskonzepte beschäftigen sich vornehmlich mit der Reduktion der Schadenswahrscheinlichkeit, d. h. der Vermeidung von Unfällen.

Sicherheitsanforderungen muss dann im Sicherheitsnachweis gezeigt werden.

11.3.2 Definition von Sicherheitszielen

11.3.2.1 Aktive und passive Sicherheit

Ausgehend von der risikoorientierten Definition der Sicherheit gibt es zwei grundsätzliche Ansätze, die Sicherheit zu verbessern:

Beispiele für passive Sicherheitskonzepte sind z. B. Maßnahmen zur Verbesserung der Crashsicherheit bei Fahrzeugen oder Verbesserung des Notfallmanagements, d. h. z. B. zeitnahe medizinische Versorgung von Unfallopfern. Im Mittelpunkt der funktionalen Sicherheit stehen allerdings natürlich aktive Sicherheitskonzepte, z. B. Schutzsysteme, die Unfälle oder kritische Situationen vermeiden bzw. deren Wahrscheinlichkeit verringern.

11.3.2.2 Zuverlässigkeitsfunktion

Bei aktiven Sicherheitskonzepten wird nur die Verringerung der Wahrscheinlichkeit von Unfällen durch Sicherheitssysteme betrachtet. Dabei steht im Mittelpunkt des Interesses die Wahrscheinlichkeit, dass ein Sicherheitssystem, das zum Zeitpunkt 0 in Einsatz gebracht wurde, bis zum Zeitpunkt t durchgehend funktionsfähig ist (unter definierten Randbedingungen wie Einsatzumgebung, Wartung etc.). Dies kann man mathematisch in Form der sog. Zuverlässigkeitsfunktion, nämlich der Wahrscheinlichkeit, dass die Funktionsdauer X des Sicherheitssystems größer als t Zeiteinheiten ist, ausdrücken:

$$R_H(t) = P(X > t)$$

Diese Definition ist auch aus der Zuverlässigkeitstheorie bekannt. Bei Sicherheitsbetrachtungen wird zur Unterscheidung häufig noch der Index H (für Hazard) mitgeführt.

Das Komplement der Zuverlässigkeitsfunktion

$$F(t) = 1 - R_H(t)$$

wird dann auch die „Lebensdauerverteilung“ des Sicherheitssystems genannt und ihre Ableitung (falls sie existiert) $F'(t) = f(t)$ die Verteilungsdichte der Lebensdauer.

Ist die Zuverlässigkeitsfunktion für ein System bekannt, so kann man alle für Sicherheitsanalysen nötigen Fragestellungen mit ihr beantworten.

11.3.2.3 Häufigkeit von Gefährdungen

Bei sicherheitstechnischen Systemen tritt i. d. R. durch unerkanntes Versagen eines Sicherheitssystems zumindest eine Gefährdung ein, aus der sich dann ggf. durch gleichzeitiges Eintreten weiterer ungünstiger Faktoren ein Unfall resultieren kann. Daher sind die mittlere Dauer bis zur ersten Gefährdung bzw. der mittlere Abstand zwischen Gefährdungen MTBHE (Mean Time Between Hazardous Events) oder die Häufigkeit F von Gefährdungen wichtige, praktische Maße für die Gefährdungsfreiheit eines Systems. Ist die Zuverlässigkeitsfunktion bekannt, so kann direkt MTBHE daraus berechnet werden

$$MTBHE = \int_0^{\infty} R_H(t) dt$$

Für die mittlere oder erwartete Häufigkeit $E(F)$ von Gefährdungen gilt

$$E(F) = 1 / MTBHE$$

11.3.2.4 Gefährdungsrate

Die Zuverlässigkeitsfunktion hat zwei Nachteile:

- Sie ist wesentlich aufwändiger zu bestimmen als z. B. MTBHE
- Die meisten Zuverlässigkeitsfunktionen sehen sehr ähnlich aus und sind schwer zu unterscheiden

Deshalb wird bei Sicherheitsbetrachtungen häufig die Gefährdungsrate

$$\lambda_H(t) = \frac{-R'_H(t)}{R_H(t)}$$

benutzt, deren Form einfachere Schlussfolgerungen als bei der Zuverlässigkeitsfunktion ermöglicht.

Inhaltlich beschreibt die Gefährdungsrate die bedingte infinitesimale Wahrscheinlichkeit, dass eine bis zum Zeitpunkt t einschließlich funktionierende Komponente innerhalb des Intervalls $[t, t + \Delta t]$ gefährlich ausfällt. Es gilt also näherungsweise für die Wahrscheinlichkeit, dass eine Gefährdung in $[t, t + \Delta t]$ stattfindet:

$$P(X \in [t, t + \Delta t] | X > t) \approx \lambda_H(t) \times \Delta t$$

Insbesondere kann man anhand des Verlaufs der Gefährdungsrate feststellen, ob z. B. Alterungs- oder Verschleißeffekte eine Rolle spielen (i. d. R. durch steigende Gefährdungsraten gekennzeichnet).

Eine wichtige Eigenschaft von Gefährdungsraten besteht darin, dass sie addiert werden können, wenn die die Gefährdungen verursachenden Systeme parallel geschaltet sind. D. h. wenn H_1 und H_2 Gefährdungen sind und die Gefährdung H genau dann eintritt, wenn mindestens eine der beiden Gefährdungen eintritt, so gilt:

$$\lambda_H(t) = \lambda_{H_1}(t) + \lambda_{H_2}(t)$$

11.3.2.5 Gefährdungsraten einfacher elektronischer Komponenten

In der Sicherheitsanalyse wird häufig angenommen, dass die Gefährdungsrate einer einzelnen elektronischen Komponente (i. d. R. als

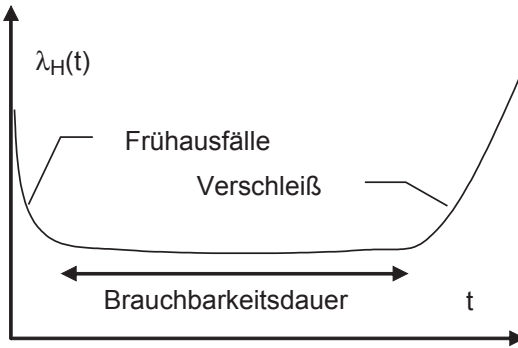


Abb. 11.6 Badewannen-Kurve

Ausfallrate bezeichnet) den Verlauf einer „Badewannenkurve“ (siehe Abb. 11.6) besitzt:

- Zu Beginn ist die Ausfallrate hoch und fällt dann ab (Frühausfälle aufgrund von Fertigungsfehlern oder Qualitätsmängeln).
- Dann ist die Ausfallrate während der Brauchbarkeitsdauer mehr oder weniger konstant (oder nur leicht steigend).
- Wird die Brauchbarkeitsdauer überschritten, so steigt die Ausfallrate aufgrund von Alterungseffekten stark an (z. B. Verschleiß).

Frühausfällen versucht man durch Tests und Qualitätssicherungsmaßnahmen entgegenzuwirken. Beim Erreichen der Brauchbarkeitsdauer sollte man Komponenten rasch austauschen. In diesem Fall darf man während der Brauchbarkeitsdauer eine konstante Ausfallrate annehmen.

Die einzige Wahrscheinlichkeitsverteilung mit einer konstanten Ausfallrate ist die sog. Exponentialverteilung mit

$$R_H(t) = e^{-\lambda t}, \quad \lambda_H(t) = \lambda,$$

$$MTBHE = \frac{1}{\lambda_H(t)} = \frac{1}{\lambda}$$

11.3.2.6 Prognose von Ausfallraten elektronischer Komponenten

In der praktischen Anwendung bedient man sich Datenbanken, die für Komponenten Ausfallraten unter spezifizierten Referenzbedingungen enthalten (z. B. Umgebungstemperatur, Betriebsspannung). Um für einen spezifischen Anwen-

dungsfall die Ausfallrate zu prognostizieren, wird die sog. Referenzausfallrate λ_{ref} mit Beanspruchungsfaktoren z. B. für Spannungsabhängigkeit, Stromabhängigkeit und Temperaturabhängigkeit multipliziert

$$\lambda = \lambda_{ref} \times \pi_U \times \pi_I \times \pi_T$$

Zu jedem Beanspruchungsfaktor ist wiederum eine Formel hinterlegt, mit dem die Beanspruchungsfaktoren im spezifischen Anwendungsfall ermittelt werden können.

11.3.2.7 Gefährdungsraten komplexer elektronischer Systeme

Bei Systemen, bei denen Einzelausfälle dominieren, d. h. bei denen schon Ausfälle einzelner Komponente zum Ausfall des Systems führen, erhält man die Ausfallrate des Systems als Summe der Ausfallraten der Komponenten (unter Berücksichtigung der spezifischen Beanspruchungsfaktoren), deren Einzelausfall zum Systemausfall führt. Dabei kann man in erster Näherung Mehrfachausfälle vernachlässigen, da diese i. d. R. viel unwahrscheinlicher sind als Einzelausfälle.

Setzt man aber z. B. für sicherheitstechnische Anwendungen aus elektronischen Systemen komplexere Systeme, z. B. mit Redundanz, zusammen, so sind die resultierenden Gefährdungsraten nicht mehr konstant und die Rechnung gestaltet sich wesentlich komplizierter (Abb. 11.7). Allerdings nähern sich die Ausfallraten solcher Systeme nach einer gewissen Einschwingphase rasch einer Konstanten an. In diesen Fällen gilt:

$$MTBHE \leq \frac{1}{\lambda_H(\infty)}$$

11.3.2.8 Allgemeine Systeme

Zuverlässigkeitsfunktionen kann man prinzipiell für beliebige Systeme ermitteln, entweder analytisch oder empirisch, und daraus Gefährdungsraten ableiten, deswegen eignen sich sowohl Zuverlässigkeitsfunktionen als auch Gefährdungsraten allgemein zur sicherheitstechnischen Bewertung beliebiger Systeme.

In der Praxis kann dies aber problematisch sein, da viele Konstruktionen, z. B. einer Eisen-

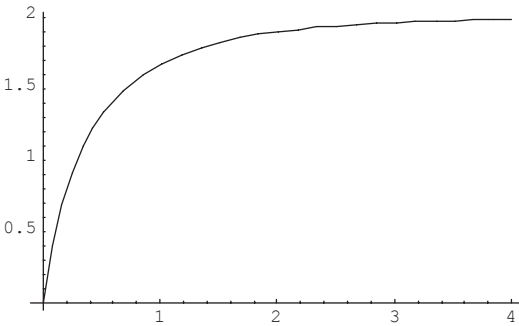


Abb. 11.7 Typischer Verlauf einer Gefährdungsrate für ein redundantes System

bahnbrücke, einzigartig sind und man in solchen Fällen nicht viele vergleichbare Fälle findet, um z. B. statistische Untersuchungen durchzuführen. Daher muss man i. d. R. auf analytische Vorgehensweisen zurückgreifen, die man zumindest partiell validieren kann, z. B. durch Laborversuche.

In der analytischen Herleitung der Modelle unterscheiden sich allerdings alle Gewerke, da z. B. die thermodynamischen Prozesse, die zum Ausfall elektronischer Bauteile führen, sich grundsätzlich von den Prozessen unterscheiden, die z. B. Bauwerke zum Einsturz bringen.

Beanspruchungs/Widerstands-Modell

Ein grundsätzlicher Ansatz besteht darin, zwei Größen gegenüberzustellen, und zwar erstens eine Beanspruchung oder Stress S sowie zweitens einen Widerstand bzw. eine Stärke W . Mit S bzw. W könnten z. B. die Beanspruchung durch Lasten und der Widerstand eines Tragwerks gemeint sein. Die grundsätzliche Sicherheitsforderung besteht nun darin, dass $W \geq S$ sein sollte, oder das Versagen

$$W - S < 0$$

zumindest nicht zu häufig eintreten sollte (siehe Abb. 11.8). Dabei wird $M = W - S$ häufig als Sicherheitsmarge bezeichnet.

Für jedes konkrete Problem muss jetzt natürlich erst einmal eine detaillierte Analyse und Bewertung der Größen W und S sowie ihrer Einflussparameter erfolgen. Traditionell wurde dieses sog. Bemessungsproblem deterministisch

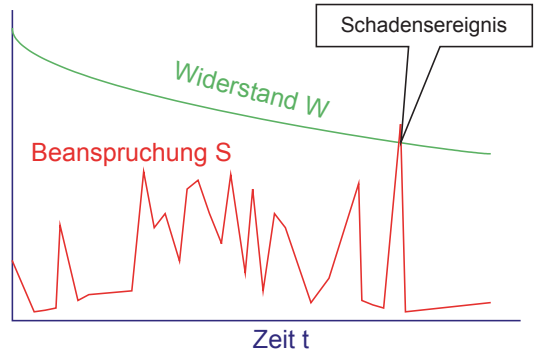


Abb. 11.8 Veranschaulichung des Beanspruchungs-/Widerstands-Modells

durch Überdimensionierung und Einführung von Sicherheitsfaktoren gelöst.

Bei der risikoorientierten Betrachtungsweise werden aus den Modellen für beide Größen Wahrscheinlichkeitsverteilungen $F_W(x)$ bzw. $F_S(x)$ ermittelt, die ggf. zusätzlich von einem Zeitparameter t abhängen können. Liegt nun innerhalb eines bestimmten Betrachtungszeitraums (z. B. 1 Jahr oder auch die Lebensdauer) ein (maximaler) Beanspruchungswert s vor, so versagt das System, wenn der Widerstand W kleiner als s ist. Die Wahrscheinlichkeit dafür beträgt bei konstantem s genau $F_W(s)$. Da s aber nicht deterministisch ist, sondern zufällig beliebige Werte entsprechend der Verteilung von S annehmen kann, erhält man als Versagenswahrscheinlichkeit insgesamt

$$F(t) = \int_0^\infty F_W(s) f_S(s) ds$$

Das Komplement der Versagenswahrscheinlichkeit ist aber wieder die gesuchte Zuverlässigkeitsfunktion $R_H(t)$.

Bemessung bei normalverteilten Größen

In der Praxis geht man häufig davon aus, dass sowohl S als auch W normalverteilt sind, d. h. für ihre Verteilungsdichte gilt:

$$f_X(x) = \frac{1}{\sigma_X \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x - \mu_X}{\sigma_X} \right)^2}$$

Dies ist die bekannte Gauß'sche Glockenkurve mit dem Mittelwert μ_x sowie der Streuung σ_x als

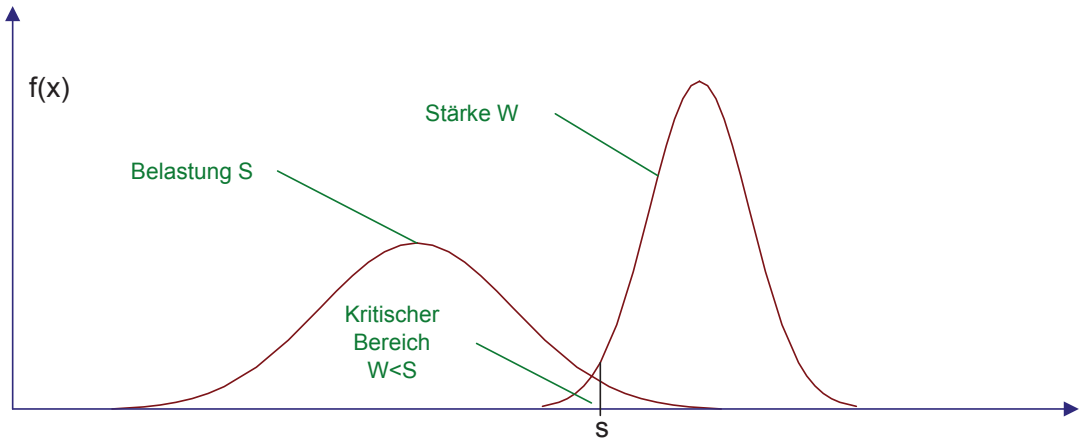


Abb. 11.9 Das Bemessungsproblem bei normalverteilten Parametern

Parameter. Sind S und W unabhängig normalverteilt (siehe Abb. 11.9), so ist die Sicherheitsmarge M ebenfalls normalverteilt mit den Parametern

$$\mu_M = \mu_W - \mu_S \quad \sigma_M = \sqrt{\sigma_W^2 + \sigma_S^2}.$$

Aus diesen Größen abgeleitet wird der sog. Sicherheitsindex

$$\beta = \frac{\mu_M}{\sigma_M}.$$

Der Sicherheitsindex gibt an, wie häufig die Streuung von M zwischen Nullpunkt (das heißt dem Punkt, ab dem Versagen eintritt) und Mittelwert von M hineinpasst.

Da die Normalverteilung heute in jeder Tabellenkalkulation vorhanden ist, lassen sich die Versagenswahrscheinlichkeiten einfach ermitteln.

In diesem Fall lässt sich relativ einfach eine Bemessungsgleichung konstruieren (sog. Verfahren nach Basler/Cornell). Ist in einer Norm oder einem Gesetz ein Grenzwert β_G vorgegeben, das der Sicherheitsindex β mindestens erfüllen soll, so erhält man folgende Bemessungsgleichung:

$$\mu_W - \frac{\beta_G \sigma_W^2}{\sqrt{\sigma_W^2 + \sigma_S^2}} \geq \mu_S + \frac{\beta_G \sigma_S^2}{\sqrt{\sigma_W^2 + \sigma_S^2}}.$$

Damit kann man ausgehend von der Kenntnis der Beanspruchung S den notwendigen Wi-

derstand W der Konstruktion bemessen, d. h. auslegen.

In der Praxis kommt allerdings eine Reihe von Problemen dazu, z. B. wenn die Größen W und S nicht unabhängig sind. In der Regel hängen S und W wiederum von einer Vielzahl von Parametern, im einfachsten Fall z. B. linear

$$S = \sum_{i=1}^n \alpha_i S_i,$$

wobei man sich unter den α_i bzw. S_i Gewichtungsfaktoren bzw. verschiedene Beanspruchungstypen vorstellen kann, für ein Tragwerk z. B. Eigenlast, Nutzlast, Windlast, Schneelast, Erdbeben etc. Sind die Verteilungen der einzelnen Beanspruchungstypen bekannt und unabhängig normalverteilt, so kann nach obigem Muster die Gesamtverteilung der Beanspruchung ermittelt werden.

Weibull-Verteilung

Die statistische Bestimmung von Gefährdungsraten, falls genügend Daten vorliegen, verläuft für nahezu alle Gewerke nach derselben Methode und kommt i. d. R. mit einer, allerdings etwas komplizierteren Wahrscheinlichkeitsverteilung aus.

Die sog. Weibull-Verteilung ist eine Verallgemeinerung der Exponentialverteilung mit weiteren Formparametern, die es auch erlauben, steigende oder fallende Ausfallraten zu modellieren:

$$R_H(t) = e^{-\left(\frac{t-\delta}{\eta-\delta}\right)^\beta}$$

$$\lambda_H(t) = \frac{\beta}{(\eta-\delta)^\beta} (t-\delta)^{\beta-1}$$

$$MTBHE = \delta + (\eta-\delta)\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$$

Der Parameter β bestimmt die Steigung der Ausfallrate, für $\beta=1$ erhält man die Exponentialverteilung. Der Parameter δ bewirkt eine Verschiebung des Nullpunkts, d. h. des Zeitpunkts des frühestmöglichen Ausfalls und mit dem Parameter η lässt sich die MTBHE steuern.

Praktisch erfolgt die Bestimmung dieser Parameter bei vorliegenden empirischen Daten entweder durch von Hand durch Eintragen der Lebensdauern (d. h. Zeiten bis zur ersten Gefährdung) in ein spezifisches Weibull-Papier oder mittels eines Statistik-Programms.

11.3.2.9 Systematische und zufällige Gefährdungsursachen

Die CENELEC-Normen gehen, wie fast alle anderen Sicherheitsnormen auch, davon aus, dass Sicherheit sowohl auf angemessenen Maßnahmen zur Vermeidung systematischer Fehler als auch auf angemessenen Maßnahmen zur Beherrschung zufälliger Ausfälle beruht. Die Maßnahmen gegen die Ursachen von Fehlern und Ausfällen sollten ausgewogen sein, um eine optimale Sicherheitsleistung des Systems zu gewährleisten, siehe Abb. 11.10. Um dieses Ziel zu erreichen, wird das Konzept der Sicherheitsanforderungsstufen (SIL) verwendet.

11.3.2.10 Safety Integrity Level (SIL)

Durch die Zuordnung zu Sicherheitsanforderungsstufen soll ein Gleichgewicht zwischen den Maßnahmen zur Vermeidung systematischer Fehler und denen zur Beherrschung zufälliger Ausfälle hergestellt werden, da es anerkannter Stand der Technik ist, dass die Sicherheit gegen systematische Fehler nicht quantifizierbar ist (zumindest nicht bei Anwendungen mit einem hohen Sicherheitsniveau). Die detaillierten Anforderungen für die Erfüllung eines SIL sind in

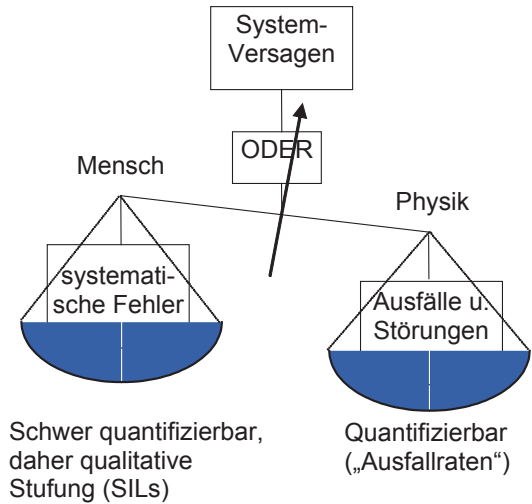


Abb. 11.10 SIL-Konzept

den Normen EN 50128 und 50129 zusammengestellt. Der quantitative Zusammenhang nach EN 50129 wird in Tab. 11.1 dargestellt.

11.3.2.11 SIL-Zuordnung

Aus der Prozessdarstellung ergibt sich, dass als Ergebnis einer Risikoanalyse zunächst eine Liste von Gefährdungen mit den zugehörigen tolerierbaren Gefährdungsraten (THR) abgeleitet wird. Zur Beherrschung dieser Gefährdungen werden Sicherheitsfunktionen definiert, die gemäß einer geeigneten Sicherheitsarchitektur verbunden sind. Im Rahmen der Ursachenanalyse müssen für die Sicherheitsfunktionen THR und SIL abgeleitet werden, d. h. *nach EN 50129 besteht eine Sicherheitsanforderung immer aus einer funktionalen Sicherheitsanforderung (d. h. Forderung einer Sicherheitsfunktion) sowie einem quantitativen (THR) und einem qualitativen (SIL) Sicherheitsziel.* Etwas vereinfacht ausgedrückt, ist die THR ein Maß für die Häufigkeit, mit der eine Gefährdung auftreten darf, d. h. toleriert wird und der SIL ein Maß für den Aufwand, der für fehlervermeidende Maßnahmen in Bezug auf die Sicherheitsstufe als angemessen erachtet wird.

Die SIL-Tabelle kann mit folgender Heuristik erläutert werden: Zuverlässigkeitsanforderungen von bis zu 10 fehlerfreien Betriebsjahren (dies

entspricht umgerechnet ungefähr der Grenze zu SIL 1) sind durch hochwertige Industrietechnik mit normalen Qualitätssicherungsmaßnahmen zu erfüllen. Will man höhere Anforderungen erfüllen, so sind zusätzliche Maßnahmen bezüglich Fehlervermeidung und Ausfallbeherrschung erforderlich. Auf der anderen Seite sind quantitative Anforderungen von $10^{-9}/h$ (dies entspricht umgerechnet 100.000 fehlerfreien Betriebsjahren!) die höchsten Sicherheitsanforderungen, die in der zivilen Luftfahrt an Funktionen gestellt werden, deren Versagen zum sofortigen Verlust eines Flugzeugs führen. Eine schärfere Sicherheitsanforderung ist daher auch in der Eisenbahntechnik für keine einzelne Sicherheitsfunktion sinnvoll und darf nach EN 50129 auch nicht gestellt werden. Die Zuordnung der SIL-Stufen zu Zehnerpotenzen mag auf den ersten Blick willkürlich scheinen, entspricht aber der Genauigkeit, mit der man quantitative Sicherheitsanforderungen in der Praxis nachweisen kann.

Veranschaulicht man sich die Sicherheitsanforderungen z. B. für SIL 4, so wird schnell deutlich, dass diese realistischerweise nicht durch Test oder Betriebserfahrung nachgewiesen werden können, denn dazu wären fehlerfreie Tests oder fehlerfreier Betrieb über mehrere 100.000 Jahre notwendig. Daher stützt sich der Nachweis der Sicherheitsanforderungen in den höheren SIL hauptsächlich auf Analysen und rigoroser Anwendung fehlervermeidender Maßnahmen ab.

11.3.2.12 Risikoakzeptanz bei expliziter Risikoabschätzung

Den Ausgangspunkt aller Betrachtungen bilden die sog. Risikoakzeptanzkriterien, die die Frage nach dem tolerierbaren Grenzkrisiko beantworten sollen. In EN 50126 werden drei Kriterien beispielhaft angegeben:

- ALARP (*As Low As Reasonably Practicable*),
- GAMAB (*Globalement Au Moins Aussi Bon*) und
- MEM (*Minimum Endogenous Mortality*).

Durch die CSM-Verordnung wurde allerdings im Paragraph 2.5.4 ein weiteres Risikoakzeptanzkriterium verankert, das sog. RAK-TS (*Risikoakzeptanzkriterium für Technische Systeme*), das ein hinreichendes Kriterium für die gegenseitige

Akzeptanz von technischen Systemen und damit die technische Harmonisierung definiert. Es stellt zurzeit das einzige international harmonisierte Risikoakzeptanzkriterium dar. Außerdem definiert die CSM-Verordnung den Begriff des weitgehend akzeptablen Risiko, ein Sonderfall, der Ähnlichkeit mit einem Aspekt des ALARP-Kriteriums aufweist.

ALARP

ALARP bedeutet im Kern eine monetäre Kosten-Nutzen-Analyse von Sicherheitstechnik, wobei der Nutzen i. d. R. in Form von potenziell verhinderten Unfallopfern gemessen wird. Eine Ausnahme wird davon nur zugelassen, wenn das Risiko sehr weit unter dem vorgegebenen Sicherheitsziel (Benchmark) liegt, siehe Abb. 11.11. Dieses Risiko wird als „allgemein tolerierbar“ (broadly acceptable) bezeichnet und kommt in der Praxis allerdings nur selten vor. Um den Nutzen mit den Investitionskosten zu vergleichen, werden i. d. R. alle Unfallfolgen in monetäre Einheiten umgerechnet, d. h. auch einem Menschenleben wird ein Geldbetrag zugeordnet.

Weitgehend akzeptables Risiko

Dieser Begriff aus der CSM-Verordnung lehnt sich an den Begriff „allgemein tolerierbar“ aus dem ALARP-Kriterium an, ist allerdings etwas irreführend übersetzt worden. Gemeint sind damit z. B. Risiken, die so gering sind, dass die Einführung zusätzlicher Sicherheitsmaßnahmen nicht angemessen wäre. Das darf natürlich nicht dazu führen, dass z. B. durch künstliche Aufteilung des Gesamtrisikos in viele kleine Teilrisiken jedes Einzelrisiko vernachlässigbar wird. Deshalb wird in der CSM-Verordnung gefordert, dass der Gesamtumfang aller weitgehend akzeptablen Risiken einen bestimmten Anteil am Gesamtrisiko nicht übersteigen darf.

Leider macht die CSM-Verordnung hier keine weiteren konkreten Vorgaben, allerdings kann man aus dem ALARP-Kriterium folgern, dass ein Teilrisiko, das 1% des Grenzkrisikos nicht übersteigt, für sich alleine weitgehend akzeptabel sein sollte. Ähnliche Vorschläge findet man auch in von der ERA veröffentlichten Leitfäden und Beispielen. Dort wird auch beispielhaft dis-

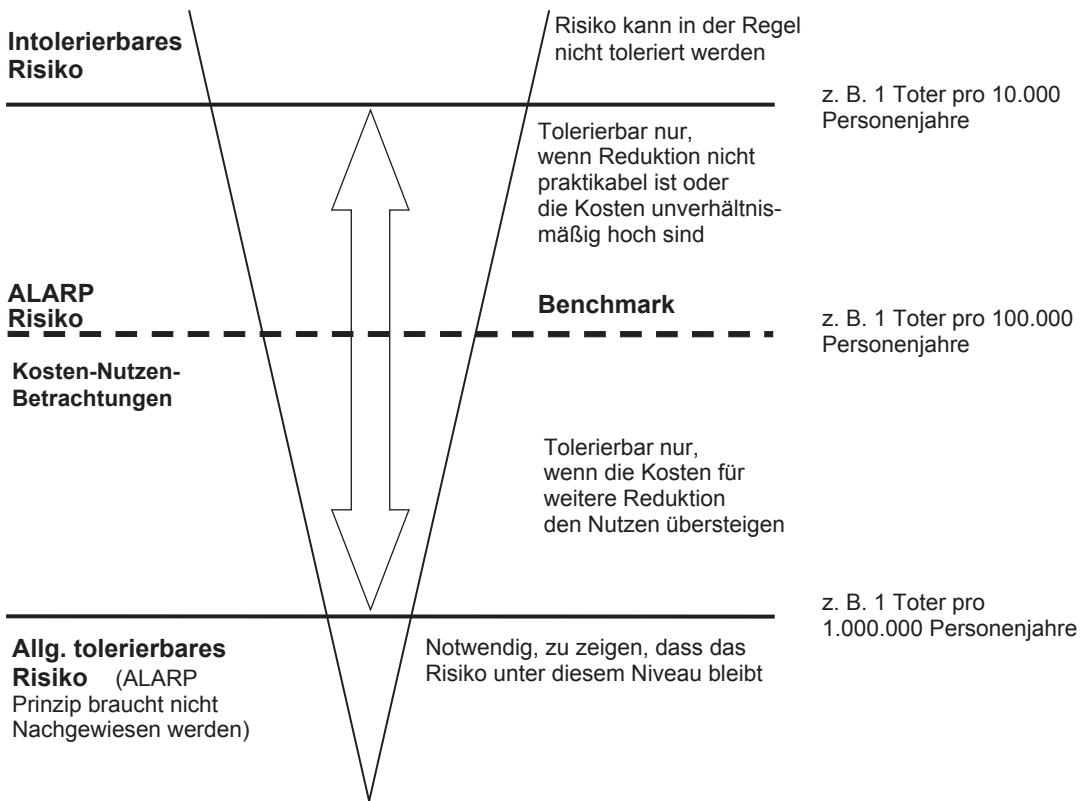


Abb. 11.11 ALARP-Prinzip

kutiert, dass der Gesamtanteil weitgehend akzeptabler Risiken nicht mehr als 10% des Grenzkrisikos, das für ein System vorgegeben ist, betragen sollte.

GAMAB und MGS

GAMAB (neuerdings auch als GAME, d. h. *Globalement Au Moins Equivalent*, bezeichnet) bedeutet, dass neue Technik auf einem globalen Niveau (z. B. dem individuellem Risiko für einen Reisenden) mindestens genau so sicher sein muss wie bisher eingesetzte Technik (Referenztechnik). Dies entspricht grundsätzlich dem zweiten Grundsatz der Risikoakzeptanz aus der CSM-Verordnung (Vergleich mit ähnlichen Systemen, siehe Abb. 11.3) und ähnelt sehr stark dem in § 2 (2) der Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO) verankerten Kriterium:

Von den anerkannten Regeln der Technik darf abgewichen werden, wenn mindestens die gleiche

Sicherheit wie bei Beachtung dieser Regeln nachgewiesen ist.

Dieses Kriterium wird häufig vereinfachend auch als „Mindestens Gleiche Sicherheit (MGS)“ bezeichnet, dabei ist jedoch der Nachsatz *wie bei Beachtung dieser [anerkannten] Regeln [der Technik]* wesentlich. Diese allgemeinen Vorgaben wurden bereits seitens des Eisenbahn-Bundesamts (EBA) untersucht und folgendermaßen interpretiert: *„Für die Belange der Aufsichtsbehörde ist die Abschätzung der individuellen Risiken und deren Vergleich mit einem Referenzwert die zweckmäßigste Methode... Ein System ist dann sicher genug, wenn die individuellen Risiken aller Personen oder Personengruppen im System unterhalb des Referenzwertes liegen. Der Referenzwert kann entweder ein Vergleichswert aus einem vergleichbaren System sein, oder er kann als zulässiges Risiko in Form eines Grenzwertes definiert sein.“*

In der Regel erfüllt eine neue Technik, die GAMAB erfüllt, auch MGS (vorausgesetzt, die Referenztechnik erfüllt die EBO).

MEM

Das MEM-Prinzip basiert auf einem unvermeidbaren Grundrisiko, nämlich der endogenen Sterblichkeit (d. h. ohne ersichtliche Todesursachen aufgrund von äußeren Einwirkungen wie z. B. Unfällen) für die statistisch gesündeste Altersgruppe, die in Westeuropa aus Jugendlichen besteht. Es wird willkürlich postuliert, dass dieses minimale Grundrisiko von 2×10^{-4} pro Person und Jahr ebenso für sämtliche technischen Bedrohungen angesetzt werden darf. Dies bedeutet, dass im Durchschnitt maximal 2 von 10.000 Personen jährlich aufgrund von Einwirkungen technischer Systeme zu Tode kommen dürfen. Dies ist sozusagen der Preis, den die Gesellschaft für den technischen Fortschritt und die daraus resultierenden Vorteile zu zahlen bereit sein muss.

Daraus werden dann tolerierbare individuelle Risiken für einzelne technische Systeme (durch Aufteilung des Vorgabewert auf 20 technische Systeme, d. h. 10^{-5} Todesfallrisiko pro Person und Jahr für ein einzelnes technisches System z. B. die Eisenbahn) oder sämtliche Verkehrssysteme (durch Aufteilung auf drei Risikobereiche, d. h. 10^{-8} Todesfallrisiko pro Person und Stunde für den Verkehr insgesamt) abgeleitet. Aus der letztgenannten Anforderung lässt sich direkt eine Sicherheitsanforderungen bezogen auf eine Stunde Reisezeit für einen Reisenden ableiten, indem man annimmt, dass der Reisende während dieser Reisezeit nicht Risiken ausgesetzt wird, die von anderen Verkehrssystemen verursacht werden. Konkret heißt diese Forderung, dass bei einem Verkehrsbetrieb, z. B. einer U-Bahn, bei 100 Mio. Reisendenstunden höchstens ein Reisender zu Tode kommen darf.

MEM wird häufig als universell einsetzbares Risikoakzeptanzkriterium bezeichnet, allerdings sind zusätzlich folgende Einschränkungen festzustellen:

- Es ist nicht sichergestellt, dass ein neues System, das MEM erfüllt, die EBO erfüllt, d. h. die gleiche Sicherheit bietet wie eine Referenztechnik, die die anerkannten Regeln der Technik erfüllt.

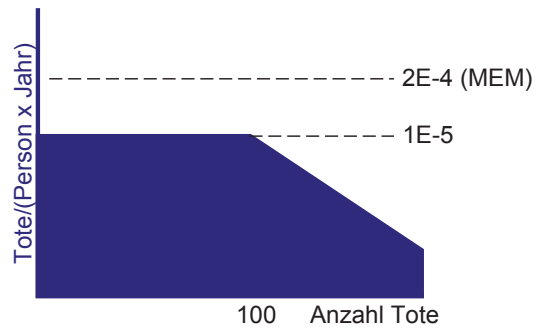


Abb. 11.12 MEM-Kriterium

renztechnik, die die anerkannten Regeln der Technik erfüllt.

- Die informative Nennung in EN 50126 suggeriert zwar Praxiserfahrung (in Deutschland), dies ist aber bisher nicht richtig: Soweit bekannt, wurde MEM bisher in der Eisenbahnsignaltechnik lediglich für Forschungsvorhaben oder Prototypen, aber nicht für in Betrieb befindliche Seriensysteme zugrunde gelegt.

In der bekanntesten Darstellungsform wird das MEM-Kriterium noch ergänzt durch eine Risikoaversion ab einer erwarteten Opferzahl von 100 Opfern, d. h. verschärften Anforderungen für Gefährdungen, die Katastrophen hervorrufen können (Abb. 11.12).

RAK-TS

RAK-TS lehnt sich eng an ein Risikoakzeptanzkriterium aus der Zivilluftfahrt an:

- ▶ Bei technischen Systemen, bei denen im Falle eines funktionellen Ausfalls von unmittelbaren katastrophalen Folgen auszugehen ist, muss das damit verbundene Risiko nicht weiter reduziert werden, wenn die Ausfallrate pro Betriebsstunde kleiner oder gleich 10^{-9} ist.

Zur Erläuterung sind folgende Hinweise notwendig:

Diese Definition soll durch folgende Hinweise erläutert werden:

- a. Katastrophale Folgen werden in EN 50126 definiert als „Unfalltote und/oder zahlreiche Schwerverletzte und/oder schwere Umwelt-

- schäden“, d. h. bei den Ausfallfolgen sind typischerweise viele Unfallopfer zu erwarten
- b. Unmittelbarkeit bedeutet, dass keine Barrieren existieren, die einen Unfall verhindern könnten. Wenn die Folgen nicht direkt aus dem Funktionsversagen resultieren, dann sollten die Auswirkungen reduzierende Einflüsse oder Barrieren bei der Sicherheitsanalyse berücksichtigt werden.
 - c. Die Betriebsstunde bezieht sich direkt auf die Funktion, die das Versagen verursacht. Wenn es sich zum Beispiel um eine fahrzeugseitige Funktion handelt, dann bezieht die Angabe sich auf die Betriebsstunde des Zuges. Bei einer streckenseitigen Funktion bezieht sich die Betriebsstunde auf das Streckenelement, das die Funktion realisiert.
 - d. RAK-TS bedeutet, dass jedes Funktionsversagen auf der Systemebene getrennt betrachtet wird. Bei der zivilen Luftfahrt wurde diese Vereinfachung erfolgreich eingeführt, was erheblich zur Kosteneffizienz beitrug.
 - e. Die Funktionen, auf die dieses Kriterium angewendet werden soll, müssen sich auf einer ähnlichen Funktionsebene befinden, z. B. Systemfunktionen eines Zuges oder eines Stellwerks.
 - f. RAK-TS und alle abgeleiteten Anforderungen sind als Entwurfsziele zu verstehen. Sie stellen nicht die Sicherheitsleistung einer Einrichtung an der Strecke dar, die meist bedeutend höher ist. Daher ist es praktisch sinnlos, von der RAK-TS Risikoabschätzungen abzuleiten.

Zweck von RAK-TS ist es, einen Referenzpunkt zu definieren, gegen den das Risikoanalyseverfahren kalibriert werden kann. Es stellt für sich allein kein Verfahren für die Risikoanalyse dar, denn nur in wenigen Ausnahmefällen, z. B. unerkannt falsche Lage einer Weiche auf einer Hochgeschwindigkeitsstrecke oder komplettes Bremsversagen eines Zuges, kann man mit RAK-TS direkt die Sicherheitsanforderung ableiten.

Mit RAK-TS definiert die CSM-Verordnung, insbesondere für zukünftige harmonisierte Systeme, die gegenseitiger Anerkennung bedürfen, ein anspruchsvolles Entwurfsziel, das die Eisenbahn auf einem nur mit der Zivilluftfahrt vergleichbaren Sicherheitsniveau einordnet und den höch-

ten zulässigen Anforderungen der CENELEC-Normen entspricht. Dies ist aber durchaus nicht übertrieben, da in der Eisenbahntechnik dieses Sicherheitsniveau bereits heute für besonders sicherheitskritische Systeme gefordert und realisiert wird.

11.3.2.13 Systemdefinition

Die Definition eines Systems oder von Systemfunktionen oder seiner Bestandteile ist eine Sache des Blickwinkels. Es ist unerheblich, wie ein System definiert wird, von zentraler Bedeutung ist nur, dass es exakt definiert wird (Grenzen, Schnittstellen, Funktionen, Umgebung usw.), vgl. Abb. 11.13.

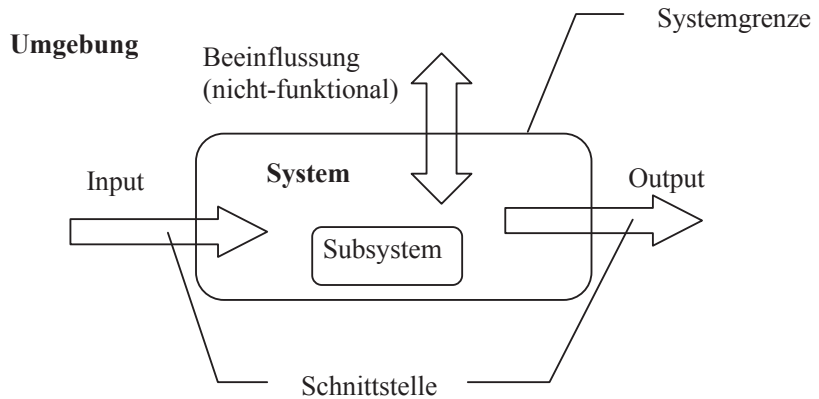
Die CSM-Verordnung fordert die Berücksichtigung folgender Aspekte bei der Systemdefinition:

- a. Zweckbestimmung des Systems, z. B. vorgesehene Verwendung;
- b. Funktionen und Bestandteile des Systems, sofern relevant (einschließlich z. B. menschlicher, technischer und betrieblicher Komponenten);
- c. Systemgrenzen, einschließlich anderer, interagierender Systeme;
- d. physische Schnittstellen (interagierende Systeme) und funktionale (Ein- und Ausgabe-) Schnittstellen;
- e. Systemumgebung (z. B. Energie- und Wärme- flux, Erschütterungen, Vibrationen, elektromagnetische Beeinflussung, betriebliche Verwendung);
- f. bestehende Sicherheitsmaßnahmen und – nach mehrfacher Anwendung – Definition der im Rahmen des Risikobewertungsverfahrens ermittelten Sicherheitsanforderungen;
- g. Annahmen, die die Grenzen der Risikobewertung bestimmen.

Daher kommt eine Vielzahl möglicher strukturierter Beschreibungsmittel in Betracht, siehe z. B. EN 50128. Hierbei ist insbesondere festzulegen, ob der Mensch z. B. als Bediener oder Instandhalter Teil des Systems ist oder nicht.

Die Diskussion von Beschreibungsmitteln, Methoden und Werkzeugen für die Systemdefinition soll hier unterbleiben, da sie den Rahmen sprengen würde. Die allgemeine Entwicklung in

Abb. 11.13 Prinzipdarstellung Systemdefinition



der Informatik geht allerdings klar in Richtung Unified Modelling Language (UML) und diesem Trend wird sich die Sicherheitstechnik nicht verschließen können. Betrachtet man die wesentlichen Grundkonzepte der UML, nämlich Klassendiagramme, Use Cases (d. h. Benutzungsszenarien), Zustandsübergangsdigramme und Message Sequence Charts (d. h. Interaktionsdiagramme), so stellt man fest, dass dies auch die wichtigsten Fragestellungen bez. des Verhaltens des Systems sind, die in Risikoanalysen wie auch Sicherheitsnachweisen eine entscheidende Rolle spielen.

- ▶ Das Hauptziel einer Risikoanalyse bzw. eines Sicherheitsnachweises muss die angemessene Beherrschung der Gefährdungen sein. Es darf keine Rolle spielen, ob eine Sicherheitsfunktion durch Systeme oder Teilsysteme erreicht wird.

Man kann allerdings feststellen, dass allein die intensive Beschäftigung mit dem Thema Systemdefinition einen Nutzen bringt, unabhängig davon, welches Beschreibungsmittel schließlich gewählt wird. *Die Definition des Systems ist also der Schlüssel zu den folgenden Schritten und sollte niemals unterschätzt werden. Ohne eine sinnvolle Systemdefinition kann die gesamte Analyse zu falschen oder ungültigen Ergebnissen führen.*

11.3.2.14 Gefährdungsidentifikation

Die Gefährdungsidentifikation (in der CSM-Verordnung als Gefährdungsermittlung bezeichnet)

beinhaltet eine systematische Analyse eines Systems, um Gefährdungen, die sich während des Lebenszyklus des Systems ergeben können, zu erkennen.

Eine systematische Identifikation von Gefährdungen umfasst im Allgemeinen zwei Phasen:

- eine empirische Phase (Nutzung von in der Vergangenheit gemachten Erfahrungen, z. B. Checklisten oder Lehren aus Beinahe-Unfällen) und
- eine kreative Phase (Vorhersagen, z. B. strukturierte Was-wäre-wenn-Studien in Art einer FMEA).

FMEA

Als Beispiel soll eine Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) eine mögliche Vorgehensweise zur Gefährdungsidentifikation illustrieren:

1. Zunächst verschafft man sich eine Darstellung des Systems, z. B. eine funktionale Beschreibung, Systemarchitektur, die die Betrachtungseinheiten des Systems (Funktionen, Komponenten etc.) vollständig beschreibt und erzeugt eine nummerierte Liste der Betrachtungseinheiten.
2. Anschließend erzeugt man, z. B. mittels Brainstorming oder bekannten Checklisten, eine vollständige Liste aller denkbaren Versagensarten der Betrachtungseinheiten und nummeriert diese, z. B. von a, b, c... Typische Versagensarten sind z. B. Funktion wird nicht erbracht, Funktion wird fälschlicherweise erbracht bzw. zu früh, zu spät etc.

Tab. 11.2 FMEA-Prinzip

| Funktion | Versagensart | Folge | Gefährdung | Bemerkung |
|-------------------|---|---|--|-----------|
| ... | | | | |
| 7 Objekterkennung | a: Erkennt Objekt nicht | Objekt wird eingeklemmt | Ja, mögliche Verletzung bzw. Beschädigung durch Tür oder abfahrenden Zug | |
| | b: Erkennt fälschlicherweise Objekt (obwohl kein Objekt da) | Tür schließt nicht, Zug kann nicht abgefertigt werden | Nein | |
| | c: Erkennt Objekt zu spät | Tür trifft Objekt | Ja, möglicherweise Beschädigung bzw. Verletzung | |
| | d: ... | | | |
| ... | | | | |

3. Der eigentliche kreative Akt besteht darin, für jede Komponente für jede denkbare Ausfallart die Folgen abzuschätzen und zu entscheiden, ob sich als Folge eine Gefährdung ergibt oder nicht.

Tabelle 11.2 illustriert das Prinzip mittels eines Ausschnittes aus einer FMEA-Tabelle für eine automatische Bahnsteigtür, und zwar für die Funktion Objekterkennung.

Eine FMEA hat den Vorteil, dass man damit argumentieren kann, dass man alle Versagensarten für alle Betrachtungseinheiten vollständig diskutiert hat, vorausgesetzt natürlich, man kann plausibel begründen, dass man alle Betrachtungseinheiten und alle Versagensarten vorher vollständig identifiziert hat.

Die empirische und die kreative Phase der Gefährdungsidentifikation ergänzen einander, so dass man darauf vertrauen kann, dass der potentielle Gefährdungsraum abgedeckt und alle signifikanten Gefährdungen identifiziert werden. Es ist zu beachten, dass die Identifikation einer einzigen signifikanten Gefährdung die Identifikation einer großen Zahl weniger signifikanter Gefährdungen aufwiegt. Das heißt, hier ist nicht Quantität, sondern Qualität entscheidend. Dies wird auch durch die Unfallforschung bestätigt.

Hierarchische Definition von Gefährdungen

Für praktische Zwecke hat sich folgende Definition von Gefährdungen als nützlich erwiesen: *Eine Gefährdung ist ein Zustand eines Systems, der unter bestimmten äußeren Bedingungen zu einem Unfall führt.*

Diese Definition besitzt den Vorteil, dass die Gefährdungen einen Bezug zur Systemdefinition und insbesondere den Systemgrenzen herstellt, was eine hierarchische Gliederung der Gefährdungen hinsichtlich der Systeme und Teilsysteme ermöglicht, siehe Abb. 11.14. Für die Gefährdungsidentifikation bedeutet dies, dass man nur Effekte als Gefährdung bezeichnen sollte, die über die Systemgrenze hinaus wirken.

11.3.2.15 Folgenanalyse

Angewandt auf eine Gefährdung befasst sich die Folgenanalyse mit der Frage „Was passiert, wenn eine Gefährdung eintritt?“. Die Folgenanalyse dient der Identifizierung, Erfassung und Quantifizierung von wahrscheinlichen Konsequenzen, die sich aus einer Gefährdung ergeben können. So gesehen zählen alle Ereignisse, die nach Eintritt einer Gefährdung passieren, zu den möglichen Folgen.

Die Notwendigkeit einer Folgenanalyse für eine realistische Beurteilung des Risikos ergibt sich aus der Tatsache, dass längst nicht alle Gefährdungen, wie z. B. Vorbeifahrt an einem Halt zeigenden Signal, zu Unfällen oder gar Katastrophen führen, sondern dass ein großer Teil dieser Situationen schadensfrei oder mit geringen Schäden endet, vgl. Abb. 11.1. Dies bedeutet aber insbesondere, dass ohne eine adäquate Folgenanalyse Risiken um Größenordnungen überschätzt werden können und damit unnötig hohe Sicherheitsanforderungen abgeleitet werden.

Ausgehend von der Gefährdung werden alle physikalischen, verfahrenstechnischen oder le-

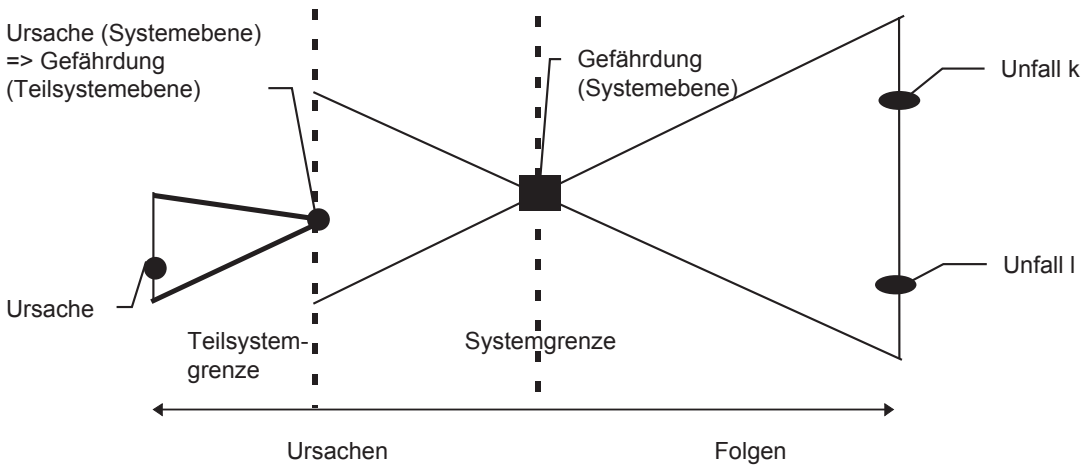


Abb. 11.14 Hierarchische Strukturierung von Gefährdungen

diglich auf vorteilhaften Umständen basierenden Schutzmaßnahmen (sog. Barrieren) von einem Expertenteam erfasst, das mit den Eskalationsszenarien und verschiedenen Schutzmaßnahmen in der Umgebung der Anwendung vertraut ist. Auf diese Weise wird ein Graph erzeugt, in dem alle Eskalationsszenarien, die sich aus der Gefährdung ergeben, in Abhängigkeit von Erfolg oder Versagen jeder Barriere dargestellt sind. Können keine weiteren Barrieren identifiziert werden, ist man schließlich bei den Folgen angelangt, die von sicheren und verlustfreien Bedingungen bis zu einer Vielzahl von Zwischen- und Unfällen mit unterschiedlich starken Verlusten reichen:

- sichere oder verlustfreie Folgen,
- Folgen, die in erster Linie einen Personenschaden bedeuten,
- Folgen, die in erster Linie einen finanziellen Verlust bedeuten und
- Folgen, die in erster Linie einen Umweltschaden bedeuten.

Die Folgenanalyse führt zur Vorhersage einer Reihe von Zwischen- und Unfällen, die sich nach Eintritt einer Gefährdung aus verschiedenen Kombinationen von Erfolg und Versagen von Schutzmechanismen ergeben. Wurde ein Folgenmodell entwickelt, kann die Effizienz jeder Barriere durch die Wahrscheinlichkeit ihres Versagens quantifiziert werden. In Zusammenhang mit diesen Wahrscheinlichkeiten kann die Wahr-

scheinlichkeit eines bestimmten Unfalls bei Eintritt einer Gefährdung abgeschätzt werden.

Ereignisbaumanalyse

Die Standardmethode für detaillierte Folgenanalysen ist die sog. Ereignisbaumanalyse, in der ausgehend von einem Ereignis sämtliche Folgeereignisse in einer Baumstruktur untersucht werden, siehe Abb. 11.15 für ein einfaches Beispiel.

Neben der Darstellung qualitativer Ereignisketten kann die Ereignisbaumanalyse auch zu probabilistischen Analysen benutzt werden. Dazu wird ausgehend von einer Auftretensrate für die Gefährdung für jede Kante des Ereignisbaumes (d. h. für jeden Ja/Nein-Zweig) ermittelt, mit welcher Wahrscheinlichkeit die jeweilige Kante in der jeweiligen Situation auftreten kann (d. h. unter Berücksichtigung aller vorher aufgetretenen Ereignisse). Dabei ergeben sich einfache Rechenregeln, vgl. Abb. 11.15:

1. Für jeden Pfad von dem Ausgangsereignis zu einem spezifischen Folgeereignis ergibt sich die Auftretensrate dieses Pfades durch Multiplikation der Auftretensrate des Ausgangsereignisses mit allen Wahrscheinlichkeiten, die auf dem Pfad liegen.
2. Für jedes Folgeereignis ergibt sich die Auftretensrate als Summe der Auftretensraten aller Pfade, die vom Ausgangsereignis zu diesem spezifischen Folgeereignis führen.

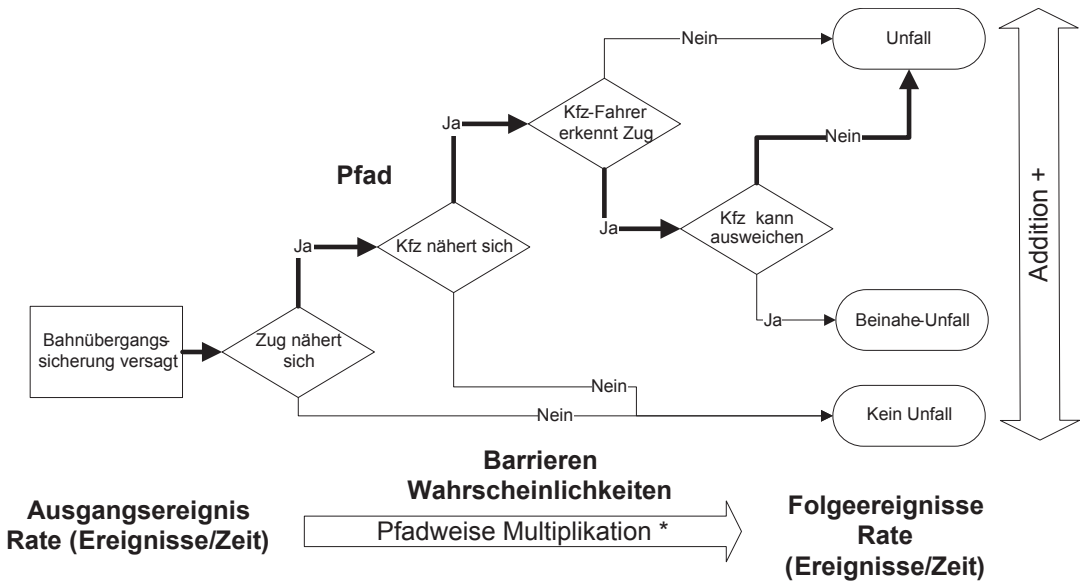


Abb. 11.15 Ereignisbaum (Prinzip)

Die häufigste Fehlerquelle in Ereignisbäumen besteht darin, dass die Wahrscheinlichkeiten auf den Pfaden nicht korrekt bestimmt werden, z. B. dass nicht die komplette Vorgeschichte bei der Bestimmung der Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses berücksichtigt werden.

11.3.2.16 Schadensanalyse

Die meisten Unfälle resultieren in einem Schaden, der abhängig von der Schwere und Energie, dem Unfallort und der Zahl der Unfallbeteiligten auch erhebliche finanzielle und umweltrelevante Folgen beinhaltet. Für eine objektive Abschätzung ist allerdings eine große Zahl fallspezifischer Parameter zu ermitteln. Eine solche Abschätzung ist i. d. R. mit einer großen Unschärfe behaftet. Alternativ können Schadensdaten statistisch mit Hilfe einer Unfalldatenbank ermittelt werden. Da Unfälle seltene Ereignisse sind, ist die Genauigkeit allerdings auch mit dieser Methode nicht sehr hoch. Außerdem ist die Streuung des Schadensmaßes sehr hoch, z. B. gehen viele Entgleisungen nur mit Sachschäden einher, aber es gibt auch Entgleisungen mit katastrophalen Folgen.

Bei Schadensanalysen wird i. d. R. nach den gefährdeten Personengruppen unterschieden (z. B. Reisende, Betriebspersonal...). Häufig

wird eine Gewichtung zwischen den verschiedenen Schadensklassen vorgenommen, um diese vergleichbar zu machen, z. B. wird folgende Heuristik verwendet: 1 Todesfall wird gleichgesetzt mit 10 Schwerverletzten bzw. 100 Leichtverletzten. Mit dieser Gewichtung kann dann als Schadensmaß die Einheit „Fatalities and Weighted Injuries (FWI)“, im Deutschen vielleicht am ehesten mit „gewichteter Opferäquivalent“ zu übersetzen, gebildet und in probabilistischen Risikoanalysen verwendet werden:

$$\begin{aligned} \text{Opferäquivalent} &= \text{Anzahl Toter} \\ &+ \text{Anzahl Schwerverletzte}/10 \\ &+ \text{Anzahl Leichtverletzte}/100 \end{aligned}$$

In der internationalen Diskussion im Rahmen der ERA hat sich allerdings herausgestellt, dass insbesondere die Definition von „Leichtverletzten“ problematisch ist und sehr unterschiedlich gehandhabt wird, so dass in den ERA-Statistiken dieser Beitrag weggelassen wird und „Fatalities and Weighted Serious Injuries (FWSI)“ betrachtet werden.

Bei qualitativen Risikoanalysemethoden wird die Schwere möglicher Schäden nur grob in eine von mehreren Klassen eingeordnet, siehe das Beispiel in Tab. 11.3. Falls eine Quantifizierung

Tab. 11.3 Beispiel für qualitative Schadensabschätzung

| Klasse | Beschreibung | Typische Unfallszenarien (Beispiele) | Gewicht |
|--------|---|---|---------|
| E | Mehrere Tote, Systemverlust, oder kritische Umweltschäden | Frontalkollision eines Reisezugs Entgleisung eines Reisezugs bei hoher Geschwindigkeit | 1000 |
| D | Einzelne Tote, Verlust eines Teilsystems oder schwere Umweltschäden | Zusammenprall am Bahnübergang Personenunfall in einer Arbeitsstelle | 100 |
| C | Schwere Verletzungen oder größerer System- oder Umweltschaden | Entgleisung eines Güterzugs Aufprall eines Reisezugs auf ein Hindernis | 10 |
| D | Leichte Verletzungen, geringere System- oder Umweltschäden | Personenunfall beim Ein- und Aussteigen Entgleisung einer Rangierfahrt | 1 |
| E | Geringere Schäden als in Kategorie D | Aufprall einer Rangierfahrt auf ein Hindernis | – |

erfolgen soll, wird statt einer statistischen Opferzahl ein dimensionsloser Gewichtungsfaktor verwendet, in den auch Aspekte wie Risikoaversion gegenüber Katastrophen berücksichtigt werden können. Idealerweise enthält eine solche Zuordnungstabelle Unfälle oder Unfallszenarien, die typischerweise in die entsprechenden Klassen fallen.

11.3.2.17 Explizite Risikobewertung

Ziel ist es, durch Vergleich der Analyseergebnisse mit dem gewählten Risikoakzeptanzkriterium systematisch und nachvollziehbar zu einer tolerierbaren Gefährdungsrate (THR) zu kommen.

In der Regel gibt es dabei zahlreiche Freiheitsgrade, die für ein optimales Systemdesign genutzt werden können und zahlreiche geeignete Methoden. In allen Ansätzen dient die explizite Risikobewertung aber zweierlei Zwecken:

- der Definition der THR für die Gefährdungen an der Systemgrenze und
- der Überprüfung, ob die zugehörigen Risiken tolerierbar sind.

Die explizite Bestimmung von Risiken ist jedoch nicht in allen Fällen erforderlich. Es gibt andere Mittel, um oben genannten Zweck zu erfüllen, z. B. in der CSM-Verordnung auf Grundlage anerkannter Regeln der Technik oder des Vergleichs mit ähnlichen Systemen.

11.3.3 Methoden zur expliziten Risikoanalyse

Hier werden die wichtigsten, gebräuchlichen Methoden mit Konstruktions- und Anwendungshinweisen vorgestellt.

11.3.3.1 Probabilistische Risikoanalyse (PRA)

Unter diesem Sammelbegriff findet man zahlreiche Ansätze. Hier wird beispielhaft ein Referenzansatz aus der Eisenbahnsignaltechnik dargestellt.

Risikoformel

Das Modell, das dieser PRA zugrunde liegt, kann man folgendermaßen erläutern:

1. Ein Individuum i verwendet ein technisches System (z. B. einen Zug). Das Benutzungsprofil wird beschrieben durch die Zahl der Nutzungen N_i (pro Jahr oder pro Stunde).
2. Bei der Benutzung des technischen Systems ist das Individuum Gefährdungen ausgesetzt, die durch das Versagen des technischen Systems bedingt sind. Dies wird durch die Liste der Gefährdungen und entsprechenden Gefährdungsraten $\{(H_j, HR_j)\}$ beschrieben. Die Wahrscheinlichkeit, dass das Individuum einer Gefährdung ausgesetzt ist, ist außerdem von der Dauer (Bestehens- oder Latenzzeit) der Gefährdung D_j und der Zeit E_{ij} , die das Individuum der Gefährdung ausgesetzt ist (Aussetzungsdauer), abhängig. Diese Wahrscheinlichkeit setzt sich zusammen aus der Wahrscheinlichkeit, dass die Gefährdung bereits existiert, wenn das Individuum das System betritt (näherungsweise $HR_j \times D_j$), und der Wahrscheinlichkeit, dass die Gefährdung auftritt, während das Individuum dem System ausgesetzt ist (ungefähr $HR_j \times E_{ij}$).
3. Aus jeder Gefährdung können sich eine oder mehrere Arten von Unfällen ergeben. Dies wird für jede Gefährdung durch die Folgen-

wahrscheinlichkeit C_{jk} beschrieben, dass sich ausgehend von der Gefährdung H_j ein Unfall vom Typ A_k ereignet. Diese Wahrscheinlichkeit steht für die Barrieren, die aus der Folgenanalyse abgeleitet werden können (z. B. mit Ereignisbaumanalyse). Für jede Art von Unfall A_k gibt es einen zugehörigen Schweregrad (abgeleitet aus der Schadensanalyse), der vom Individuum her gesehen z. B. beschrieben werden kann als die Wahrscheinlichkeit eines Todesfalls F_{ik} für das einzelne Individuum.

Diese Kausalität entspricht eins zu eins dem individuellen Risiko eines Todesfalls, das durch folgende Formel definiert wird:

$$IRF_i = N_i \sum_{\text{Gefährdungen } H_j} (HR_j \times D_j + HR_j \times E_{ij}) \sum_{\text{Unfälle } A_k} C_{jk} \times F_{ik}. \quad (11.1)$$

Wichtig ist hier noch, die Einheit klarzustellen, und zwar Todesfälle pro betrachtete Zeiteinheit, typischerweise in der Einheit FWI oder FWSI bewertet. Diese Bezugseinheit entspricht der Bezugseinheit bei der Betrachtung kollektiver Risiken, außer dass hier die Betrachtungseinheit ein Individuum ist.

Formel (11.1) kann hinsichtlich der Einbeziehung menschlicher Fehler in das Modell wie folgt verallgemeinert werden

$$IRF_i = N_i \sum_{\text{Gefährdungen } H_j} P_j \sum_{\text{Unfälle } A_k} C_{jk} \times F_{ik}. \quad (11.2)$$

Hierbei kann nun P_j , die Wahrscheinlichkeit, dass der Reisende der Gefährdung j ausgesetzt wird, entweder als technisches oder als menschliches Versagen interpretiert werden. Bei menschlichem Versagen könnte P_j z. B. während des Betriebes im Rückfallmodus definiert werden als das Produkt aus der Wahrscheinlichkeit des Rückfallmodus (die Nichtverfügbarkeit des technischen Systems) und der Wahrscheinlichkeit des menschlichen Versagens.

Die Formel (11.1) kann sowohl durch Verwendung von Mittelwerten als auch durch Einsetzen

von statistischen Verteilungen für die Parameter ausgewertet werden. Sie wird häufig auch schlichtweg als „Risikoformel“ bezeichnet. Ein weit verbreitetes Missverständnis besteht darin, zu meinen, dass die Risikoformel (11.1) durch CENELEC vorgeschrieben wird. Im Gegenteil, in der EN 50129 wird kein einziger Ansatz zur expliziten Risikobewertung ausdrücklich erwähnt.

11.3.3.2 Vor- und Nachteile

Ein wesentlicher Vorteil der PRA besteht darin, dass alle nur denkbaren Effekte und Einflussfaktoren individuell und detailliert berücksichtigt werden können. Der entscheidende Nachteil besteht allerdings darin, dass häufig die zur Berechnung benötigten Daten nicht oder nicht in der nötigen statistischen Qualität zur Verfügung stehen, denn es handelt sich um seltene Ereignisse. Obwohl häufig eine höhere Genauigkeit vorgeschätzt wird (z. B. durch Angabe vieler Nachkommastellen), kann man in der Praxis davon ausgehen, dass auch eine PRA nur Aussagen über die Größenordnung eines Risikos machen kann.

Unabhängig davon, welche Art der PRA angewendet wird, sollte man immer darauf bestehen, dass:

1. die verwendete Formel und das zugrunde liegende Modell explizit ausformuliert werden und nachvollziehbar sind,
2. die verwendeten Einheiten konsistent sind,
3. klar die Unsicherheit bezüglich der Eingangsdaten dargestellt wird sowie der daraus resultierende Einfluss auf das Gesamtergebnis.

11.3.3.3 Risikomatrix

In der EN 50126 wird lediglich als Beispiel eine sog. Risikomatrix dargestellt (siehe Tab. 11.4), allerdings ohne Anwendungsregeln oder Vorschläge für eine quantitative Ausprägung der Häufigkeits- oder Schadensausmaßklassen.

Konstruktion

Dies bedeutet, dass zunächst einmal die Kategorien für beide Klassen quantitativ oder qualitativ eindeutig und klar beschrieben werden müssen. Als nächster Schritt muss die Risikoakzeptanz abgestimmt werden, d. h. es muss eine

Tab. 11.4 Beispiel für eine Risikomatrix nach EN 50126

| Häufigkeit des gefährlichen Ereignisses | | | | |
|---|------------------|----------|----------|--------------|
| Häufig | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Wahrscheinlich | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Gelegentlich | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Selten | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Unwahrscheinlich | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Unvorstellbar | 0 | 1 | 2 | 3 |
| | Vernachlässigbar | Marginal | Kritisch | Katastrophal |
| | Schadensausmaß | | | |

Tab. 11.5 Beispiel für eine kalibrierte Risikomatrix

| THR | B | C | D | E |
|----------------------|--------------------|---|--------------------------|---------------|
| $10^{-5}/h$ | | | nicht tolerierbar | |
| $3 \times 10^{-7}/h$ | | | | |
| $10^{-8}/h$ | tolerierbar | | | |
| $10^{-9}/h$ | | | | RAK-TS |

Zuordnung der Felder der Matrix zu zwei oder mehr Klassen wie z. B. tolerabel bzw. intolerabel hergestellt werden, siehe Tab. 11.4 für ein Beispiel. In diesem Beispiel sind Kategorien, die vergleichbaren Risiken entsprechen, mit denselben Prioritäten belegt worden.

In der Praxis wird man hier ein oder mehrere Punkte in der Tabelle lokalisieren, die eindeutig tolerabel sind (z. B. durch Vergleich mit RAK-TS) oder in jedem Fall intolerabel sind. Dann kann man durch Interpolation bzw. Extrapolation die weiteren Felder der Matrix zuordnen. Dabei kann es auch Grenzkategorien, die zwar nicht intolerabel, aber unerwünscht sind und nur toleriert werden, wenn es keine sinnvolle Möglichkeit gibt, das Risiko zu reduzieren (in Anlehnung an das ALARP-Prinzip). Hierbei ist es auch möglich, Risikoaversion zu berücksichtigen, d. h. für Ereignisse mit hohem Schadenspotenzial erhöhte Anforderungen zu stellen. Tabelle 11.5 zeigt ein Beispiel, das auf RAK-TS kalibriert wurde und bei dem bei höherem Schadenspotenzial tendenziell schärfere Anforderungen gestellt werden. Die Schadenskategorien wurden entsprechend Tab. 11.3 gewählt. Diese Matrix wurde zwar von der ERA vorgeschlagen, hat aber bisher keinen Eingang in die CSM-Verordnung gefunden.

Vor- und Nachteile

Diese Methode, die ursprünglich auf den amerikanischen MIL-STD 882 zurückgeht, wird

zwar auch in vielen anderen Standards zitiert, sie bringt aber neben der Kalibrierung weitere Probleme mit sich:

- Die Resultate hängen davon ab, welche Systemebene (z. B. Gesamtsystem oder Komponenten) und welche Bezugsgröße (z. B. eine Fahrtstunde eines Zuges oder eine Strecke über ein Jahr) betrachtet werden.
- Dieser Ansatz tendiert dazu, Risiken zu überschätzen, da Anwender häufig vom maximalen Schadensausmaß ausgehen und dazu neigen, Gefährdungen mit Unfällen gleichzusetzen.
- Es fehlen im Vergleich zu Formel (11.1) einige wichtige Parameter, wie z. B. der Reduktionsfaktor C_{jk} . Dadurch dürften sich in Anwendungen, in denen noch Gefahrenabwehr möglich ist, erheblich höhere Sicherheitsanforderungen ergeben.

Hat man allerdings die oben ausgeführten Vorüberlegungen ausgeführt und insbesondere eine klare und eindeutige Definition der Kategorien gefunden, so lässt sich mit der Risikomatrix sehr pragmatisch und effizient arbeiten, da man z. B. aus der Einschätzung des Schadenspotenzials sofort die tolerierbare Häufigkeit des gefährlichen Ereignisses ablesen kann.

11.3.3.4 Risikoprioritätszahlen

Risikoprioritätszahlen sind eine besonders in der Automobil- und Software-Industrie verbreitete, aber auch in der Eisenbahntechnik gelegentlich

angewendete, Methode, eine FMEA zu einer einfachen Risikobewertung auszubauen, die dann auch FMECA (Failure Modes, Effects and Criticality Analysis) genannt wird.

FMECA

Die Analyse beginnt wie eine FMEA mit einer Definition der Systemfunktionen sowie ihrer möglichen Ausfallmodi. Dann wird jeder mögliche Ausfall auf seine Folgen untersucht. Das Ergebnis wird tabellarisch dokumentiert und zwar wird zu jedem denkbaren Ausfallmodus i dessen Häufigkeit H_i , die Möglichkeiten der Offenbarung (bzw. Entdeckung) O_i (bevor ein Schaden eintreten kann) sowie der mögliche resultierende Schaden S_i auf einer Rangskala (typischerweise von 1 bis 10) abgeschätzt.

Dabei werden typischerweise in der Anwendung statt der Funktionen die sie implementierenden Komponenten betrachtet und die Häufigkeit auf einen festen Betrachtungszeitraum (z. B. ein Jahr oder die Lebensdauer des Systems) bezogen und als Anteil der Komponenten definiert, an denen man im Betrachtungszeitraum den angegebenen Ausfall erwartet.

Daraus wird die zugehörige Risikoprioritätszahl

$$RPZ_i = H_i \times O_i \times S_i$$

ermittelt, die ein Maß für die Kritikalität (typischerweise auf einer Skala von 1 bis 1000) des Ausfallmodus sein soll. Diese Risikoprioritätszahlen werden benutzt, um verschiedene Ausfallmodi miteinander zu vergleichen oder konkrete Handlungen abzuleiten, z. B. das Design so zu ändern, dass alle Ausfallmodi eine Risikoprioritätszahl von geringer als ein Vorgabewert, z. B. 125 haben.

Vor- und Nachteile

Aufgrund seiner Einfachheit ist diese Vorgehensweise sehr beliebt. Von einer Risikoanalyse unterscheidet sich das Konzept der Risikoprioritätszahlen allerdings dadurch, dass

- es nicht möglich ist, auf Grundlage von Risikoprioritätszahlen Aussagen über tatsächliche Risiken oder das Einhalten von Grenzkrisiken abzuleiten,

- wichtige Parameter wie die Aussetzungsdauer oder Latenzzeiten von Gefährdungen nicht berücksichtigt werden und
- Reduktionsfaktoren nur sehr pauschal betrachtet werden (Parameter O).

Bei näherer Betrachtung zeigt sich, dass dieses Konzept selbst innerhalb seines Betrachtungsumfangs erhebliche systematische Schwächen aufweist:

- Unterschiedliche Bandbreiten bei Parametern: Während man sich leicht vorstellen kann, dass zwischen geringen und äußerst schweren Schäden ein Unterschied von sechs oder mehr Größenordnungen liegen kann, so ist dies bei den anderen Parametern, z. B. Offenbarung, nur schwer begründbar.
- Sensitivität gegenüber kleinen Änderungen: Ändert man einen Parameter geringfügig, so hängt die Größe der Änderung in der resultierenden Risikoprioritätszahl von der Größe der anderen Parameter ab. Dieser Effekt ist insbesondere im Bezug zum damit verbundenen Risiko nur schwer zu begründen.
- Gefahr falscher Schlussfolgerungen: Die Definition der Risikoprioritätszahlen impliziert, dass die Verdopplung eines Parameters bei gleichzeitiger Halbierung eines anderen keinen Einfluss auf das Ergebnis hat. Diese Schlussfolgerung würde aber eine rationale Skala voraussetzen, während das Konzept lediglich auf einer Rangskala basiert.

Zusammenfassend ist daher von einer Anwendung klassischer Risikoprioritätszahlen für Risikoanalysen abzuraten. Sie können allenfalls einer ersten, groben Priorisierung von Risiken dienen.

11.3.3.5 Risikograph

Der VDV besitzt mit dem in der VDV-Schrift 331 beschriebenen Verfahren eine im Nahverkehr bewährte Methode der Risikoanalyse, die zugleich das für diesen Bereich gültige (implizite) Risikoakzeptanzkriterium darstellt.

Parameter nach VDV331

Beim Risikographen wird das notwendige Maß an Risikoreduktion in Form eines SIL für jede Sicherheitsfunktion abgeleitet, und zwar mittels qualitativer Beurteilung von vier Einflussfaktoren, s. Tab. 11.6.

Tab. 11.6 Parameter des VDV-Risikographen

| Parameter | Wert | Beschreibung |
|--|------|--|
| Schadensausmaß | S1 | Leichte Verletzung |
| | S2 | Schwere irreversible Verletzung einer oder mehrerer Personen oder Tod einer Person |
| | S3 | Tod mehrerer Personen |
| | S4 | Katastrophale Auswirkungen, sehr viele Tote |
| Aufenthaltsdauer | A1 | Seltener bis öfterer Aufenthalt im Gefahrenbereich |
| | A2 | Häufiger bis dauernder Aufenthalt im Gefahrenbereich |
| Gefahrenabwehr | G1 | Möglich unter bestimmten Bedingungen |
| | G2 | Kaum möglich |
| Wahrscheinlichkeit des unerwünschten Ereignisses | W1 | Sehr gering |
| | W2 | Gering |
| | W3 | Relativ hoch |

Vor- und Nachteile

Obwohl die Parameter des Risikographen hier tabellarisch dargestellt wurden, unterscheidet sich das Verfahren qualitativ von Risikoprioritätszahlen deutlich. So wird z. B. durch den Graphen gesteuert, welche Parameter überhaupt maßgeblich sind: Beim Wert S1 ist z. B. nur noch W maßgeblich, während im Fall S2 zusätzlich noch A und G berücksichtigt werden. Außerdem sind die Parameter im Risikographen wesentlich größer differenziert (mit 2, 3 oder 4 Werten) als die Parameter der Risikoprioritätszahlen (mit jeweils 10 Werten).

Die wesentliche Schwäche des Verfahrens liegen darin, dass die Kategorien für die Einflussfaktoren nur verbal beschrieben sind und dass es keine Begründung für die Konstruktion des Verfahrens gibt. Z. B. ist schwer abzuschätzen, welches Schadensausmaß bei einer Entgleisung zutrifft, dies kann (selbst bei hoher Geschwindigkeit) von S2 bis S4 variieren. Auch die in VDV 331 enthaltenen weiteren Erläuterungen können diese Schwäche nicht gänzlich beseitigen.

Konformität zu EN 50129

Die Vorgehensweise nach VDV 331 erfüllt die Anforderungen der EN 50129 bezüglich:

- Systemdefinition,
- Identifikation der Gefährdungen (im Sinne von Funktionsversagen) und
- abgestimmtes Risikoakzeptanzkriterium (Risikograph).

Auch nach VDV 331 werden für die Dimensionierung der Ausfallsicherheit Zahlenwerte benötigt. Die VDV 331 benutzt dazu die Tab. 11.1.

Die Anwendung des Risikographen nach VDV 331 in Verbindung mit der SIL-Tabelle ist damit konform zur EN 50129 (siehe Abb. 11.16), wenn als Ergebnis der Risikoanalyse jeweils:

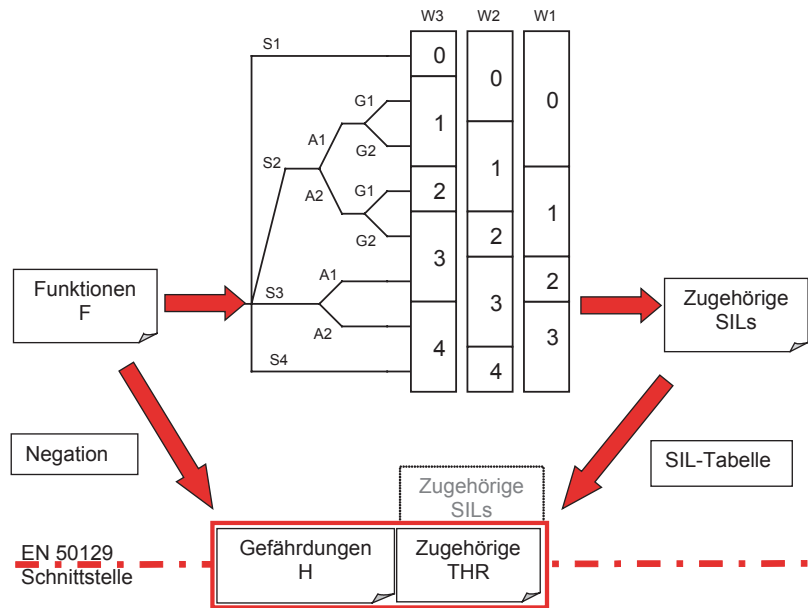
- die Gefährdung (als Versagen der Sicherungsfunktion),
- die THR sowie
- der SIL (für die Sicherungsfunktion) angegeben wird.

Es fehlt lediglich die konkrete Vorgabe, welche THR aus der jeweiligen Bandbreite der SIL-Tabelle gewählt werden soll. Konservativ könnte man die jeweils kleinste Zahl wählen (untere Grenze der Bandbreite).

11.3.4 Semi-quantitatives Verfahren Risk Score Matrix

Man kann versuchen, die Vorteile quantitativer PRA mit den Vorteilen qualitativer Verfahren, insbesondere hinsichtlich Einfachheit und Anwenderakzeptanz, zu verbinden. Dabei definiert man zunächst ein PRA-Modell, aus dem man durch Transformation bzw. Approximation ein qualitatives Verfahren konstruiert. Der Vorteil besteht darin, dass dieses abgeleitete qualitative Verfahren aufgrund seiner ingenieurmäßigen Konstruktion dann nachweisbare Eigenschaften besitzt. In diesem Abschnitt wird ein Vorschlag

Abb. 11.16 Zusammenhang zwischen Risikograph nach VDV331 und EN 50129



namens Risk Score Matrix (RSM) präsentiert, der kürzlich in Deutschland normiert wurde und der auf RAK-TS beruht, d. h. die Vorgaben der CSM-Verordnung erfüllt.

Die grundsätzliche Vorgehensweise wird in Abb. 11.17 dargestellt. Zunächst wird aus einer Liste von Systemfunktionen die zu betrachtende Funktion ausgewählt und die dazugehörigen Gefährdungen werden bestimmt. Zu jeder Gefährdung wird die zugehörige typische Unfallklasse bestimmt und mittels Tab. 11.5 die zugehörige THR bestimmt. Im nächsten Schritt werden risikoreduzierende Faktoren, die sog. Barrieren identifiziert. Für die typischen Barrieren enthält das RSM-Verfahren vordefinierte Bewertungstabellen.

Tabelle 11.7 zeigt eine Bewertungstabelle für menschliche Handlungen. Für jede menschliche Handlung, die nach Eintritt einer Gefährdung noch einen möglichen Unfall verhindern kann, wird eine Bewertung nach den vorgegebenen Kriterien durchgeführt und die resultierenden Punkte werden summiert. Jeder Punkt entspricht einer Risikoreduktion um eine „halbe“ Zehnerpotenz, d. h. zwei Punkte entsprechen einer Größenordnung.

Als weiteres Beispiel zeigt Tab. 11.8 eine Barriere, die von zwei Faktoren abhängt. Es handelt

sich um die Risikoreduktion, die aus der seltenen Aussetzung gegenüber manchen externen Ereignissen resultiert. Als Beispiel mag ein Brandmelder gelten. Feuer sind i. d. R. seltene Ereignisse. Die Risikoreduktion von Brandmeldern hängt allerdings davon ab, wie häufig sie getestet werden. Führt man im Extremfall keine Tests durch, so wird bei einem auftretenden Feuer mit hoher Wahrscheinlichkeit der Brandmelder nicht warnen, da er ausgefallen ist. Testet man den Brandmelder sehr häufig, so ist er mit einer hohen Wahrscheinlichkeit bei Auftreten eines Brandes wirksam.

Aus Platzgründen können hier nicht alle Bewertungstabellen aufgeführt werden. Sind für alle Barrieren Bewertungstabellen vorhanden, so kann man die Analyse komplett semi-quantitativ durchführen. Fehlen Bewertungstabellen, so kann man zusätzliche Tabellen konstruieren oder man kann die Risikoreduktion mit alternativen Methoden berücksichtigen.

In jedem Fall ist allerdings zu berücksichtigen, dass Barrieren abhängig sein können. In diesem Fall ist die Punktzahl der Barriere um den in Tab. 11.9 angegebenen Wert zu reduzieren, und zwar in Abhängigkeit der ursprünglichen Bewertung und dem Grad der Abhängigkeit zu den bereits durchgeführten Bewertungen.

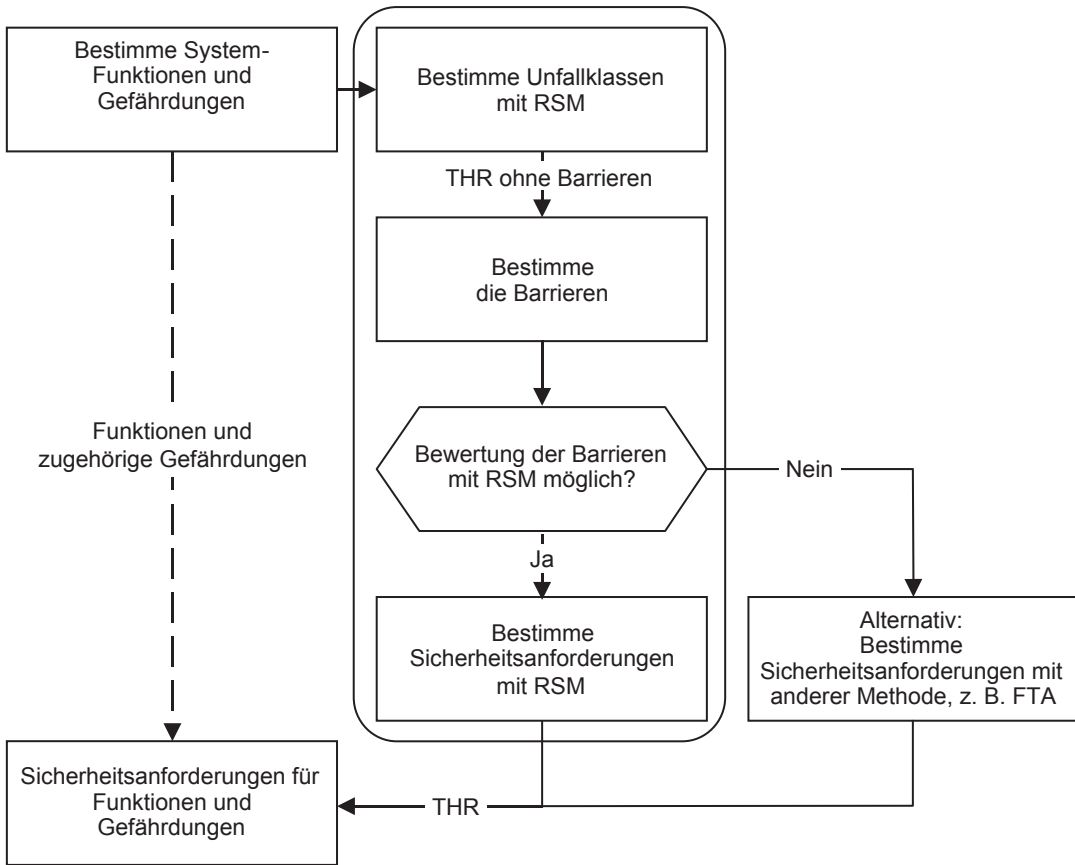


Abb. 11.17 Übersicht über das RSM-Verfahren

Tab. 11.7 Bewertungstabelle für menschliche Handlungen

| Wirksamkeit | Aufgabentyp | Erläuterung |
|---------------------------|-----------------------|--|
| 4 | Fertigkeitsbasiert | Intuitiv ausgeführte, gut trainierte Handlung. |
| 2 | Regelbasiert | Für die Handlung ist eine Regel definiert, die angemessen trainiert und überwacht wird. |
| 0 | Wissensbasiert | Keine Regeln und wenig Routine. |
| <i>Arbeitsbedingungen</i> | | |
| 1 | Gute Bedingungen | Die Aufgabe wird unter normalen bzw. guten Bedingungen in Bezug auf Sicht, Lärm, Temperatur, Einwirkung physikalischer Kräfte etc. durchgeführt. |
| 0 | Schlechte Bedingungen | Die Aufgabe wird unter widrigen Bedingungen in Bezug auf mindestens einen der folgenden Faktoren durchgeführt: Beleuchtung Lärm, Einwirkung Physikalischer Kräfte (z. B. Vibration), Temperatur. |
| <i>Stressniveau</i> | | |
| 1 | Optimal | |
| 0 | Überforderung | Die Arbeitsbelastung ist sehr hoch. Das Stressniveau ist hoch, z. B. Arbeit unter hohem Zeitdruck. |
| 0 | Unterforderung | Die Aufgaben sind wenig anspruchsvoll und überwiegend Routine. |

Tab. 11.8 Bewertungstabelle für seltene Aussetzung gegenüber externen Ereignissen

| Anforderungsrate | Testintervall | | | | |
|------------------|---------------|----------|----------|-----------|---------|
| | ≤1 Tag | ≤1 Woche | ≤1 Monat | ≤3 Monate | ≤1 Jahr |
| ≤1 Jahr | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| ≤3 Jahre | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| ≤10 Jahre | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 |
| ≤30 Jahre | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 |

Schließlich erhält man für jede Gefährdung eine Sicherheitsanforderung und die strengste dieser Sicherheitsanforderungen ergibt die Sicherheitsanforderung der Systemfunktion.

Als Beispiel soll die fahrzeugseitige Zug Sicherung betrachtet werden, die verhindern soll, dass ein Triebfahrzeugführer haltzeitige Signale überfährt. Typischerweise wird man nach Überfahren haltzeitiger Signale mit Kollisionen mit anderen Eisenbahnfahrzeugen rechnen müssen, so dass sich ohne weitere Barrieren nach Tab. 11.5 eine THR von $10^{-9}/h$ ergibt. Das Beachten von Signalen kann als fertigkeitbasierte Handlung eingeschätzt werden, die ein Triebfahrzeugführer i. d. R. bei guten Arbeitsbedingungen und einem normalem Stressniveau durchführt, d. h. nach Tab. 11.7 ergibt sich eine Bewertung von 6 Punkten, d. h. es ergibt sich insgesamt eine THR von $10^{-6}/h$.

11.4 Sicherheitsnachweisführung

Das Ziel der Sicherheitsnachweisführung besteht darin, nachzuweisen, dass das System für den vorgesehenen Einsatzzweck ausreichend sicher ist. Dieser Nachweis wird englisch auch als „assurance“ (Sicherstellung) tituliert. Wenn alle Aktivitäten der Sicherheitsnachweisführung fehlerfrei ausgeführt würden (z. B. alle Gefährdungen ermittelt, alle Sicherheitsanforderungen korrekt ermittelt), wäre es ausreichend, einfach alle Sicherheitsanforderungen nachzuweisen. Da dies aber i. d. R. nicht der Fall sein wird, geben die Normen vorsichtshalber umfangreiche Hinweise, welche Aspekte in Sicherheitsnachweisen berücksichtigt werden müssen. Der (zusätzliche) Nachweis der Normkonformität wird englisch als „compliance“ (Erfüllung) bezeichnet und ist für

Tab. 11.9 Bewertungstabelle für Abhängigkeiten zwischen Barrieren

| Abhängigkeit zwischen Barrieren | $\beta_i=1$ | $\beta_i=2$ | $\beta_i=3$ | $\beta_i=4$ | $\beta_i=4+j$ |
|---------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| Unabhängigkeit (I) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Geringfügige Abhängigkeit (LD) | 0 | 0 | -1 | -1 | -(j+1) |
| Mittlere Abhängigkeit (MD) | 0 | -1 | -1 | -2 | -(j+2) |
| Hohe Abhängigkeit (HD) | 0 | -1 | -2 | -3 | -(j+3) |
| Vollständige Abhängigkeit (CD) | -1 | -2 | -3 | -4 | -(j+4) |

sich alleine nicht ausreichend, um die Sicherheit eines Systems nachzuweisen (da eine Norm nicht jeden Spezialfall abdecken kann), aber aus den o. a. Gründen für einen Sicherheitsnachweis notwendig. Daher kommt es häufig zu Überschneidungen und Redundanz zwischen Aspekten der Sicherstellung sowie der Erfüllung, dies ist aus sicherungstechnischer Sicht aber durchaus sinnvoll und gewollt.

CENELEC EN 50129 fordert daher, dass der Nachweis der Sicherheitsanforderungen sowie der normativen Anforderungen in einem einheitlich gegliederten Dokument enthalten ist, das Sicherheitsnachweis genannt wird. Der Sicherheitsnachweis bildet einen Teil der gesamten Dokumentation, die der zuständigen Aufsichtsbehörde vorgelegt wird, um eine Zulassung zu erlangen. Dabei kann die Zulassung für ein generisches Produkt, einer Klasse von Anwendungen oder für eine spezifische Anwendung beantragt werden.

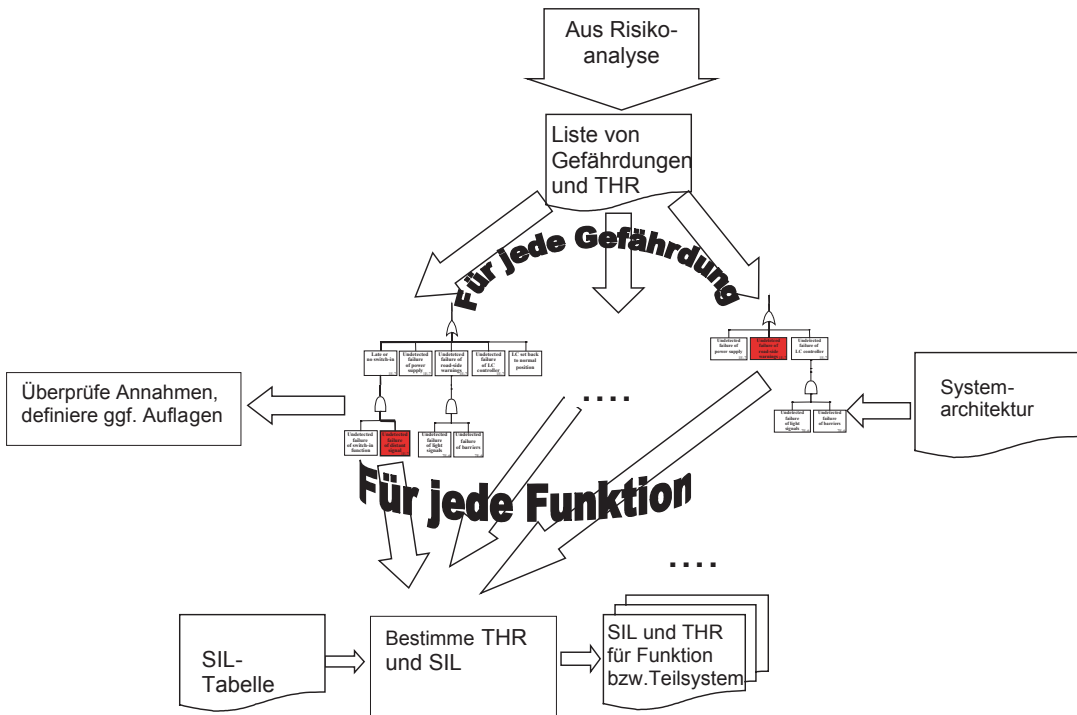


Abb. 11.18 Gefährdungsanalyse-Prozess

11.4.1 Gefährdungsanalyse-Prozess

11.4.1.1 Überblick

Die Gefährdungsanalyse ist der Prozess während der Entwicklung eines Systems, der die Ursachen für die Gefährdungen ermittelt und die in der Risikoanalyse ermittelten Sicherheitsanforderungen für die Gefährdungen auf die Systemfunktionen- bzw. komponenten aufteilt, siehe Abb. 11.18 für einen Überblick.

11.4.1.2 Ursachenanalyse

Die Ursachenanalyse besteht aus zwei Stufen. In einer ersten Phase der Ursachenanalyse wird die tolerierbare Gefährdungsrate für jede Gefährdung auf Funktionen aufgeteilt. Die Gefährdungsrate wird dann in einen SIL unter Verwendung der SIL-Tabelle umgesetzt. Die SIL werden auf dieser funktionalen Ebene direkt den Teilsystemen, die die Funktionen implementieren, zugeordnet.

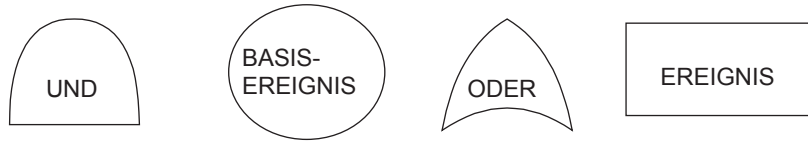
Ein Teilsystem kann mehrere sicherheitsrelevante Funktionen umfassen, wobei unterschied-

liche SIL gefordert sein könnten. Wo dies der Fall ist, muss das Teilsystem alle Anforderungsstufen erfüllen. Dieses kann dadurch erreicht werden, indem das Teilsystem den höchsten SIL erfüllt, oder indem Unabhängigkeit der Funktionen nachgewiesen werden kann. In diesem Fall muss eine Untersuchung möglicher gemeinsamer Ursachen, eine sog. Common-Cause-Failure Analyse (CCF), durchgeführt werden.

In einer zweiten Phase der Ursachenanalyse werden die Gefährdungsdaten von Teilsystemen weiter aufgeteilt auf Ausfallraten von Komponenten, aber dabei bleiben die SIL unverändert.

Die Ursachenanalyse kann mit jeder Methode durchgeführt werden, die eine geeignete Darstellung der Zusammenhänge erlaubt, wie z. B. Zuverlässigkeitsblockdiagramme, Fehlerbäume, binäre Entscheidungsdiagramme, Markov-Modelle o. ä. In jedem Fall muss auf die notwendige Unabhängigkeit von Einheiten geachtet werden. Während in der ersten Phase der Ursachenanalyse funktionale Unabhängigkeit gefordert ist (d. h. das Versagen von Funktionen

Abb. 11.19 Wichtige Fehlerbaum-Symbole



muss unabhängig in Bezug auf systematische und zufällige Fehler sein), ist lediglich physikalische Unabhängigkeit in der zweiten Phase gefordert (d. h. das Versagen von Funktionen muss unabhängig in Bezug auf zufällige Fehler sein). Die in der Ursachenanalyse gemachten Annahmen müssen in jedem Fall nachgeprüft werden, und sie können zu sicherheitsbezogenen Anwendungsregeln (SEAR) für die Implementierung führen.

Die EN 50129 empfiehlt ausdrücklich, dass im Sicherheitsnachweis zwei komplementäre Methoden zur Anwendung kommen müssen, um hinreichend sicher bezüglich der Vollständigkeit der Identifikation von Gefährdungen und der Analyse ihrer Ursachen zu sein. In der Praxis hat sich eine Kombination aus FMEA und Fehlerbaumanalyse (FTA) bewährt.

Fehlerbaumanalyse (FTA)

Bei der FTA handelt es sich im Gegensatz zur FMEA um eine deduktive Methode, d. h. ihr Ziel besteht in der systematischen Analyse aller möglichen Ursachen eines bestimmten unerwünschten Ereignisses, des sog. TOP-Ereignisses. Der Fehlerbaum stellt in Bool'scher Logik die Ereigniskombinationen dar, die zum TOP-Ereignis führen, d. h. im Wesentlichen logische UND- bzw. ODER-Verknüpfungen.

Die Analyse erfolgt dann Top-Down (im Gegensatz zur FMEA oder auch Ereignisbaumanalyse), rückwärts (auch zeitlich gesehen) vom TOP-Ereignis zu den Ursachen. Jedes Ereignis im Baum, für das keine weiteren Ursachen ermittelt werden (können), stellt ein sog. Basisereignis dar.

Die Symbole für FTA sind leider nicht standardisiert, aber in den meist angelsächsischen Tools sind die in Abb. 11.19 abgebildeten Symbole am gebräuchlichsten. Ereignisse werden durch Rechtecke, Basisereignisse durch Kreise gekennzeichnet.

Abbildung 11.20 zeigt ein einfaches Beispiel für ein redundantes System, bei dem zwei sog. Kanäle eine Aufgabe bearbeiten und vor einer sicherheitskritischen Ausgabe ein sog. Vergleicher überprüft, ob beide Kanäle dasselbe Ergebnis liefern (im andern Fall würde die Ausgabe unterbunden).

Der Fehlerbaum basiert auf folgender Logik: Es kommt dann zu einer fehlerhaften Ausgabe, wenn Kanal A und Kanal B die gleiche fehlerhafte Ausgabe machen, oder wenn der Vergleicher nicht mehr korrekt arbeitet (dann würde ggf. ein zusätzlicher Fehler eines Kanals ausreichen). Allerdings zeigt schon dieses einfache Beispiel, dass die Bool'sche Logik bereits an ihre Grenzen kommt, denn im letzteren Fall muss der Vergleicher vor den Kanälen ausfallen. Würde ein Kanal ausfallen, so würde ein noch funktionierender Vergleicher dies mit hoher Wahrscheinlichkeit schon bei einer der nächsten Ausgaben feststellen. Deshalb wurde im obigen Beispiel ein zusätzliches Zeichen für diesen Fall notwendig, ein sog. Prioritäts-UND mit der Bedeutung „ERST A, und dann B“.

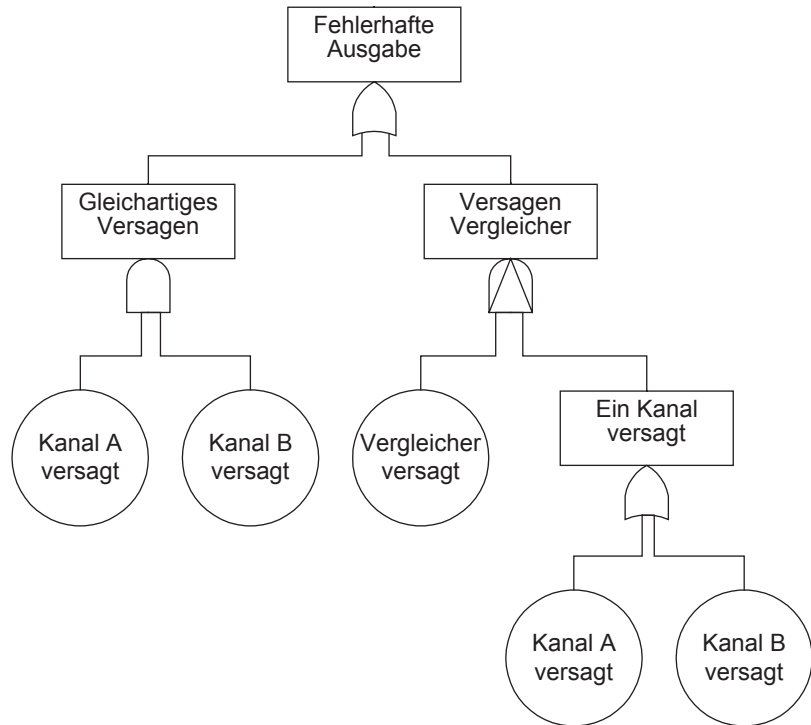
Abbildung 11.21 zeigt den Zusammenhang zwischen der Gefährdungsliste, der FMEA, der FTA sowie einen möglichen Ablauf einer Ursachenanalyse.

11.4.1.3 Common-Cause Failure (CCF)-Analyse

Zweck der CCF-Analyse ist die Aufdeckung aller Fälle, in denen zwei oder mehr Ereignisse als Ergebnis einer gemeinsamen Ursache oder eines auslösenden Ereignisses auftreten können. Ist die Wahrscheinlichkeit einer gemeinsamen Ursache deutlich größer als die Wahrscheinlichkeit, dass die zwei oder mehr Ereignisse unabhängig auftreten, dann kann die gemeinsame Ursache entscheidend zur Gefährdungsrate beitragen.

Man beachte, dass im Normalfall Funktionen oder Komponenten nicht unabhängig sind, d. h.

Abb. 11.20 Fehlerbaum-
Beispiel



Unabhängigkeit ist die Ausnahme und CCF sind der Normalfall. Funktionen können aber häufig in unabhängige Teil-Funktionen und Teil-Funktionen, die durch gemeinsam wirkende Fehler (CCF) abhängig sind, aufgeteilt werden. Abbildung 11.22 zeigt die allgemeine Behandlung von CCF durch eine FTA.

11.4.1.4 Zuweisung von SIL

Tabelle 11.1 identifiziert den geforderten SIL für eine sicherheitsrelevante Funktion ausgehend von der vertretbaren Gefährdungsrate THR für diese Funktion. Die SIL-Tabelle ist abgeleitet aus und konform zu der Sicherheitsgrundnorm IEC 61508.

Die SIL-Tabelle ist auf sicherheitsrelevante Funktionen oder Teilsysteme anwendbar, die eine oder mehrere dieser Funktionen implementieren. Theoretisch sollte eine SIL-Tabelle folgende Eigenschaften besitzen:

- Ist man den für ein SIL x geforderten Maßnahmen und Methoden gefolgt (die z. B. in EN 50128 und EN 50129 definiert werden), dann liegt die Versagenshäufigkeit sowohl für systematische als auch für zufällige

Ursachen innerhalb der für SIL x definierten Bandbreite.

- Wenn für eine sicherheitsrelevante Funktion eine Versagenshäufigkeit innerhalb der Bandbreite von SIL x gefordert wird, dann müssen die für SIL x geforderten Maßnahmen und Methoden angewendet werden.

Praktisch hängt die Gültigkeit der Aussage von vielen Details und Randbedingungen ab und kann nicht allgemein nachgewiesen werden.

11.4.2 Struktur und Hierarchie von Sicherheitsnachweisen

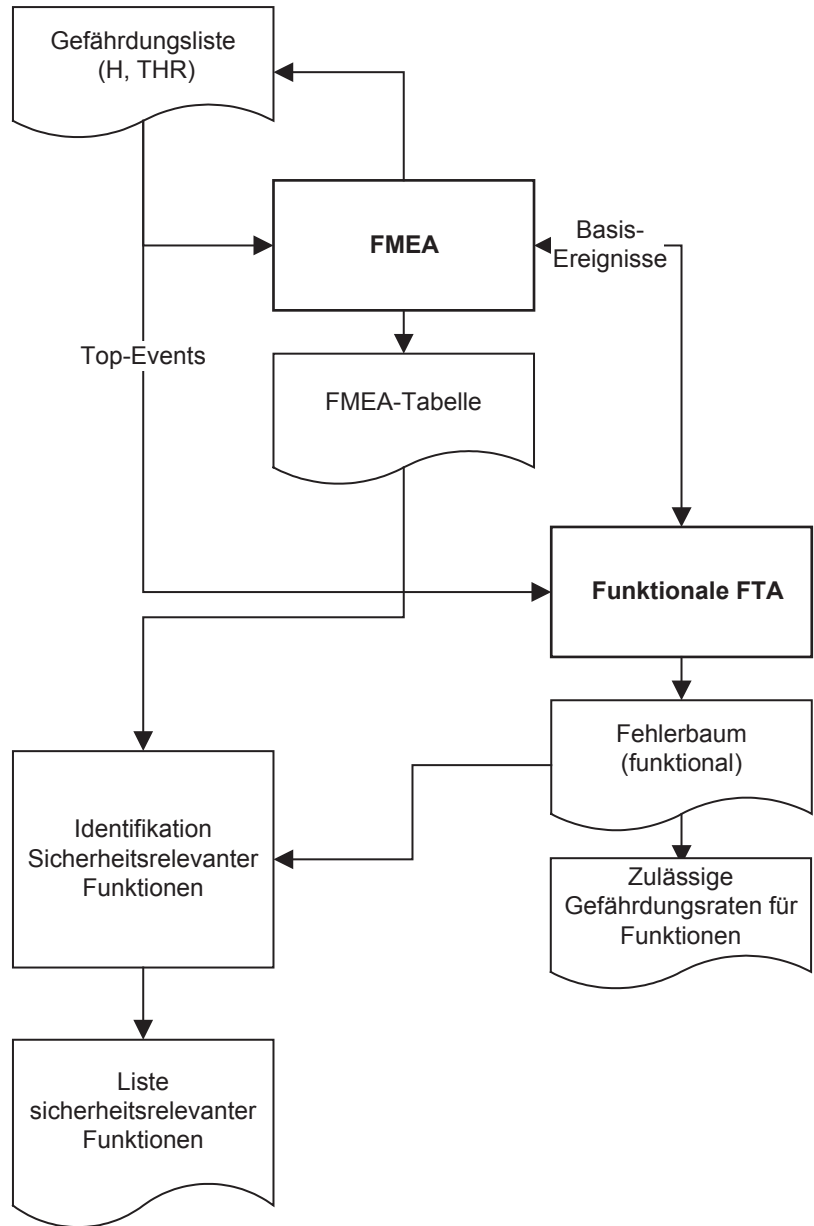
In der Regel sind Systeme, schon aus Gründen der Beherrschbarkeit der Komplexität bzw. Wiederverwendbarkeit, modular aufgebaut.

11.4.2.1 Sicherheitsnachweistypen

Die EN 50129 differenziert zwischen drei grundsätzlichen Systemebenen:

1. Spezifische Anwendungen,
2. Generische Anwendungen und
3. Generische Produkte.

Abb. 11.21 Anwendung von FTA und FMEA im Rahmen einer Gefährdungsanalyse



Unter spezifischen Anwendungen werden konkrete Anlagen verstanden, z. B. das Stellwerk Braunschweig. Generische Anwendungen können Anwendungen sein, die für einen spezifischen Kunden angepasst wurden, aber noch nicht an eine spezifische Anlage, z. B. eine Stellwerksbauform für die DB AG, die noch mit anlagenspezifischen Daten projiziert werden muss. Ein generisches Produkt dagegen ist i. d. R. unabhängig von einer Anwendung, z. B. eine Rechnerplatt-

form für sicherheitsrelevante Anforderungen, die in einem Bahnübergang, einem Stellwerk oder in einem Fahrzeug eingesetzt werden kann.

Daher hängt der Systemsicherheitsnachweis von Sicherheitsnachweisen untergeordneter Teilsysteme oder Komponenten ab. In solchen Fällen ist die Sicherheitszulassung des Systems nicht ohne die vorangegangenen Sicherheitszulassungen der zugehörigen Teilsysteme oder Komponenten möglich.

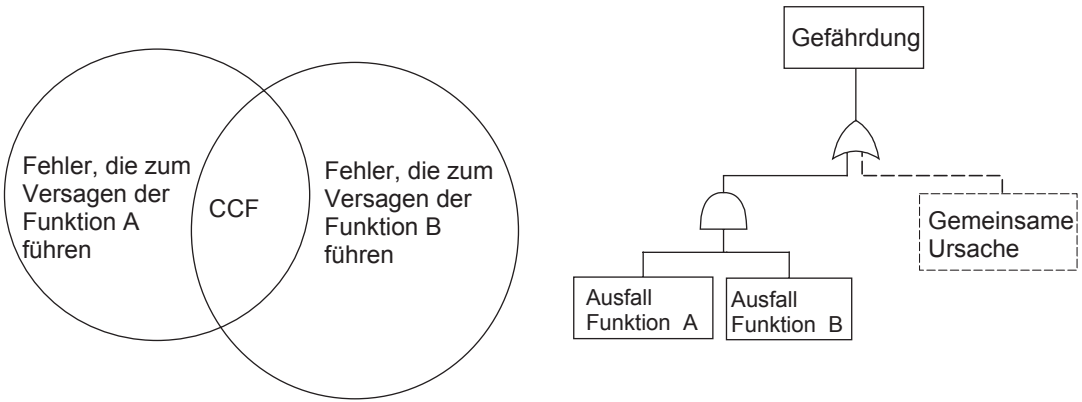


Abb. 11.22 Behandlung von funktionaler Unabhängigkeit durch FTA

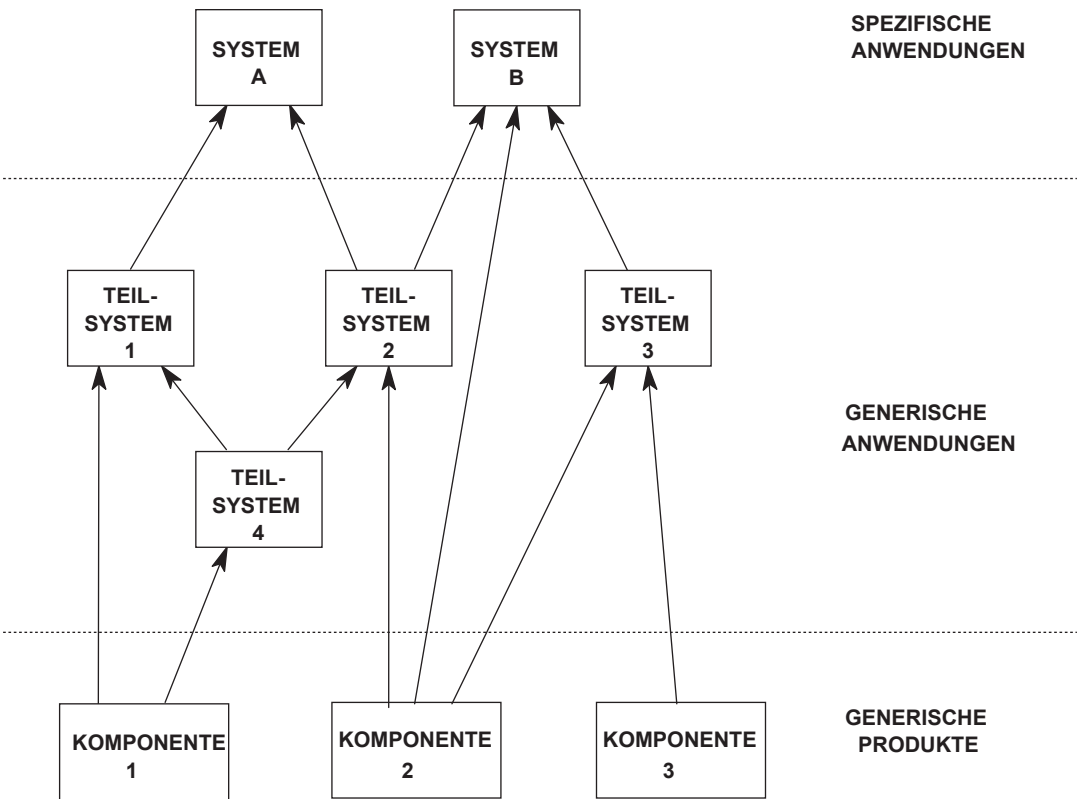


Abb. 11.23 Hierarchie von Sicherheitsnachweisen nach EN 50129

Wenn eine Sicherheitszulassung für ein generisches Produkt oder für eine generische Anwendung erteilt wurde, darf ein Verweis in der Sicherheitszulassung einer spezifischen Anwendung darauf gemacht werden; die Sicherheitszulassung generischer Anteile braucht nicht für

jede Anwendung wiederholt werden. Diese Abhängigkeit zwischen den Sicherheitszulassungen ist in Abb. 11.23 dargestellt.

In solchen Beispielen von Abhängigkeit muss auf jeden Fall sichergestellt sein, dass die generischen Anteile die spezifischen Anforderungen

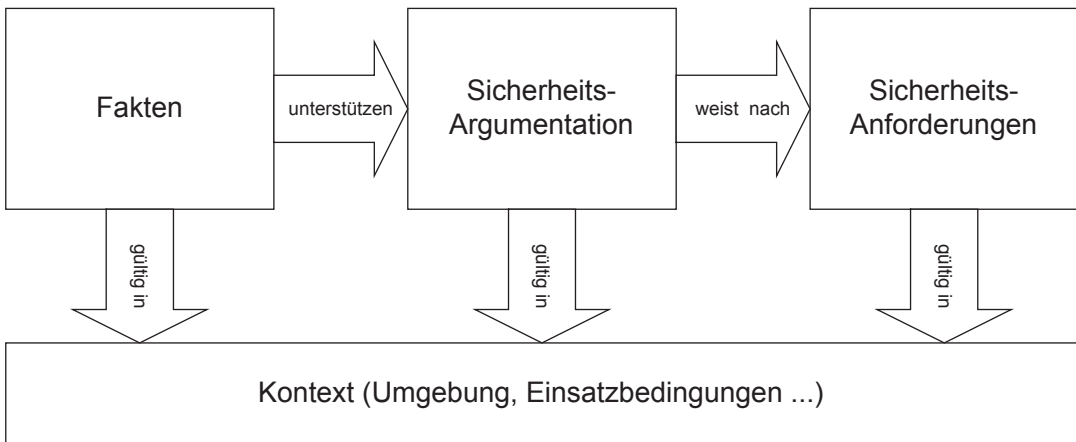


Abb. 11.24 Logischer Aufbau einer Sicherheitsargumentation

der Anwendung erfüllt. Dies wird insbesondere für generische Systeme nicht ohne Annahmen oder Anforderungen an andere Systeme möglich sein. Daher werden die Sicherheitsnachweise i. d. R. sicherheitsrelevante Anwendungsregeln enthalten, d. h. Bedingungen, unter denen die Sicherheitsanforderungen erfüllt sind. Diese müssen im Sicherheitsnachweis einer höheren Ebene als erfüllt gezeigt worden sind, oder schließlich zum Anwender als sicherheitsrelevante Auflagen übertragen wurden.

11.4.2.2 Logik von Sicherheitsnachweisen

Die obigen Ausführungen betrafen allein die hierarchische Struktur von Sicherheitsnachweisen. Die inhaltliche Strukturierung wird in EN 50129 nur stichpunktartig vorgegeben, deswegen ist es sinnvoll, diese logische Strukturierung durch eine Methode zu unterstützen. Dazu ist es sinnvoll, Sicherheitsnachweiskonzepte logisch zu unterteilen in:

- das eigentliche Sicherheitsargument (der „rote Faden“ der Nachweisführung) und
- unterstützende Fakten (z. B. Analyse- oder Testergebnisse).

Beides ist notwendig für eine schlüssige Sicherheitsnachweisführung, denn:

- ein Sicherheitsnachweis, der nur aus einer Sammlung von Fakten besteht, ist nicht ausreichend erklärt bzw. nachvollziehbar und

- ein Sicherheitsnachweis, der nur aus einem Sicherheitsargument besteht, ist ohne Fakten unbegründet.


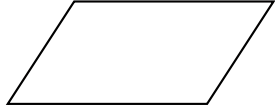

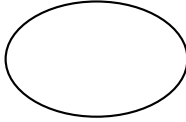
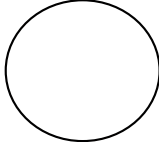
Weiterhin ist die Erkenntnis wichtig, dass sowohl Sicherheitsanforderungen als auch Sicherheitsargumente als auch Fakten nur in einem spezifischen Kontext gelten. Deshalb ist es notwendig, diesen Kontext explizit zu definieren, siehe Abb. 11.24.

11.4.2.3 Strukturierung von Sicherheitsargumenten

Zur logischen Strukturierung bietet sich eine einfache Methode wie die sog. Goal Structure Notation (GSN) an. Die grundlegende Vorgehensweise besteht darin, zu erreichende Ziele (d. h. Sicherheitsanforderungen) argumentativ durch Strategien bzw. Vorgehensweisen zu untermauern und dadurch das (komplexe) Gesamtziel in (einfachere) Teilziele aufzuteilen, s. Tab. 11.10. Dabei werden die grundlegenden Randbedingungen und Annahmen klar ausgewiesen. Teilziele werden solange unterteilt, bis man zu überschaubaren Einheiten (sog. Lösungen) kommt, für die man unmittelbar einen Nachweis durch Fakten erbringen kann.

Als einfaches Beispiel wird in Abb. 11.25 der grundsätzliche Ansatz von CENELEC in einer GSN dargestellt.

Tab. 11.10 Elemente der Goal Structuring Notation (GSN)

| Bezeichnung | Erläuterung | Symbol |
|---------------------------|---|--|
| Ziel (Goal) | Das Ziel der gesamten Argumentation bzw. ein Zwischenziel. |  |
| Strategie (Strategy) | Eine Strategie ist eine Vorgehensweise, wie ein Ziel erreicht bzw. nachgewiesen werden kann. |  |
| Randbedingungen (Context) | Ziele sind nur unter gewissen Randbedingungen formulierbar bzw. erreichbar. |  |
| Annahmen (Assumptions) | Die zugrundeliegenden Annahmen für eine Strategie müssen ausgewiesen werden, da nur unter diesen Annahmen das Ziel erreicht werden kann. |  |
| Lösung (Solution) | Eine Lösung bezeichnet einen Fakt oder einen Nachweis, der unmittelbar einsichtig ist bzw. nach einer anerkannten Methode unstrittig erbracht werden kann |  |

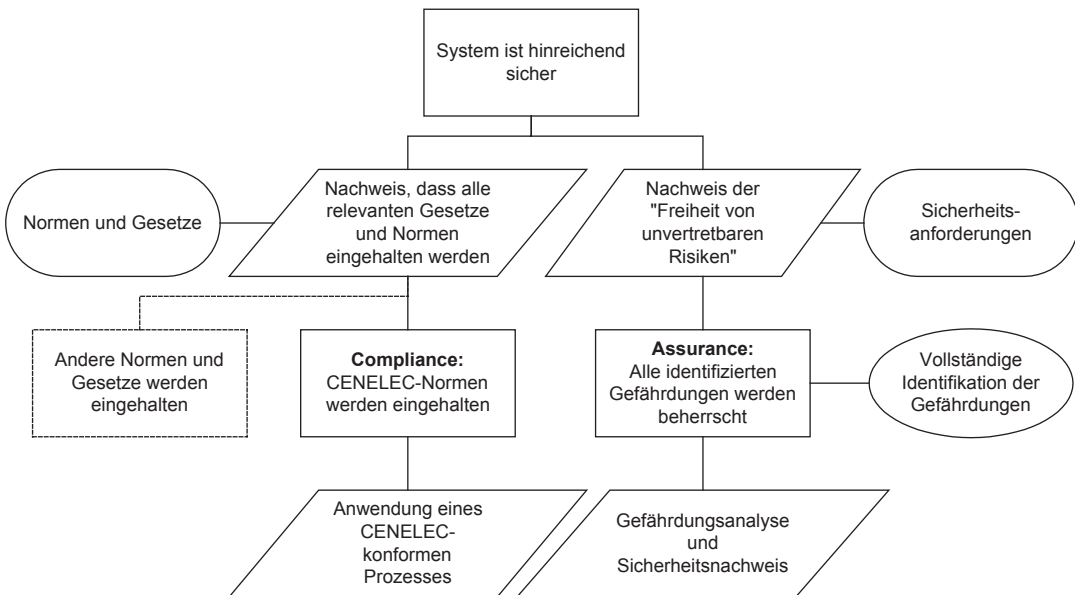


Abb. 11.25 Beispiel GSN

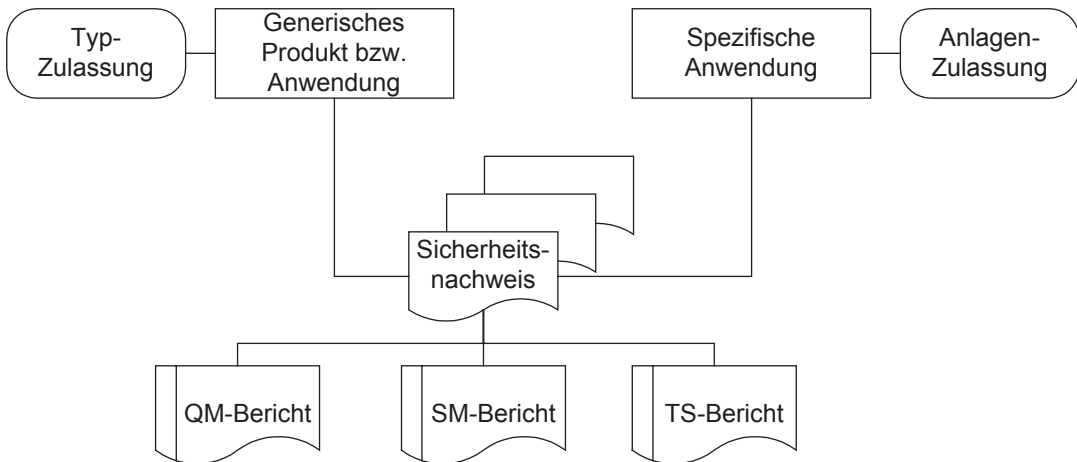


Abb. 11.26 Struktur des Sicherheitsnachweises nach EN 50129

11.4.3 Aufbau und Inhalt von Sicherheitsnachweisen

In EN 50129 wird gefordert, dass ein Sicherheitsnachweis (safety case) sich nicht nur mit technischen Aspekten befasst, sondern immer drei wesentliche Bestandteile besitzt (siehe Abb. 11.26):

- Nachweis des Qualitätsmanagements (Quality Management (QM) Report),
- Nachweis des Sicherheitsmanagements (Safety Management (SM) Report) und
- Nachweis der technischen Sicherheit (Technical Safety (TS) Report).

11.4.3.1 Qualitätsmanagementbericht

Die Qualität des Systems, Teilsystems oder der Komponente muss durch ein entsprechendes Qualitätsmanagementsystem über den gesamten Lebenszyklus gewährleistet werden. Der dokumentierte Nachweis muss im Qualitätsmanagementbericht erfolgen.

Der Zweck des Qualitätsmanagementsystems ist es, die Häufigkeit menschlicher Fehler zu minimieren und damit das Risiko von systematischen Fehlern in dem System, Teilsystem oder der Komponente zu reduzieren.

Ein wichtiger Aspekt dabei ist die Wirksamkeit von Prüfungen, insb. Reviews und Audits.

Prüfungen

Bei CENELEC werden grundsätzlich die folgenden Prüfschritte unterschieden:

Verifikation: Analyse und Testen um festzustellen, ob das Ausgangsprodukt jeder Phase des Lebenszyklus die Anforderungen aus der vorhergehenden Phase erfüllt

Validierung: Analyse und Testen zur Demonstration, dass das Produkt in allen Belangen seine spezifizierten Anforderungen erfüllt

Begutachtung: Analyseprozess zur Feststellung, ob die Entwurfsinstanz und der Validierer ein Produkt zustande gebracht haben, das die spezifizierten Anforderungen erfüllt und um zu beurteilen, ob das Produkt für seinen gedachten Anwendungszweck geeignet ist

Dabei wird grundsätzlich jedes Ergebnis einer Phase gegen seine Anforderungen geprüft (verifiziert, i. d. R. durch Review) sowie jede Implementierungsstufe gegen die Anforderungen (i. d. R. durch Analyse und Test). Das Endprodukt wird gegen die Anforderungen des spezifischen Einsatzfalls geprüft (validiert). Zusätzlich wird der Gesamtprozess begutachtet (häufig unterstützt durch Audits), wobei insbesondere die Einsatzfähigkeit festzustellen. In Abb. 11.27 wird der grundsätzliche Zusammenhang verdeutlicht.

Unabhängigkeit von Prüfern

Bei CENELEC werden aufgrund der Sicherheitsrelevanz der Produkte dabei konkrete Anforderungen an die Unabhängigkeit der Prüfschritte sowie die anzuwendenden Methoden bei Analyse und Test gestellt, siehe Abb. 11.28. Dabei werden sowohl Anforderungen bezüglich der Zuordnung von Personen zu Rollen als auch bez. der disziplinarischen Unterstellung gestellt. Der Gutachter

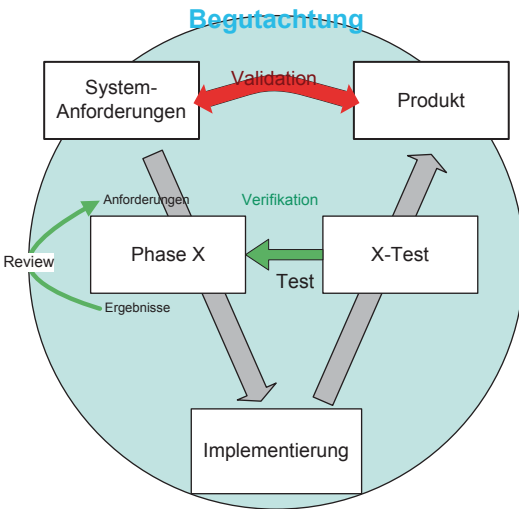


Abb. 11.27 Grundsätzliche Prüfschritte im CENELEC-Lebenszyklus

| Rolle | Entwickler Verifizierer Validierer | | | Gutachter |
|-------|------------------------------------|---|---|-----------|
| SIL | | | | |
| 0 | X | Y | Y | G |
| 1&2 | X | Y | Y | G |
| 3&4 | X | Y | Y | G |
| 3&4 | X | Y | Z | G |

Projektteam
 Personen X, Y, Z, G

Abb. 11.28 Unabhängigkeitsforderungen nach EN 50128

muss dabei in jedem Fall unabhängig vom Projekt und nicht an disziplinarische Weisungen gebunden sein, muss aber nicht notwendigerweise einer externen Organisation angehören. Das deutsche Konstrukt einer unabhängigen Prüfstelle innerhalb eines Entwicklungsbetriebs wird ausdrücklich zugelassen. Der Nachweis dieser Anforderungen ist Teil des Sicherheitsmanagementberichts.

In der CSM-Verordnung wird allgemeiner von einer Bewertungsstelle gesprochen, dies bedeutet eine „unabhängige, fachkundige Person, Organisation oder Stelle, die eine Unter-

suchung vornimmt, um auf der Grundlage von Nachweisen zu beurteilen, ob ein System die gestellten Sicherheitsanforderungen erfüllt“. Dabei wird festgelegt, dass derjenige, der die Änderung vornimmt, der sog. Vorschlagende, die Bewertungsstelle auswählt, „bei der es sich um eine andere Organisation oder auch um eine interne Abteilung handeln kann“. Dies bestätigt die Festlegungen der CENELEC-Normen. Weiter wird eindeutig festgestellt, dass der Sicherheitsbewertungsbericht einer Bewertungsstelle „nicht von einer anderen Bewertungsstelle, die mit einer erneuten Bewertung desselben Systems beauftragt ist, in Frage gestellt werden“ darf, d. h. Doppelprüfungen sollen explizit vermieden werden. Damit die Bewertungsberichte anerkannt werden können, müssen die Bewertungsstellen einheitliche Anforderungen erfüllen, die in Anhang II der CSM-Verordnung dargelegt sind. Zukünftig soll eine europäische Akkreditierung für Bewertungsstellen die gegenseitige Anerkennung von Bewertungsberichten erleichtern.

11.4.3.2 Sicherheitsmanagement

CENELEC EN 50126 ergänzt den normalen Lebenszyklus eines Systems um einen generischen, systematischen Prozess für die Spezifikation von Sicherheits- und Verfügbarkeitsanforderungen und für den Nachweis, dass diese Anforderungen erfüllt sind. Die Anwendung und Wirksamkeit dieses zusätzlichen Sicherheitsmanagementprozesses muss nachgewiesen werden. Unter Sicherheitsmanagement versteht man daher die Managementorganisation, die sicherstellt, dass dieser Prozess adäquat geplant, kompetent implementiert und nachvollziehbar dokumentiert wird. Abweichungen von den Aktivitäten und Anforderungen der EN 50126 sind zu rechtfertigen, aber bei Nachweis der Angemessenheit der ausgewählten Aktivitäten erlaubt.

Grundsätzliche Anforderungen

- ▶ Bei allen Anwendungen der EN 50126 ist dabei verbindlich:
- ▶ Die Verantwortlichkeiten für die Durchführung aller Aktivitäten für jede Phase des Lebenszyklus müssen klar definiert werden.

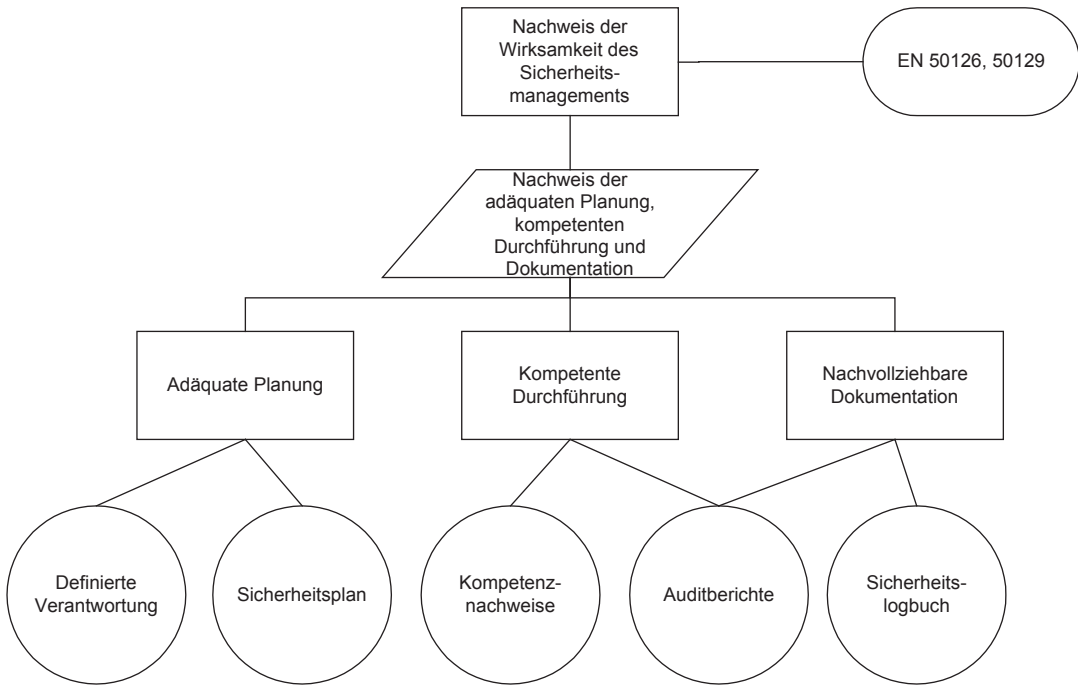


Abb. 11.29 Zusammenhang zwischen den wichtigsten Sicherheitsmanagement-Elementen

- ▶ Das Personal mit Verantwortung im Rahmen dieses Management-Prozesses muss nachgewiesenermaßen kompetent sein.
- ▶ Die Festlegung und Umsetzung einer Planung zum Thema Verfügbarkeit (sog. RAM-Programm) und zum Thema Sicherheit (sog. Sicherheitsplan).
- ▶ Die Anforderungen der EN 50126 müssen in die Geschäftsprozesse implementiert werden, unterstützt durch ein Qualitätsmanagementsystem (QMS), das die Anforderungen von EN ISO 9001 ff. erfüllt.
- ▶ Ein angemessenes und wirksames Konfigurations-Managementsystem muss festgelegt und umgesetzt werden.

Elemente des Sicherheitsmanagements

Die EN 50126 spricht zwar weitere Elemente des Sicherheitsmanagements an, die aber erst durch die EN 50129 normativ gefordert werden:

1. Die Erstellung und Pflege eines Sicherheitslogbuchs (hazard log), in dem alle mit der Sicherheit zusammenhängenden Maßnahmen, die ermittelten Gefährdungen, die getroffenen Entscheidungen und die gewähl-

ten Lösungen aufgezeichnet oder als Verweis enthalten sind.

2. Die Durchführung und Dokumentation von Sicherheitsreviews und -audits.
3. Die Erstellung eines Sicherheitsnachweises, dessen prinzipielle Struktur durch EN 50129 vorgegeben wird, vgl. Abb. 11.26. Der Nachweis der technischen Sicherheit besitzt dieselbe Struktur wie der Sicherheitsnachweis nach Mü8004, vgl. Abb. 11.30.

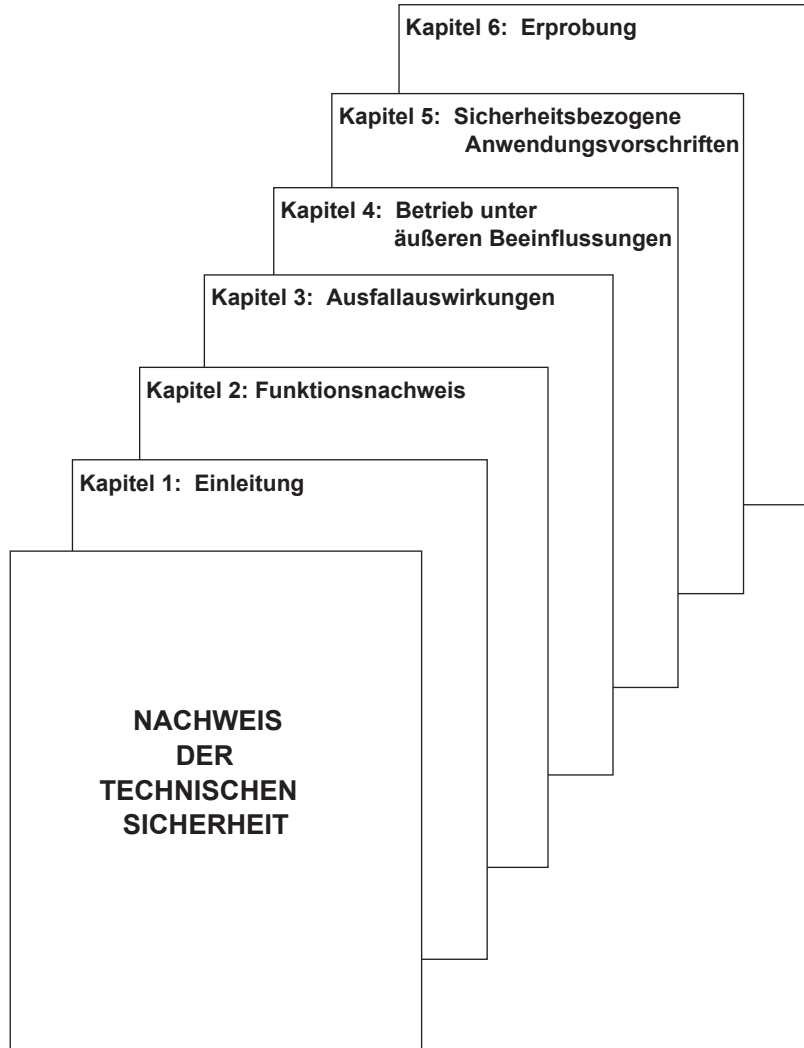
Abbildung 11.29 zeigt den Zusammenhang zwischen den wichtigsten Elementen des Sicherheitsmanagements hinsichtlich ihrer Bedeutung für den Nachweis des Sicherheitsmanagements.

Sicherheitsmanagement-Prinzipien

Bei der Umsetzung des Sicherheitsmanagements haben sich die folgenden Prinzipien bewährt:

- Sicherheitsaspekte sollten so früh wie möglich im Lebenszyklus behandelt werden.
- Sicherheit und Verfügbarkeit müssen gemeinsam optimiert werden.
- Sicherheit kann am einfachsten durch erprobte Methoden und Technologien gewährleistet werden.

Abb. 11.30 Struktur des technischen Sicherheitsnachweises nach EN 50129



- Sicherheit kann am besten durch eine kontinuierliche, iterative und evolutionäre Vorgehensweise erreicht werden, die insbesondere für Feedback zwischen dem Systemdesign und Sicherheitsaktivitäten sorgt
- Alle Systeme sollen, bevor nicht das Gegenteil nachgewiesen wurde, als sicherheitsrelevant eingeschätzt werden.
- Sicherheit verlangt die Sichtbarkeit des Produkts wie des Prozesses. Sie kann nur sehr schwer mit einem Black-box-Ansatz gewährleistet werden.
- Sicherheit wird am besten durch ein adäquates Maß an Diversität beim Personal, Kompetenzen und Methoden gewährleistet.
- Sicherheitsfunktionen und -argumente sollten so einfach wie möglich aufgebaut sein.
- Testen ist notwendig, aber alleine für Sicherheitsfunktionen nicht ausreichend. Testaktivitäten müssen durch analytische und strukturierte Methoden komplementiert werden.

11.4.3.3 Technischer Sicherheitsnachweis

Der Aufbau des technischen Sicherheitsnachweises wurde direkt aus der deutschen Richtlinie Mü8004 übernommen (siehe Abb. 11.30), allerdings haben sich einige Inhalt bzw. Nachweismethoden verändert.

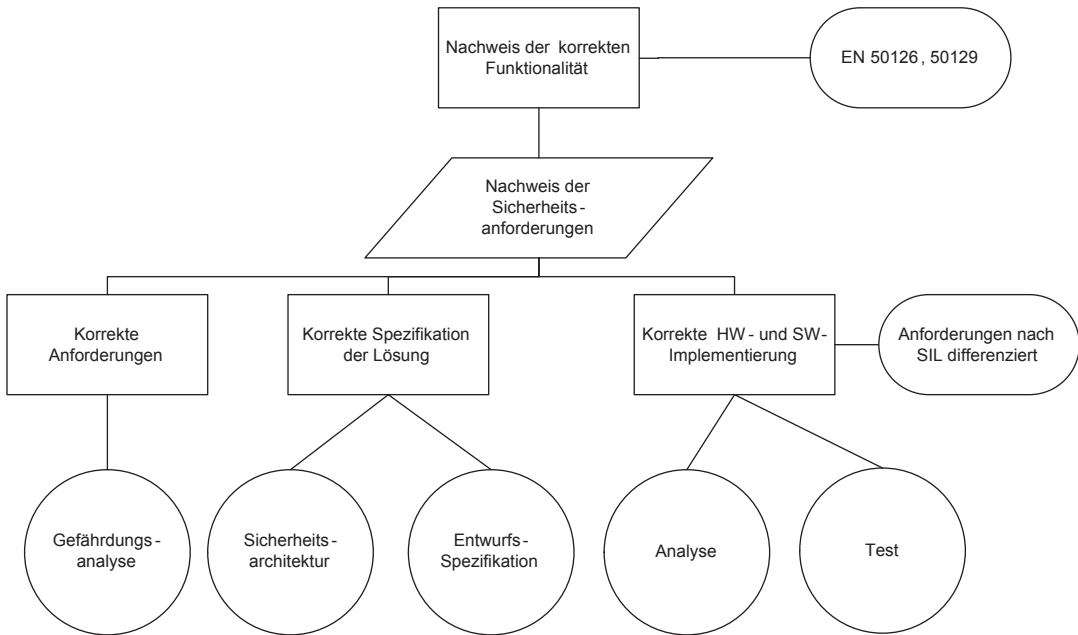


Abb. 11.31 Vorgehensweise zum Nachweis der korrekten Funktionalität

Nachweis der funktionalen Sicherheit

Dieser Abschnitt muss alle Nachweise dafür enthalten, dass die Betrachtungseinheit im ausfallfreien Zustand die korrekte Funktion erfüllt, in Übereinstimmung mit den spezifizierten Anforderungen. Dies erfolgt i. d. R. in einer Mischung aus Analyse und Tests, und zwar für jede einzelne Sicherheitsanforderung. Dabei ist insbesondere die Nachverfolgbarkeit, welcher Test welche Anforderung abdeckt, sicherzustellen.

Die nachfolgend genannten Aspekte sind dabei in den gleichnamigen Abschnitten des Sicherheitsnachweises zu berücksichtigen:

- 2.1 Beschreibung der Systemarchitektur;
- 2.2 Definition der Schnittstellen;
- 2.3 Erfüllung der Systemanforderungsspezifikation;
- 2.4 Erfüllung der Sicherheitsanforderungsspezifikation;
- 2.5 Nachweis der korrekten Hardwarefunktionalität;
- 2.6 Nachweis der korrekten Softwarefunktionalität.

Der grundsätzliche Ansatz wird durch eine GSN in Abb. 11.31 verdeutlicht.

Ausfallauswirkungen

Insbesondere der Abschn. 3 des Sicherheitsnachweises steht in engem Zusammenhang mit den oben bereits erwähnten Methoden zur Ursachenanalyse. Das Inhaltsverzeichnis dieses Kapitels lautet wie folgt:

- 3.1 Ergebnisse von Einzelausfällen
- 3.2 Unabhängigkeit von Betrachtungseinheiten
- 3.3 Offenbarung von Einzelausfällen
- 3.4 Maßnahmen nach der Ausfalloffenbarung (einschließlich der Beibehaltung des sicheren Zustands)
- 3.5 Auswirkungen von Mehrfachausfällen
- 3.6 Schutz vor systematischen Ausfällen

In einem effizienten, integrierten Ansatz und bei sorgfältiger Auswahl der Methoden können viele Inhalte von Abschn. 3 des Sicherheitsnachweises direkt aus den Ergebnissen der Gefährdungsanalyse entnommen werden.

Für Abschn. 3.1 sind die Ergebnisse einer FMEA vollkommen ausreichend. Die FMEA identifiziert auch die zu offenbarenden Ausfälle. Bei einer FTA müssen die in den Abschn. 3.2, 3.3 und 3.4 aufgeworfenen Fragen ohnehin beantwortet werden. Dies schließt im Allgemeinen

eine Analyse von Ausfällen mit gemeinsamer Ursache ein. So sind diese Fragen bereits während der Gefährdungsanalyse beantwortet worden, so dass nur noch die Ergebnisse sauber dokumentiert werden müssen. Dies kann jedoch im Format des Sicherheitsnachweises effizient durchgeführt werden. Eine komplette FTA deckt dann die Inhalte des Abschn. 3.5 ab.

Betrieb unter externen Einflüssen

In diesem Abschnitt muss nachgewiesen werden, dass die Betrachtungseinheit, wenn sie den in der Systemanforderungsspezifikation festgelegten externen Einflüssen (Teil des System-Kontexts) ausgesetzt wird,

- die spezifizierten betrieblichen Anforderungen erfüllt, sowie
- die spezifizierten Sicherheitsanforderungen erfüllt (einschließlich Ausfallbedingungen).

Zu den externen Einflüssen gehören insbesondere

- Klimatische Einflüsse
- Mechanische Belastungen
- Höhe (über NN)
- Elektrische und elektromagnetische Einflüsse
- Unberechtigter Zugriff

In der Regel wird bei Anforderungen bez. externer Einflüsse auf fachspezifische Normen verwiesen, die häufig auch standardisierte Testmethoden zum Nachweis dieser Forderungen enthalten, z. B. standardisierte Testaufbauten zum Nachweis elektromagnetischer Verträglichkeit. Beim Thema „Unberechtigter Zugriff“ müssen gerade bei IT-Anlagen Aspekte der Informationssicherheit, z. B. Schutz vor unberechtigter Veränderung von Daten oder Lahmlegung des Systems durch Computerviren, berücksichtigt werden. Das Teilthema der gesicherten Datenübertragung wird in EN 50159 behandelt.

Der Sicherheitsnachweis ist nur innerhalb des spezifizierten Bereiches von externen Einflüssen gültig (Teil des System-Kontexts). Die Sicherheit ist außerhalb dieser Grenzen nicht gewährleistet, sofern nicht zusätzliche Maßnahmen getroffen werden.

Sicherheitsrelevante Anwendungsregeln

Dieses Kapitel des Sicherheitsnachweises muss alle Regeln, Bedingungen und Einschränkungen

spezifizieren (oder darauf verweisen), die bei der Anwendung der Betrachtungseinheit eingehalten werden müssen. Dies muss auch die Anwendungsbedingungen aus den Sicherheitsnachweisen aller Teilsysteme oder Einrichtungen einschließen, auf die Bezug genommen wird.

Sicherheitserprobung

Dieser Abschnitt des Sicherheitsnachweises muss den Nachweis erbringen, dass die Sicherheitserprobung unter Betriebsbedingungen erfolgreich abgeschlossen wurde. Anforderungen an Sicherheitserprobung werden meist aus Erfahrung gestellt (z. B. Vier-Jahreszeiten-Erprobung bei Einrichtungen der Außenanlage) oder ergeben sich durch sicherheitsrelevante Anwendungsregeln oder Auflagen.

11.5 Beurteilung von potenziellen Sicherheitsmängeln

Bei klassischen Risikoanalysen geht es vornehmlich darum, das Risiko einer Vielzahl von Gefährdungen zu bewerten, die i. d. R. noch nicht eingetreten sind. Dies bedeutet, ein zumeist hypothetischer Fall wird proaktiv bewertet. Bei potenziellen Sicherheitsmängeln (PSM) stellt sich das Problem anders dar: Wird ein PSM bei einem Eisenbahnsystem bekannt, befinden sich alle Beteiligten (z. B. Hersteller, Betreiber, Gutachter, Sicherheitsbehörde) bei den modernen, hochverfügbaren und hoch zentralisierten technischen Systemen in einer doppelten Zwickmühle: Wenn aufgrund des PSM z. B. ein technisches System abgeschaltet wird, ist die Betriebsführung in der Rückfallebene häufig unsicherer als der technisch gesicherte Normalbetrieb. Werden aufgrund des PSM risikoreduzierende Maßnahmen (RM) getroffen, wird es i. d. R. verschiedene Maßnahmen geben, die hinsichtlich ihrer Wirksamkeit und ihrer wirtschaftlichen Angemessenheit kurzfristig bewertet werden müssen.

Unterstützung bietet in diesem Fall eine risikobasierte Vorgehensweise. Sie kann

- eine transparente Entscheidungshilfe bieten, in welchem Ausmaß und mit welcher Dringlichkeit Maßnahmen durchzuführen sind, um

technisch oder betrieblich die Sicherheit des Betriebs weiterhin zu gewährleisten,

- eine nachvollziehbare Entscheidungshilfe bieten, wie lange ein PSM (bei eingeleiteten Maßnahmen) gegebenenfalls geduldet werden kann,
- die Ableitung vergleichbarer Maßnahmen für ähnlich kritische PSM ermöglichen.

Die aufgrund einer solchen Vorgehensweise getroffenen Entscheidungen müssen sowohl verlässlich sein als auch zeitnah zum Auftreten des PSM getroffen werden können. Daher bieten sich insbesondere RPZ oder andere Varianten semi-quantitativer Verfahren an.

Um verbindliche Vorgaben sowohl für den Prozess der Bearbeitung von PSM als auch für Bewertungsmethoden zu machen, wurde die DIN V VDE V 0831-100 erarbeitet. Hier wird lediglich der grundsätzliche Ansatz vorgestellt, der auf der CSM-Verordnung beruht, für Details sei auf die Norm verwiesen.

Die DIN V VDE V 0831-100 ist die einzige Norm in der Eisenbahnsignaltechnik, die sich mit der Behandlung von PSM befasst. Ihr Anwendungsbereich ist die funktionale Sicherheit von Eisenbahnautomatisierungssystemen und deckt sich mit dem der DIN EN 50129 und DIN EN 50128.

Die Herausgabe der Vornorm bedeutet Rechtssicherheit für Anwender (insbesondere Gutachter), die Entscheidungen im Zusammenhang mit PSM treffen müssen. Bei Einhaltung einer Norm gilt nämlich die (allerdings widerlegbare) Vermutung, dass das Beurteilen eines Produktsicherheitsmangels dem Stand der Technik entspricht. Hinsichtlich der rechtlichen Bedeutung sind Normen und Vornormen gleichgestellt.

11.5.1 Bewertungsprozess

Der Prozess wird in Abb. 11.32 dargestellt. Für Details des Prozesses sei auf die DIN V VDE V 0831-100 verwiesen. Hier sei nur auf einige wichtige Anforderungen hingewiesen. Zu Beginn der PSM-Bewertung und auch während jedes Prozessschrittes muss geprüft werden, ob der PSM die folgenden Bedingungen erfüllt:

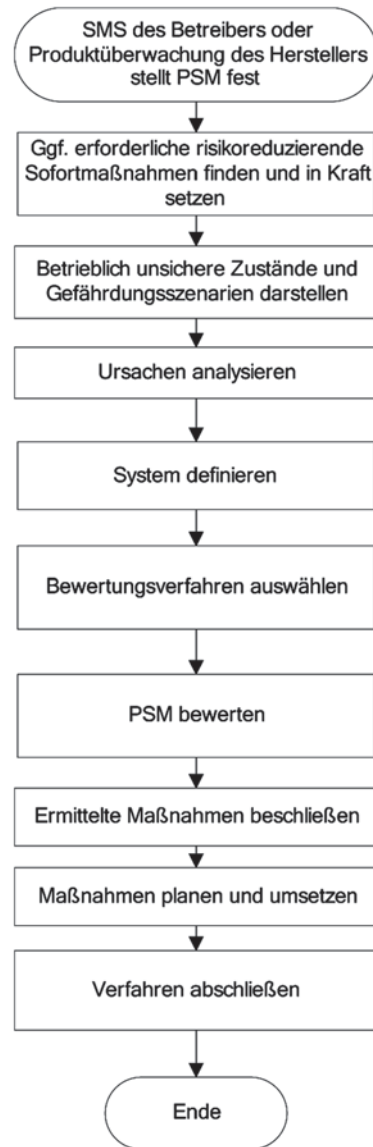


Abb. 11.32 Prozess der PSM-Bewertung

1. Der PSM kann bei einem in Betrieb befindlichen System auftreten.
2. Der PSM betrifft eine Sicherheitsfunktion.
3. Der PSM wirkt sich risikoerhöhend (im Vergleich zur expliziten Sicherheitsanforderung) aus.

Bei PSM muss grundsätzlich (von klar abgegrenzten Ausnahmen abgesehen, z. B. im Fall dass die Risikoerhöhung weitgehend akzeptabel oder die Beseitigung unwirtschaftlich ist) jeder

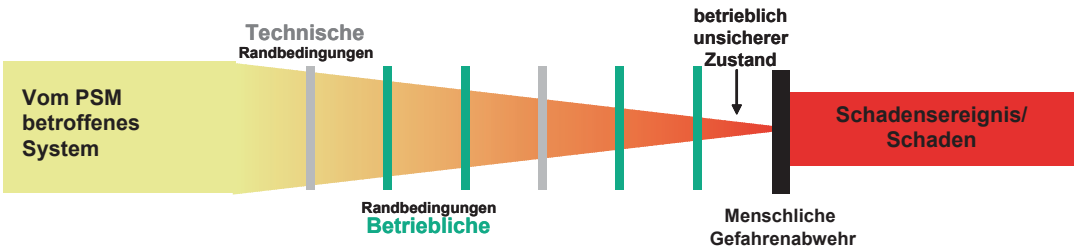


Abb. 11.33 Grundmodell der PSM-Bewertung

erkannte Sicherheitsmangel behoben werden. Es geht darum festzulegen, in welchem Zeitraum der Fehler behoben werden muss und ob gleichzeitig risikoreduzierende Maßnahmen (RM) zu ergreifen sind. Der PSM-Prozess ist damit Teil des Sicherheitsmanagement-Systems (SMS).

11.5.2 Risikobewertung

Unter Fachleuten ist unstrittig, dass bei Ergebnissen von quantitativen Risikoanalysen und deren Nachweisen aufgrund der Unsicherheiten in Daten und Schätzwerten bestenfalls die Größenordnung korrekt ist. Dieser Auffassung folgt auch die Vornorm, indem sie vorschlägt, semi-quantitative Verfahren zu verwenden, bei denen die Parameterwerte in Klassen mit gewissen Bandbreiten eingeteilt werden, z. B. entweder ein Faktor von 10 oder 100, je nachdem welche Granularität angestrebt wird. Hier bedeutet MGS, dass beim Bewerten eines Systems gegenüber einem Referenzsystem die Bewertungsergebnisse in die gleiche Klasse fallen.

Dem Prozess liegt folgendes Modell zugrunde: Ein PSM kann unter bestimmten technischen und betrieblichen Randbedingungen in Erscheinung treten. Dies ist dann der Fall, wenn durch den PSM ein betrieblicher Zustand eintritt, der vom normalen betrieblichen Zustand gefährlich abweicht.

Unter ungünstigen Randbedingungen kann es aufgrund des PSM zu einem Schaden kommen. Bildlich vorstellen kann man sich diese Randbedingungen als Barrieren zwischen dem vom PSM betroffenen System und dem Schadensereignis (siehe Abb. 11.33). Unter Barriere wird hier jede Randbedingung verstanden, die dazu

beiträgt, die Häufigkeit eines betrieblich unsicheren Zustands zu reduzieren oder den resultierenden Schaden eines mutmaßlichen Unfalls zu verringern. Als Barrieren wirken in erster Linie technische und betriebliche Randbedingungen. Sie beeinflussen primär, wie häufig der PSM betrieblich in Erscheinung tritt. Letzte Barriere sind oft die Bediener (z. B. Fahrdienstleiter oder Eisenbahnfahrzeugführer) und Außenstehende (z. B. Straßenverkehrsteilnehmer oder Reisende). Beide können eventuell das drohende Schadensereignis (betrieblich unsicherer Zustand) erkennen und einen bevorstehenden Unfall abwenden (menschliche Gefahrenabwehr).

Ein PSM kann unterschiedliche Gefährdungsszenarien mit unterschiedlichen betrieblich unsicheren Zuständen aufweisen. In Verbindung mit einem Gefährdungsszenario steht eine Funktion, die durch eine Kombination von Hardware, Software und menschlichem Handeln erbracht wird. Diese Funktion soll das Eintreten des zum Gefährdungsszenario gehörenden betrieblich unsicheren Zustands verhindern.

PSM beeinflussen i. d. R. nur die Häufigkeit mit der ein Gefährdungsszenario eintritt, nicht aber das Schadensausmaß. Sie stellen nur eine zusätzliche Ursache für ein Gefährdungsszenario dar, rufen jedoch keine anderen Folgen hervor. Allerdings können die Möglichkeiten zur Gefahrenabwehr durch einen PSM eingeschränkt sein. Daher wird zunächst die Häufigkeit bewertet, mit der das Gefährdungsszenario sich wiederholen könnte, zur Einstufung wird

Tabelle 11.11 verwendet. Der Parameterwert H: wird für jede vom PSM betroffene Funktion und somit für jedes Gefährdungsszenario ermittelt,

Tab. 11.11 Bewertung der Häufigkeit

| Beschreibung für H | H |
|---------------------------|----|
| Täglich | 17 |
| Halbwöchentlich | 16 |
| Wöchentlich | 15 |
| Monatlich | 14 |
| Vierteljährlich | 13 |
| Jährlich | 12 |
| Einmal je 3 Jahre | 11 |
| Einmal je 10 Jahre | 10 |
| Einmal je 30 Jahre | 9 |
| Einmal je 100 Jahre | 8 |
| Einmal je 300 Jahre | 7 |
| Einmal je 1.000 Jahre | 6 |
| Einmal je 3.000 Jahre | 5 |
| Einmal je 10.000 Jahre | 4 |
| Einmal je 30.000 Jahre | 3 |
| Einmal je 100.000 Jahre | 2 |
| Einmal je 300.000 Jahre | 1 |
| Einmal je 1.000.000 Jahre | 0 |

- bezieht sich jeweils nur auf eine „Gruppe von Hardware und Software Elementen“, welche die jeweilige Funktion realisiert,
- schätzt jeweils für die vom PSM betroffene Funktion die erwartete Zeit bis zum Eintritt des betrieblich unsicheren Zustands ab

Detaillierte Informationen sind bei Beginn der Risikobewertung eines PSM meistens nicht vorhanden. Der Parameter H und somit auch die Endergebnisse werden sich bei Bekanntwerden neuer Randbedingungen ändern. Da die Berücksichtigung von Randbedingungen als Reduktionsfaktoren bei der Ermittlung der Häufigkeit eingehen, bedeuten fehlende Informationen einen größeren Parameterwert H und somit eine konservative Einschätzung der Kritikalität.

Jede vom Mangel betroffene Funktion wird mit dem ermittelten Parameter H und (falls risikoreduzierende Maßnahmen notwendig sind) mit einem weiteren Parameter ΔRM in Bezug zur Sicherheitsintegritätsanforderung (SIL) dieser Funktion gesetzt (siehe Abb. 11.34). Das Ergebnis ist ein zulässiger Behebungszeitraum für die vom PSM betroffene Funktion. Dabei wurde aus pragmatischen Gründen die Obergrenze auf 60 Monate gesetzt, obwohl rechnerisch noch größere Werte erlaubt wären (in den grau unterlegten Zellen).

Wenn keine risikoreduzierenden Maßnahmen geplant sind oder ergriffen werden, geht der Parameter ΔRM nicht in die Ermittlung ein. Wenn der zulässige Behebungszeitraum zu kurz ist, müssen RM definiert und bewertet werden. Hier können ähnliche Tabellen wie bei semi-quantitativen Risikoanalysen zur Bewertung benutzt werden. Wird z. B. eine zusätzliche menschliche Handlung, z. B. eine zusätzliche Prüfung, als RM eingeführt, so ergibt sich ΔRM direkt aus Tab. 11.7. Für weitere RM sowie deren Bewertung siehe DIN V VDE V 0831-100.

Der Grundsatz des Verfahrens besteht darin, dass alle Sicherheitsmängel behoben werden müssen. Dafür gibt es gute Gründe, z. B. dass sich bei komplexen Systemen nicht behobene Fehler mit anderen Fehlern zu neuen Ursachenkombinationen und damit möglicherweise gefährlichen Szenarien kombinieren könnten.

Es gibt aber erfahrungsgemäß Fälle, die zwar mit dieser Vorgehensweise behandelt werden können, bei denen die formale Behandlung der PSM aber an Grenzen stößt, z. B. weil die semi-quantitative Methode nicht alle Sonderfälle adäquat abbilden kann (u. a. sehr kleine Häufigkeiten). Weiter kann es Mängel geben, deren Behebungskosten in einem groben Missverhältnis zum Restrisiko stehen, oder Mängel, deren Ursache innerhalb der Fehlerbehebungszeit nicht gefunden wird. Der letztere Fall betrifft insbesondere transiente oder singuläre Phänomene, die auch nach eingehender Untersuchung weder im Feld noch im Labor nachgestellt werden können.

Die unbedingte Fehlerbehebung in einem solchen Fall würde z. B. auch dem in der EU-Sicherheitsdirektive geforderten „vernünftigen Ermessen“ widersprechen und u. U. sogar die Wettbewerbsfähigkeit der Eisenbahn beeinträchtigen.

Falls die Kritikalität des PSM gering ist (Fehlerbehebungszeit mindestens 60 Monate nach Abb. 11.34) und nach dem billigen Ermessen der Fachleute ein solcher Fall vorliegt, so kann eine Wirtschaftlichkeitsanalyse durchgeführt werden oder es kann geprüft werden, ob das mit dem PSM verbundene Risiko weitgehend akzeptabel ist.

| H-ΔRM | SIL 1-Funktion | SIL 2-Funktion | SIL 3-Funktion | SIL 4-Funktion | | | | | | | | | |
|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------|--|--|-----------|--|-----------|-----------|----------|---|
| 0 | 60 Monate | | | | | | | | | | | | |
| 1 | | | | | 60 Monate | | | 60 Monate | | | | | |
| 2 | | | | | | | | 60 Monate | | 36 Monate | | | |
| 3 | | | | | | | | | | 60 Monate | 12 Monate | | |
| 4 | | | | | | | | | | | 36 Monate | 4 Monate | |
| 5 | | | | | | | | | | | 12 Monate | 1 Monat | |
| 6 | | | | | | | | | | | 36 Monate | 4 Monate | Risikoreduzierende Maßnahmen sind notwendig |
| 7 | | | | | | | | | | | 12 Monate | 1 Monat | |
| 8 | | | | | | | | | | | 36 Monate | 4 Monate | |
| 9 | | | | | | | | | | | 12 Monate | 1 Monat | |
| 10 | | | | | | | | | | | 4 Monate | | |
| 11 | 1 Monat | | | | | | | | | | | | |
| >11 | | | | | | | | | | | | | |

Abb. 11.34 Risikomatrix zum Ermitteln des Behebungszeitraums

11.6 Ereignisanalyse

Zwar ist es vorrangiges Ziel der Sicherheitsarbeit, Unfälle zu vermeiden, wenn sie aber dennoch passieren, so ist es unbedingt notwendig, aus ihnen zu lernen, da sie die relevantesten Schwachstellen (bzw. deren Kombinationen) des Betriebes offenbaren. Da sich Unfälle und Beinahe-Unfälle nur darin unterscheiden, dass im letzteren Fall noch (mindestens) eine wirksame Barriere Schlimmeres vermieden hat, ist es ratsam, zusätzlich zu Unfällen auch Beinahe-Unfälle und andere sicherheitsrelevante Ereignisse zu untersuchen.

11.6.1 Erfassung und Auswertung sicherheitsrelevanter Ereignisse

Die Voraussetzung für eine Ereignisanalyse ist, dass sicherheitsrelevante Ereignisse (insbesondere schadensfreie) möglichst vollständig gemeldet werden. Dazu ist notwendig, dass

- Mitarbeiter die Sicherheitsrelevanz eines Ereignisses erkennen,

- diese Ereignisse melden sowie
- diese Ereignisse an Entscheidungsträger und Bearbeiter verteilt werden

Dazu ist es vor allem wichtig, das Bewusstsein aller Mitarbeiter für die Wichtigkeit der Ereignisanalyse zu schärfen und klar zu definieren, welche Ereignisse gemeldet werden sollen. Dabei könnte z. B. ein sicherheitsrelevantes Ereignis definiert werden als jede Möglichkeit, aus Fehlern zu lernen und die Sicherheit zu verbessern, bevor ein Schaden eintritt.

Dazu ist unbedingt zu verdeutlichen, dass keine Schuldigen gesucht werden, sondern Verbesserungspotenzial. Melde- und Informationswege müssen dabei so einfach und effizient wie möglich organisiert werden.

11.6.2 Unfallursachen

Die Realität zeigt, dass bei einem Unfall mindestens eine Hand voll von Faktoren in Kombination auftreten. Wäre in einem bestimmten Fall einer dieser Faktoren nicht vorhanden gewesen, so wäre der Schaden nicht eingetreten. Daraus lassen sich zwei Schlüsse ziehen:

- Zur Vermeidung von Unfällen ist es nicht nötig, perfekt zu sein, das heißt, bis zu einem gewissen Maß können Fehler toleriert werden. Es dürfen allerdings nicht zu viele unfallträchtige Faktoren zusammenkommen, und aus Fehlern muss gelernt werden – sowohl individuell als auch auf Organisationsebene. Um den Unfälle begünstigenden Faktoren frühzeitig entgegenzuwirken, besteht eine effektive Strategie daher in der Analyse noch schadensfreier Vorfälle und der wirksamen Abstimmung der Ursachen dieser Vorfälle.
- Es ist nützlich zu wissen, welche Faktoren häufig vorkommen, da die Definition und Umsetzung von Gegenmaßnahmen bezüglich dieser Faktoren am wirksamsten ist.

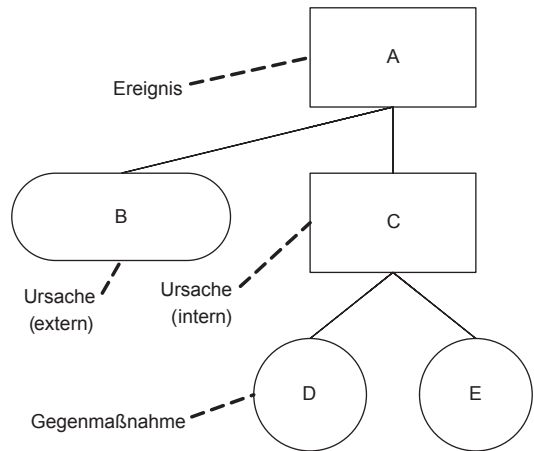


Abb. 11.35 Grundsätzliche Symbole des vereinfachten Why-Because-Graphen

11.6.3 Unfallursachenanalyse

Das vorrangige Ziel ist die möglichst vollständige und korrekte Analyse aller Ursachen. Dazu benötigt man eine Definition, was eine Ursache ist, und eine pragmatische, übersichtliche Vorgehensweise. Hier haben sich Ladkins Why-Because-Graphen (bzw. die hier dargestellte vereinfachte Variante) in der Praxis bewährt.

11.6.3.1 Why-Because-Graphen

Ein WBG wird von oben nach unten entwickelt (top-down). Ausgangspunkt ist ein Vorfall (in Abb. 11.34 das Ereignis A), der in Zukunft vermieden werden soll. Weiterhin muss der

Betrachtungsgegenstand festgelegt werden, z. B. welches System oder welche Organisationseinheit etc.). Dann wird sukzessive und strukturiert gefragt, was die Ursachen des Ereignisses gewesen sind, bis man zu grundlegenden Ursachen (sog. root causes) angekommen ist, bez. deren zukünftiger Vermeidung man Gegenmaßnahmen definieren kann.

Folgende Symbole sind definiert (siehe Abb. 11.35):

- Ein Rechteck bezeichnet entweder den Vorfall selber oder eine Ursache dafür.
- Eine Linie verbindet die Vorfälle, Ursachen bzw. Maßnahmen miteinander (mehrere

Linien verbinden sich im Sinne eines logischen UND). In Abb. 11.34 (A–C) bedeutet er z. B. „C ist unmittelbare Ursache von A“ bzw. „E ist eine Maßnahme, die C unmittelbar verhindern hilft“

- Ein Oval bezeichnet eine externe Ursache (bez. des gewählten Betrachtungsgegenstandes). Externe Ursachen sind i. d. R. nicht oder nur schwer beeinflussbar.
- Ein Kreis bezeichnet eine Maßnahme, die vorgeschlagen wird, um die zugeordnete Ursache in Zukunft zu vermeiden.

11.6.3.2 Prüfkriterien für Why-Because-Graphen

Wichtig ist die Bedeutung des Wortes „unmittelbar“ in der obigen Beschreibung. Um strukturiert und sukzessive die Ursachen des Vorfalls zu ermitteln, dürfen jeweils nur unmittelbare Ursachen miteinander verbunden werden, d. h. man muss sich die Frage stellen:

- Gibt es in der Ursachenkette, noch ein relevantes Ereignis oder eine Ursache, die noch dazwischen passt?

Weiterhin sollten für ein Ereignis mindestens zwei Ursachen vorliegen. Ist dies nicht der Fall, ist folgendes zu prüfen:

- Ist es sinnvoll, Ursache und Wirkung getrennt darzustellen oder können diese besser zusammengefasst werden?

Neben diesen eher intuitiven Regeln gibt es noch formale Tests für die Richtigkeit des WBG:

- Kausaler Faktor-Test (notwendige Ursachenbeziehung): Ist B eine unmittelbare Ursache von A (also $A-B$) so muss gelten: Wäre B nicht eingetreten, so auch nicht A.

Weiter sollte beachtet werden, dass an einer Ursache entweder nur Maßnahmen oder weitere Ursachen angehängt werden (d. h. keine Mischung von Ursachen und Maßnahmen), dies kann ggf. durch Einführung weiterer Ursachen erreicht werden.

Glaukt man schließlich, für ein Ereignis alle notwendigen Ursachen bestimmt zu haben, so kann man sich zur Probe folgende Frage stellen:

- Hinreichende Ursachenermittlung: Sind $B_1, B_2, \dots B_n$ notwendige Ursachen von A, so muss gelten: Immer wenn $B_1, B_2, \dots B_n$ gemeinsam eintreten, so tritt zwangsläufig auch A ein.

Ergänzend sei erwähnt, dass man den WBG auch als Fehlerbaum deuten kann, in dem nur UND-Verknüpfungen zugelassen sind. ODER-Verknüpfungen kann es nicht geben, wenn die Ursachen eines Vorfalls eindeutig bestimmt werden können (dies wird hier vorausgesetzt). Im Gegensatz zum Fehlerbaum lässt sich der WBG aber einfacher verstehen und darstellen und besitzt in der originalen (eher akademischen) Fassung auch eine formale Interpretation.

Abbildung 11.36 zeigt einen Teil der Ursachen des Unglücks von Åsta als WBG.

11.6.3.3 Vor- und Nachteile

Die Analyse von Vorfällen mit dem vereinfachten Why-Because Graph besitzt die folgenden Eigenschaften:

- Es wird systematisch das größte Verbesserungspotenzial gefunden.
- Die Vorgehensweise ist strukturiert und intuitiv.
- Sie kann von jedem Mitarbeiter leicht erlernt und angewendet werden.
- Die Analyse kann auf Konsistenz und Vollständigkeit geprüft werden.
- Es gibt eine direkte grafische Zuordnung von Maßnahmen und Ursachen.

Allerdings muss man auch zugestehen, dass bei manchen Ursachentypen ein WBG an Grenzen

stößt, z. B. da, wo die Ursachen nicht streng kausal verknüpft sind. Als Beispiel könnte man sich vorstellen, dass eine mangelnde Ausbildung eines Mitarbeiters eine Ursache eines Ereignisses sein könnte. Um dies zu bestätigen, müsste man z. B. die Frage „Hätte der Mitarbeiter Ausbildung X gemacht, so wäre es zu dem Ereignis nicht gekommen?“ mit ja beantworten. Dies ist aber meistens nicht eindeutig zu bejahen, da es sich eher um einen beitragenden Faktor als um eine Ursache zu handeln scheint. Als Abhilfe könnte man solche mutmaßlichen kausalen Zusammenhänge im WBG anders kennzeichnen, z. B. mit gestrichelten Linien, um den schwächeren Zusammenhang deutlich zu machen

11.6.4 Lernen auf Organisationsebene

Im Nachgang der Analyse ist zunächst sicherzustellen, dass die beschlossenen Maßnahmen wirksam umgesetzt werden. In der Praxis werden sich viele Maßnahmen in Änderungen von Produkten und Prozessen niederschlagen. Bei Befolgung der geänderten Prozesse ist damit automatisch sichergestellt, dass die Organisation aus dem Ereignis gelernt hat.

Weiterhin ist es wichtig, den betroffenen Personenkreisen die wichtigsten Erkenntnisse aus den Analysen oder die Analysen selbst zukommen zu lassen, um individuelles Lernen aus den Fehlern anderer zu ermöglichen.

Auf Organisationsebene ist es weiterhin sinnvoll, die wichtigsten Unfallursachen zu kategorisieren und auch quantitativ zu erfassen, um Trends und Tendenzen ableiten zu können oder zu erkennen, ob sich trotz umgesetzter Maßnahmen ähnliche Ursachen wiederholen.

11.7 Sicherheitskultur

Der Untersuchungsbericht zum Unfall bei „Ladbroke Grove“ enthält beeindruckende Aussagen des Untersuchungsführers Lord Cullen. Cullen weist darauf hin, dass „... es wünschenswert wäre, wenn die Industrie eine Kultur entwickelte, in der es fortschreitende Bewegung von einer



Abb. 11.36 WBG-Beispiel

Situation der Abhängigkeit, in der die Unternehmensführung die Regeln festlegt und den Unternehmen ihr Handeln vorschreibt, zu einer Situation stattfindet, in der jeder Einzelne unter Einhaltung der Vorschriften und Verfahren seinen Beitrag mit Ideen und Arbeit leisten kann, über eine Position, in der ein engagiertes, dediziertes Teamkonzept existiert, mit einem hohen Grad der Verzahnung zwischen Teams und über Unternehmensgrenzen hinweg.“

Der Bericht selbst attestiert Mängel in der Sicherheitskultur des gesamten Eisenbahnsektors in Großbritannien als eine der Grundursachen des Unglücks und stellt fest, dass in diesem Bereich das größte und fundamentalste Verbesserungspotenzial zu finden ist. Ähnlich weitreichende Schlussfolgerungen sind auch in der Luft- und Raumfahrt zu finden, zum Beispiel im Unfallbericht zum Space Shuttle „Columbia“. Dort wird klar festgestellt, dass die organisatorischen Defizite, die auch auf Mängeln in der Sicherheitskultur beruhen, genauso schwerwiegend zum Unfall

beitragen haben wie die offensichtlichen physikalischen Ursachen.

Obwohl die herausragende Bedeutung der Sicherheitskultur mittlerweile in vielen Anwendungsfeldern anerkannt wird, hat sich die Forschung leider bisher weder auf eine Definition des Begriffs Sicherheitskultur noch auf einheitliche Kriterien zur Bewertung der Sicherheitskultur einigen können.

11.7.1 Begriffsdefinition

Eine klare Definition ist aber immens wichtig. Sie darf zudem nicht in der Theorie verharren, sondern muss klar verständliche Werte und praktische Handlungsanweisungen für jeden Mitarbeiter enthalten. Diesem Anspruch kommt derzeit eine Definition am nächsten, die auf einem Ansatz der amerikanischen Nuclear Reactor Commission basiert. Demnach ist Sicherheitskultur:

- ein Zustand, in dem jeder Mitarbeiter
 - immer auf die Verbesserung der Sicherheit bedacht ist,
 - Bewusstsein dafür hat, was falsch laufen kann,
 - sich persönlich für die Sicherheit verantwortlich fühlt,
- diszipliniertes, konsequentes Arbeiten von kompetentem Personal, das
 - selbstsicher, aber nicht selbstzufrieden ist,
 - definierten Prozessen folgt,
 - gute Teamarbeit leistet und
 - effizient miteinander kommuniziert,
- das Bestehen auf einer sicheren technischen Grundlage für das Handeln und auf ein konsequentes Analysieren und Ausräumen von Problemen.

11.7.2 Indikatoren für eine positive Sicherheitskultur

Die moderne Unfallforschung zeigt, dass eine positive Sicherheitskultur im Unternehmen die nachhaltigste Gegenkraft darstellt, da sie Faktoren wie gute Prozesse, ausgewogenes Sicherheitsmanagement oder konsequente technische Konzepte entscheidend unterstützt. Ein weiteres wichtiges Ergebnis ist, dass die wesentlichen Antriebskräfte für eine gute Sicherheitskultur drei „Co“-Faktoren sind:

- Commitment (Verpflichtung bzw. gelebtes Vorbild) aller Mitarbeiter, insbesondere des Managements, dass Sicherheit in allen Belangen eine hohe Priorität eingeräumt wird,
- Competence (Kompetenz), insbesondere um die sicherheitsrelevanten Aufgaben mit der notwendigen hohen Qualität auszuführen,
- Cognisance (Bewusstsein), das heißt ein hohes Sicherheitsbewusstsein und die Bewusstheit bezüglich der eigenen Verantwortung und Rolle beim Engineering sicherheitsrelevanter Produkte, unter anderem durch Lernen aus Fehlern.

Die Stärkung der Sicherheitskultur, insbesondere der drei „Co“-Faktoren, ist ein zentraler Hebel, wenn die Sicherheit des Systems Eisenbahn weiter erhöht werden soll. Dies gilt insbesondere vor

dem Hintergrund der sich vollziehenden technologischen Innovationen und der sich ändernden wirtschaftlichen Randbedingungen, zum Beispiel der Privatisierung.

Für Betreiber wie Hersteller ist die Förderung der Sicherheitskultur eine wichtige Maßnahme zur nachhaltigen Sicherung ihres Geschäftserfolges.

11.8 Beispiel

In diesem Kapitel soll versucht werden, einige Grundkonzepte anhand eines realitätsnahen Beispiels zu beleuchten.

Als Ausgangspunkt soll der Unfall von Åsta dienen. Nach einer eingehenden strukturierten Unfallanalyse (siehe Abb. 11.36 für einen Ausschnitt davon) würde die Untersuchungskommission Maßnahmen vorschlagen. Nehmen wir an, dass u. a. die folgenden Maßnahmen abgeleitet würden:

- M1 Ausrüstung der Strecke mit einer automatischen Zugbeeinflussung
 - M2 Aufrüstung des Bedienplatzes des Fahrdienstleiters mit einem akustischen Alarm
- Maßnahme M1 wäre sicher eine Standardmaßnahme, bedeutet aber gerade auf schwach belasteten Strecken eine hohe Investition. Maßnahme M2 wird für den Fall eingeführt, dass es eine gewisse Anzahl nicht ausgerüsteter Fahrzeuge (z. B. Museumsbahn, Rangierfahrten) oder Fahrzeuge mit gestörter Zugbeeinflussung gibt.

11.8.1 Systemdefinition

In einem ersten Schritt muss das System definiert werden. Aus Platzgründen wird dies nur für den Fall der Zugbeeinflussung angedeutet, siehe Abb. 11.37.

Informationstechnisch sieht das System recht einfach aus: Es gibt Schnittstellen zum Signal an der Strecke, zum Treibfahrzeugführer sowie (mechanisch) über die Bremse zum Rad. Intern wird das System notwendigerweise aus einer Fahrzeug-einrichtung, einer Streckeneinrichtung sowie einer Übertragungsstrecke bestehen. Vereinfacht gehen

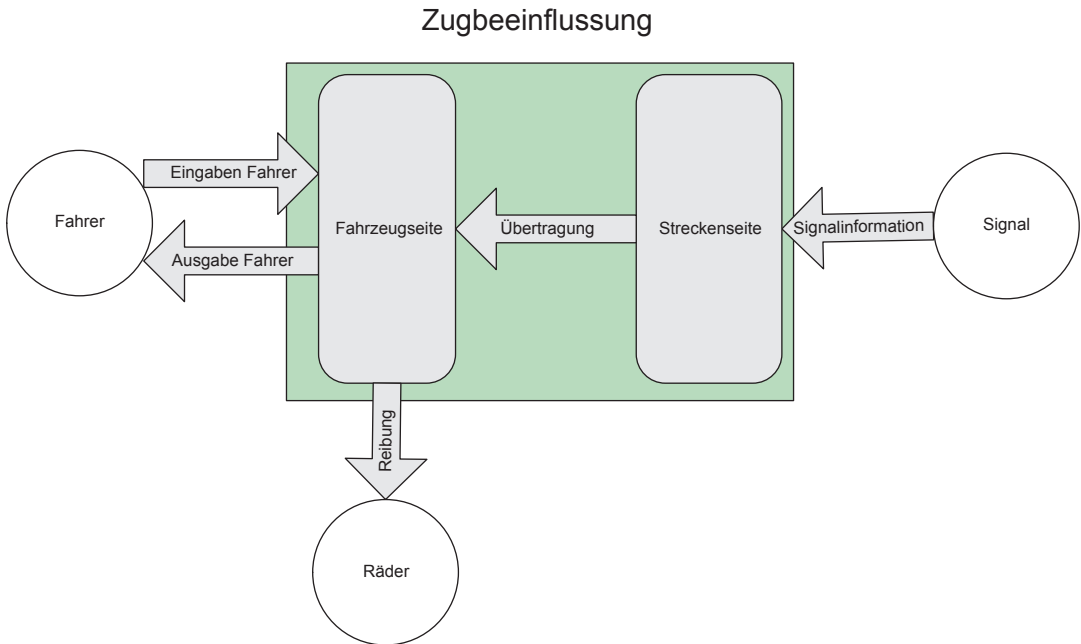


Abb. 11.37 Funktionale Systemdefinition

wir davon aus, dass die Funktion des Systems nur darin besteht, bei Vorbeifahrt an einem Halt zeigenden Signal eine Zwangsbremmung bis zum Stillstand auszulösen. Technische Realisierungsmöglichkeiten werden in Kap. 10 ausgeführt, z. B. mit Gleismagneten oder EuroBalisen. Erweiterungen wie eine punktförmige Geschwindigkeitsüberwachung etc. werden nicht betrachtet.

11.8.2 Gefährdungsidentifikation

Als nächster Schritt muss die Gefährdungsidentifikation erfolgen. Sie sieht zunächst sehr einfach aus, denn die grundsätzliche Gefährdung kann wie folgt definiert werden.

H1: System löst keine Zwangsbremmung aus, obwohl es eine Halt-Information vom Signal erhält.

Denkt man jedoch etwas intensiver nach, so erkennt man, dass das Auslösen eines Fehlalarms nicht nur betrieblich stören kann, sondern auch zu verletzten Reisenden führen kann, die von der plötzlichen Zwangsbremmung überrascht werden und stürzen, also

H2: System löst Zwangsbremmung aus, obwohl keine Halt-Information vorliegt

11.8.3 Risikoanalyse

Im nächsten Schritt folgt die Risikoanalyse, die hier mit Hilfe der Methode RSM (siehe Abb. 11.17) erfolgen soll. In diesem Fall wird RSM auf die beiden möglichen Sicherheitsfunktionen angewendet, die H1 bzw. H2 beherrschen sollen.

Im Fall H1 wird man davon ausgehen müssen, dass es nach Vorbeifahrt an einem Halt zeigenden Signal zu einem Zusammenstoß mit einem anderen Zug kommen kann, wobei Tote zu befürchten sind (Kategorie E nach Tab. 11.3 bzw. Tab. 11.5). Anschließend sind mögliche Risikoreduktionsfaktoren zu diskutieren. Hier ist insbesondere zu berücksichtigen, dass die Treibfahrzeugführer i. d. R. sehr zuverlässig sind. Die Beachtung Halt zeigender Signale ist eine fertigkeitbasierte Handlung, die im Normalbetrieb unter ergonomisch guten Arbeitsbedingungen und einem normalen Stressniveau durchgeführt

Tab. 11.12 Ergebnisse der Risikoanalyse

| Gefährdung | THR (pro Funktion pro Zugstunde) |
|---|----------------------------------|
| H1: System löst keine Zwangsbrem- sung aus, obwohl es eine Halt-Info- rmation vom Signal erhält | 10^{-6} |
| H2: System löst Zwangsbrem- sung aus, obwohl keine Halt-Information vorliegt | $3 * 10^{-5}$ |

wird, d. h. nach Tab. 11.7 wäre die Wirksamkeit der Barriere mit 6 Punkten zu bewerten, d. h. 3 Größenordnungen Reduktion. Es könnten auch noch weitere Barrieren in Betracht gezogen werden, die aber stark von den betrieblichen Randbedingungen abhängen und damit im Sinne eines möglichst allgemein zu verwendeten Systems hier außer Betracht bleiben sollen. Für die Gefährdungsrate THR1 ergibt sich aus der Methode RSM dann 10^{-6} pro Zug-Stunde und Funktion, d. h. die THR1 entspricht SIL 1.

Im Fall H2 kann man davon ausgehen, dass nach einer plötzlichen Zwangsbrem-
sung i. d. R. nur leichte Verletzungen zu befürchten sind (Kategorie Leichtverletzte nach Tab. 11.5). Außerdem ist noch Gefahrenabwehr durch Reisende möglich, denn ein stehender Reisender könnte sich noch festhalten oder abstützen, d. h. man könnte noch einen Risikoreduktionsfaktor nach Tab. 7 ansetzen, konservativ soll ein Punkt angenommen werden. In diesem Fall führt RSM also zu THR2 von $3 * 10^{-5}$ pro Zug-Stunde und Funktion, dies entspricht SIL 0.

In Tab. 11.12 ist das Ergebnis der Risikoanalyse mit RSM zusammengefasst.

11.8.4 Gefährdungsanalyse

Als erster Schritt der Gefährdungsanalyse können die Gefährdungsdaten auf die Teilfunktionen aus Abb. 11.37 aufgeteilt werden. Da erfahrungsgemäß die Übertragungsstrecke durch geeignete Codierung hochgradig sicher gemacht werden kann, wählen wir nur ein Hundertstel Anteil für die Übertragung und teilen den Rest gleichmäßig auf Fahrzeug und Strecke auf, siehe Tab. 11.13.

Tab. 11.13 Aufteilung der Gefährdungsrate THR1 auf Teilfunktionen

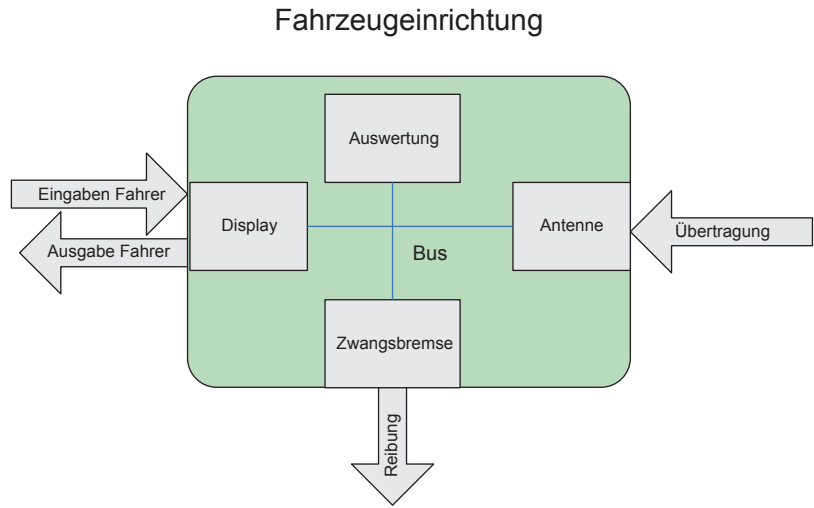
| Teilfunktion | Anteil | THR ₁ (pro Funktion pro Zugstunde) |
|---------------------|---------|---|
| Übertragung | 1:100 | 10^{-8} |
| Fahrzeugeinrichtung | Ca. 1:2 | 5×10^{-7} |
| Streckeneinrichtung | Ca. 1:2 | 5×10^{-7} |

Ehe die Gefährdungsanalyse fortgesetzt werden kann, sind weitere Designüberlegungen zur Systemarchitektur notwendig. Typischerweise besteht eine Zugbeeinflussung aus weiteren Teilfunktionen bzw. Komponenten:

1. einer Streckeneinrichtung, die die Informationen des Signals abgreift und verarbeitet,
2. einer streckenseitigen Übertragungseinrichtung, die die Information über einen Luftspalt an ein Fahrzeug überträgt,
3. einer fahrzeugseitigen Empfangsantenne, die die Informationen über ein Bussystem an eine Auswertungseinrichtung überträgt,
4. einer fahrzeugseitigen Übertragungseinrichtung (Bus),
5. einer Auswertungseinrichtung, die anhand der empfangenen Informationen den Treibfahrzeugführer informiert sowie die Zwangsbremse ansteuert,
6. einem Führerstandsdisplay, das dem Treibfahrzeugführer Informationen anzeigt und mit dem er Eingaben für das System machen kann und
7. einer Zwangsbremse.

Aus Platzgründen wird hier lediglich die Fahrzeugeinrichtung im Detail betrachtet. Dabei wird außerdem das Display vernachlässigt, um hier nicht die umfangreichen Interaktionsmöglichkeiten mit dem Treibfahrzeugführer diskutieren zu müssen (z. B. fehlerhafte Eingabe, Ausschalten, Überbrücken etc.). Zunächst würde man mittels einer FMEA untersuchen, ob durch Versagen einer der Teilfunktionen in Abb. 11.38 die Gefährdung H1 ausgelöst werden könnte. Dabei würde man erkennen, dass alle übrigen Teilfunktionen Versagensarten besitzen, die bezüglich H1 gefährlich sind. Z. B. könnte jeder dieser Teilfunktionen die Signalinformation aufgrund eines Fehlers oder Ausfalls verschwinden lassen oder nicht rechtzeitig verarbeiten. Dies bedeutet aber,

Abb. 11.38 Systemdefinition Fahrzeugeinrichtung



dass alle diese Teilfunktionen logisch durch ein ODER verbunden sind (Parallelschaltung), d. h. ein gefährliches Versagen einer dieser Teilfunktionen könnte schon H1 auslösen. Daher müssen sich die Gefährdungsraten dieser Teilfunktionen zu dem fahrzeugseitigen Anteil von THR1 addieren. Anschaulich ausgedrückt, müssen 1000 fit ($1\text{fit}=10^{-9}$) Gesamtgefährdung auf vier Teilgefährdungen aufgeteilt werden. Da man aus Erfahrung weiß, dass die Übertragung sowie die Auswertungseinrichtung hoch sicher gemacht werden können (vgl. EN 50159 bzw. EN 50129), würde man diesen beiden Teilfunktionen eher geringe Anteile geben und der Empfangseinrichtung sowie der Zwangsbremse eher höhere Anteile. Es könnte aber andere Randbedingungen geben, die zu anderen Aufteilungen führen könnten, z. B. wirtschaftliche, oder es könnte sein, dass bereits fertig entwickelte Komponenten wieder verwendet werden sollen. Nehmen wir daher einmal an, dass für eine Zwangsbremse ein Sicherheitsnachweis vorliegt, der eine Gefährdungsrate von 300 fit nachweist. Dann könnte man die Aufteilung aus Tab. 11.14 wählen und auf dieser Ebene die SIL zuweisen.

Analog könnte man bei der Aufteilung der Gefährdungsrate THR2 vorgehen. Obwohl sich hier immer deutlich geringere Sicherheitsanforderungen ergeben, sollte darauf hingewiesen werden, dass diese Anforderungen im Sicherheitsnachweis durchaus eine Rolle spielen können. Dies

Fahrzeugeinrichtung

Tab. 11.14 Aufteilung der Gefährdungsraten und Zuweisung von SIL

| Teilfunktion | Anteil (fit) | THR | SIL |
|--------------|--------------|--------------------|-----|
| Zwangsbremse | 300 | 3×10^{-7} | 2 |
| Bus | 10 | 10^{-8} | 3 |
| Auswertung | 190 | 2×10^{-7} | 2 |
| Antenne | 500 | 5×10^{-7} | 2 |

soll kurz an einem Beispiel illustriert werden: Für die Auswertung könnte ein zweikanalig redundanter Rechner mit einem Vergleicher eingesetzt werden. Für diesen Typ zeigt Abb. 11.20 den zugehörigen Fehlerbaum. Während hier i. d. R. immer zwei Ausfälle zeitnah passieren müssen, um zu einer fehlerhaften Ausgabe zu führen (z. B. keine Ausgabe einer Zwangsbremse, obwohl dies notwendig wäre), würde schon der Ausfall eines Kanals zu einer Sicherheitsabschaltung und, je nach Design, entweder zu einer unnötigen Zwangsbremsausgabe (also H2) führen oder auch nur den Treibfahrzeugführer informieren. Im ersten Fall würden sich scharfe zusätzliche Anforderungen an die Ausfallrate der Kanäle ergeben.

Betrachtet man zum Vergleich noch den zusätzlichen akustischen Alarm (aus M2), so kann man bei der Risikoanalyse nun voraussetzen, dass eine Zugbeeinflussung eingesetzt wird, die außer in wenigen Ausnahmen wirksam ist. Versagt der Alarm allerdings, so wird der Fahrdienstleiter einen nicht ausgerüsteten Zug, der an

einem Halt zeigenden Signal vorbeifährt, nicht bemerken und auch nicht warnen können.

Weiterführende Literatur

Fachliteratur

1. Birolini A (2010) Reliability engineering. Springer, Berlin
2. Braband J (2005) Risikoanalysen in der Eisenbahn-Automatisierung. Hestra-Verlag, Hamburg
3. Braband J, Brehmke B, Griebel S, Peters H, Suwe K-H (2006) Die CENELEC-Normen zur Funktionalen Sicherheit/The CENELEC-Standards regarding Functional Safety, Eurailpress
4. Leveson NG (1995) Safeware—System safety and computers, Addison-Wesley
5. Reason J (1997) Managing the risks of organizational accidents. Ashgate
6. Schneider J (1996) Sicherheit und Zuverlässigkeit im Bauwesen. Teubner, Stuttgart
7. The Ladbroke Grove Rail Inquiry, Health & Safety Commission, HSE Books, vol 1 + 2, 2001

Richtlinien

8. CENELEC: Systematic Allocation of Safety Integrity Requirements, Report R009–004
9. Eisenbahn-Bundesamt: Grundsätze zur technischen Zulassung in der Signal- und Nachrichtentechnik (Mü 8004).
10. VDV: Sicherheitsbetrachtungen und Anforderungsklassen für Signal- und Zugsicherungsanlagen gemäß BOSTrab, VDV-Richtlinie 331

Normen

11. CENELEC: Bahnanwendungen – Spezifikation und Nachweis der Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Sicherheit (RAMS), EN 50126
12. CENELEC: Bahnanwendungen – Telekommunikationstechnik, Signaltechnik und Datenverarbeitungssysteme –Software für Eisenbahnsteuerungs- und -überwachungssysteme, EN 50128

13. CENELEC: Bahnanwendungen – Telekommunikationstechnik, Signaltechnik und Datenverarbeitungssysteme –Sicherheitsrelevante elektronische Systeme für Signaltechnik, EN 50129
14. CENELEC: Bahnanwendungen – Telekommunikationstechnik, Signaltechnik und Datenverarbeitungssysteme –Sicherheitsrelevante Kommunikation in Übertragungssystemen, EN 50159
15. DIN (2009) Risikoorientierte Beurteilung von potenziellen Sicherheitsmängeln und risikoreduzierenden Maßnahmen, DIN V VDE V 0831–100
16. IEC: Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/ elektronischer/ programmierbarer elektronischer Systeme, IS61508

Gesetze

17. Pätzold F, Wittenberg K-D, Heinrichs M (2006) Kommentar zur Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO). Hestra-Verlag, Darmstadt
18. Richtlinie 2004/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. April 2004 über Eisenbahnsicherheit in der Gemeinschaft und zur Änderung der Richtlinie 95/18/EG des Rates über die Erteilung von Genehmigungen an Eisenbahnunternehmen und der Richtlinie 2001/14/EG über die Zuweisung von Fahrwegkapazität der Eisenbahn, die Erhebung von Entgelten für die Nutzung von Eisenbahninfrastruktur und die Sicherheitsbescheinigung („Richtlinie über die Eisenbahnsicherheit“).
19. Verordnung (EG) Nr. 352/2009 der Kommission vom 24. April 2009 über die Festlegung einer gemeinsamen Sicherheitsmethode für die Evaluierung und Bewertung von Risiken gemäß Artikel 6 Absatz 3 Buchstabe a der Richtlinie 2004/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates („CSM-Verordnung“)

Manfred Weigend

12.1 Längsneigung der Eisenbahn

12.1.1 Längsneigung der Streckengleise

Längsneigung und **Bogenradius** sind die beiden entscheidenden Trassierungselemente einer Eisenbahnstrecke, sie waren es zur Gründerzeit des Eisenbahnbaues im 19. Jahrhundert und sind es nach wie vor bei Neubauten heute. Von der Steigung, der Krümmung und der verfügbaren Triebfahrzeugleistung hängen die Anhängelast der Züge, die jeweils erreichbare Geschwindigkeit und schließlich die Leistungsfähigkeit einer Strecke ab.

Beim Bau der ersten Eisenbahnen war die **größte mögliche Längsneigung** meist ausschlaggebend für die Trassenwahl, daneben aber auch der kleinste Bogenradius. Letzterer war aber zunächst weniger von der geplanten Fahrgeschwindigkeit abhängig, mehr dagegen von der Lauffähigkeit der Lokomotiven in den Bögen.

Relativ bald hatten sich größte Neigungen von etwa **25 Promille** (‰) als Standard für Strecken im Mittel- und im Hochgebirge und von etwa 10 bis 12 ‰ im Flachland durchgesetzt. Auf Nebenstrecken kamen auch größere Neigungen, meist bis zu 40 ‰ vor, vereinzelt auch Neigungen bis zu etwa 60 ‰.

Die Festlegung in der Eisenbahn- Bau- und Betriebsordnung (BO) von 1928 [1] auf 12,5 bis max.25 ‰ bei Hauptbahnen und 40 ‰ bei Nebenbahnen orientierte sich daher offensichtlich am Bestand des damals weitgehend fertiggestellten Eisenbahnnetzes in Deutschland – neue Strecken sollten demnach keinesfalls steiler trassiert werden als die überwiegende Mehrzahl der vorhandenen Bahnen.

In der Eisenbahn- Bau- und Betriebsordnung von 1967 (EBO) und in der Novelle hierzu von 1991 [2] ist ausgesagt, dass die Längsneigung auf Hauptbahnen bei Neubauten **12,5 ‰** nicht überschreiten **soll**. Soweit heute eine für Personen- **und** Güterverkehr geeignete Strecke gebaut wird, ist dieser Wert nach wie vor als zweckmäßige obere Grenze anzusehen, s. Tab. 12.1. Beispiele hierfür sind die Anfang der 90er Jahre in Betrieb genommenen Strecken Mannheim–Stuttgart und Hannover–Würzburg. Hier hat die Festlegung auf 12,5 ‰ auch den Vorteil, dass bei Umleitungen über vorhandene Strecken Neigungen in etwa der gleichen Größenordnung angetroffen werden.

Beim Entwurf neuer Teilabschnitte in einem vorhandenen Netz genügt es daher nicht nur, einen allgemein vorgegebenen Grenzwert einzuhalten; vielmehr sollte die Längsneigung danach gewählt werden, welche Größe für die Traktion im jeweiligen Einsatzgebiet der Triebfahrzeuge maßgebend ist.

Bei neuen **Strecken** für den **Hochgeschwindigkeitsverkehr** (HGV) gelten andere Überlegungen. Hier ist es begründet (und meist auch

M. Weigend (✉)
82024 Taufkirchen, Deutschland
E-Mail: dr.weigend@weigend.de

Tab. 12.1 Längsneigung nach EBO

| Längsneigungen bei Neubauten sollen nicht größer sein als: | |
|--|-------|
| Bei Hauptbahnen | 12,5‰ |
| Bei Nebenbahnen | 40‰ |
| In Bahnhöfen | 2,5‰ |

notwendig) die kinetische Energie des *fahrenden* Zuges zu berücksichtigen. Soweit nur begrenzte Höhenunterschiede zu überwinden sind, können die Steigungen weitgehend durch „Schwungfahren“ überwunden werden; wobei aufgrund der hohen Geschwindigkeit Verzögerung und Fahrzeitverlust nur unbedeutend sind. Beispiele hierfür sind die französische Strecke Paris–Lyon und die deutsche Strecke Köln–Frankfurt.

In der für die Europäische Union (EU) geltenden „Technischen Spezifikation des Teilsystems ‚Infrastruktur‘ des transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems“ (TSI) [3] ist daher bei „eigens für den Hochgeschwindigkeitsverkehr gebauten oder zu bauenden Strecken“ eine größte Längsneigung von 35‰ zugelassen; diese darf auf einer Länge von bis zu 6 km vorhanden sein. Außerdem darf das „gleitende mittlere Profil“ über 10 km eine mittlere Neigung von 25‰ nicht überschreiten. Voraussetzung für die Anwendung derart steiler Längsneigungen sind aber Züge mit einem entsprechend hohen Anteil angetriebener Achsen, damit die Anfahrt in den Steigungen auch in Störungsfällen jederzeit gewährleistet ist.

Eine ähnliche Überlegung kann auch bei Änderungen an vorhandenen Strecken angestellt werden. Die klassische Lehre des Eisenbahnbaus forderte stets mit Vorrang eine über lange Streckenabschnitte gleichbleibende, minimale Längsneigung. Das war auch wichtig, solange die Grenzlast der mit Dampflokomotiven bespannten Züge so bemessen war, dass diese in Steigungsstrecken nur mit „Übergangsgeschwindigkeit“ fahren konnten; d. h., heißt so langsam, dass bei größter Leistung der Lok die Haftwertzugkraft voll ausgenutzt wurde. Bedingt durch die geringe kinetische Energie, war es deshalb kaum möglich, zusätzliche Steigungen mit Schwung zu überwinden. Aufgrund der leistungsstärkeren Lokomotiven gilt das nicht mehr in dieser Schärfe.

Bei neuen Eisenbahnüberführungen lassen sich deshalb heute oft wirtschaftlichere Lösungen finden, wenn die konstante Gradienten über lange Streckenabschnitte nicht mehr streng gefordert wird. Meist genügt es dabei nachzuweisen, dass das gleitende Mittel der Längsneigung über die Länge des maßgebenden schweren Zuges gleich oder kleiner ist als die größte maßgebende Neigung im weiteren Verlauf der Strecke; die zusätzlich wirksame kinetische Energie des fahrenden Zuges kann dabei sogar meist unberücksichtigt bleiben.

Auch bei **S-Bahnstrecken** müssen oft größere Längsneigungen, meist bis 40‰, aus baulichen Gründen angewandt werden. Aufgrund der hohen installierten Leistung der S-Bahntriebwagen ist dies i. Allg. ohne wesentliche Einschränkungen tragbar.

In Bögen mit kleinen Radien ist der **Bogenwiderstand** (Krümmungswiderstand) zusätzlich zum Neigungswiderstand zu berücksichtigen. Er wird einer Steigung gleichgesetzt und in Promille ausgedrückt. In der Literatur [4] sind verschiedene Formeln zur Berechnung des Bogenwiderstands, z. T. abhängig von fahrzeugspezifischen Daten, angegeben. Nach *Röckl* gilt z. B. für Hauptbahnen mit Normalspur und dem Bogenradius r :

$$w_K = \frac{650}{r - 55} \text{ (in ‰, } r \text{ in m)}$$

Bei Radien von etwa 300 m und darüber unterscheiden sich die nach den verschiedenen Quellen errechneten Bogenwiderstände nur wenig voneinander, sie betragen hier etwa 2,6 bis 2,8‰, bei kleineren Bogenradien sind die Unterschiede etwas größer.

Wird auf einer Strecke der Bogenradius vergrößert, so kann die Längsneigung aufgrund des reduzierten Bogenwiderstands in den Bögen entsprechend erhöht werden, dies wird z. B. bei Linienverbesserungen auf steilen Gebirgsstrecken praktisch genützt.

Der Bogenwiderstand wirkt jeweils nur auf den Teil des Zuges, der sich in der Kurve befindet. Aufgrund der unbekanntenen Merkmale künftig eingesetzter Fahrzeuge ist eine theoretisch

genauere Berechnung des Krümmungswiderstands kaum hilfreich. Nach Auffassung des Verfassers genügt es daher, bei der Festlegung der „maßgebenden Neigung“ (Summe aus Neigungs- plus Krümmungswiderstand) nur eine der üblichen Faustformeln, (z. B. die oben angegebene Formel von *Röckl*) zu benutzen.

12.1.2 Längsneigung in Bahnhöfen

Die EBO begrenzt die Längsneigung in Bahnhöfen auf 2,5‰. Diese Festlegung wird häufig mit der Begründung kritisiert, dass aufgrund ihres geringeren Rollwiderstands das Abrollen moderner Fahrzeuge dadurch nicht verhindert werden kann. Absolut zu verhindern wäre dies selbst bei horizontalen Gleisen nicht, (z. B. nicht bei leeren Waggonen und Wind aus entsprechender Richtung) sodass abgestellte Wagen immer gegen Abrollen gesichert werden müssen. Da in den vorhandenen Bahnhöfen weitestgehend Neigungen von 2,5‰ anzutreffen sind, wäre der Aufwand für Änderungen nicht vertretbar. In den deutschen Richtlinien wurde daher der Wert von 2,5‰ beibehalten.

Die eingeschränkte Längsneigung der Bahnhofsgleise wird üblicherweise nur für den Bereich gefordert, in dem Fahrzeuge abgestellt werden oder Züge planmäßig halten. Schon in den Weichenbereichen und ganz besonders bei Verbindungen mit Bogenweichen, sind größere Längsneigungen meist nicht vermeidbar. Solche Ausnahmefälle sind in der EBO (im Gegensatz zur früheren BO) zwar nicht mehr ausdrücklich erwähnt, sind aber nach wie vor als zulässig anzusehen.

Soweit Längsneigungen von mehr als 2,5‰ in Bahnhöfen geplant werden sollen, müssen neben einer Ausnahmegenehmigung zur EBO, besondere betriebliche Regelungen, z. B. für das Kuppeln und Abkuppeln, Abstellen von Wagen, Festlegen der Bremsen bei längerem Stillstand usw., getroffen werden.

12.1.3 Ausrundung der Längsneigung

Änderungen der Längsneigung sind durch Kreisbögen im Aufriss auszurunden, Übergangsbögen

werden hier nicht angewandt. Als kleinster Ausrundungsradius in Gleisen, die von allen Fahrzeugen befahrbar sein sollen gilt:

$$r_a = 2000 \text{ m.}$$

Nach den in Deutschland gültigen Regeln wird bei Geschwindigkeiten von 90 km/h und darüber ein größerer Mindestradius von:

$$\min r_a = 0,25 \cdot v^2 \geq 2000 \text{ (in m, } v \text{ in km/h)}$$

gefordert.

Der **Regelwert** für Ausrundungsradien ist:

$$\text{reg } r_a = 0,4 \cdot v^2 \text{ (in m, } v \text{ in km/h).}$$

Da bei Strecken für sehr hohe Geschwindigkeiten (HGV) nur besonders konstruierte Fahrzeuge mit der zulässigen Höchstgeschwindigkeit verkehren, andererseits aber auch sehr große Unterschiede der Längsneigungen vorkommen, gelten in Übereinstimmung mit den europäischen Erfahrungen bei $v > 200$ km/h folgende Mindestwerte (Abb. 12.1):

in Kuppen: $r_a \geq 0,175 \cdot v^2$,

mit einer Toleranz von –10% und

in Wannern: $r_a \geq 0,175 \cdot v^2$,

mit einer Toleranz von –30%.

In der TSI [3] sind für (Neben-)Gleise, in denen interoperable Züge abgestellt werden sollen, auch kleinere Ausrundungsradien zugelassen, dies ist aber für Planungen in Deutschland wirtschaftlich kaum von Bedeutung.

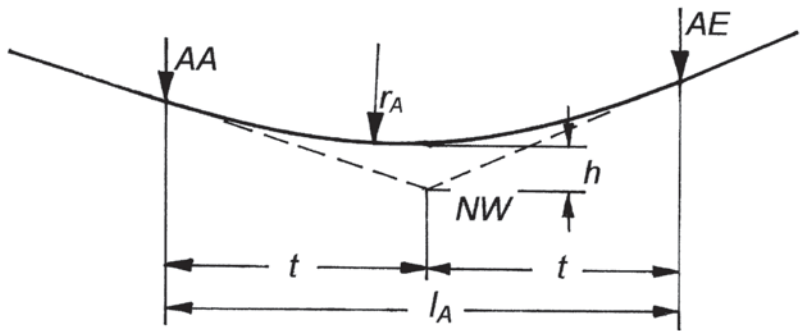
An den **Ablaufbergen** der Rangierbahnhöfe werden wesentlich kleinere Ausrundungsradien angewandt:

in Kuppen: $r_a = 300$ m und

in Wannern (Senken): $r_a = 400$ m.

Solche Gleise dürfen jedoch **nicht von allen Fahrzeugen** befahren werden.

Die Ausrundungen im Aufriss sollen nicht kürzer sein als ca. 20 m. Bei einem Unterschied der Längsneigung von bis zu etwa einem Promille kann davon ausgegangen werden, dass sich eine Ausrundung praktisch auch von selbst bil-



(±) s in ‰; + Steigung; - Gefälle,
je in Streckenrichtung

$$t = (\pm) s_1 - (\pm) s_2 / 2000 r_a$$

AA = Ausrundungsanfang
AE = Ausrundungsende

$$h = t^2 / 2 r_a = l_a^2 / 8 r_a$$

$$t = l_a / 2 \approx \text{Tangentenlänge}$$

Abb. 12.1 Ausrundung der Längsneigung

det, auf die Angabe von Trassierungsdaten kann hier verzichtet werden.

12.2 Allgemeine Regeln der Linienführung im Grundriss

12.2.1 Grundregel für durchgehende Hauptgleise

Die EBO fordert:

Die Richtung durchgehender Hauptgleise darf sich i. d. R. nur stetig ändern. Wo erforderlich, sind Übergangsbögen anzulegen.

Mit anderen Worten bedeutet dies, dass der Bogen **mit Übergangsbogen** in durchgehenden Hauptgleisen die **Regel sein muss**.

Weiter ist in der EBO ausgesagt:

In den Bögen der durchgehenden Hauptgleise muss in der Regel die äußere Schiene höher liegen – mit anderen Worten überhöht sein.

Die Forderung bezieht sich auf „durchgehende Hauptgleise“, das sind die Gleise der freien Strecke und deren Fortsetzungen in den Bahnhöfen.

Anders ausgedrückt sind dies die Gleise der „Rollbahn“, auf der sich der Eisenbahnverkehr

im Wesentlichen abwickelt, die am stärksten belastet sind und die mit höheren Geschwindigkeiten befahren werden. Sie genießen erste Priorität in der Qualität und verlangen solides Können der Ingenieure bei Planung, Ausführung und Instandhaltung. Von der fahrdynamischen Qualität dieser Gleise hängen die Laufgüte der Fahrzeuge, der Reisekomfort und der Aufwand bei der Instandhaltung entscheidend ab.

Regelform des Übergangsbogens ist im Grundriss die **Klothoide**, mit **gerader Überhöhungsrampe** im Aufriss. In geeigneten Fällen werden in Deutschland heute auch Übergangsbögen nach *Bloss* mit entsprechenden geschwungenen Rampen verwendet. Die Überhöhung wird i. d. R. durch Anheben der bogenäußeren Schiene hergestellt, die bogeninnere Schiene verläuft durchgehend in der Streckengradiente. Übergangsbogen und Überhöhungsrampe sollen ein gemeinsames Element bilden, Überhöhungs- und Krümmungslinie sollen nach dem selben Gesetz geformt sein.

In **bestimmten Fällen** dürfen Bögen in durchgehenden Hauptgleisen auch **ohne Überhöhung** und **ohne Übergangsbögen** hergestellt werden. Das kann auch ausdrücklich **gewollt** sein, z. B. wenn die Bogenlänge nicht ausreicht, um bei kleinen Richtungsänderungen Kreisbögen **mit**

Übergangsbögen einzulegen, wie dies bei **Gleisverzierungen** häufig vorkommt.

12.2.2 Grundregel für die übrigen Hauptgleise und die Nebengleise

Außer den durchgehenden Hauptgleisen sind alle Gleise **Hauptgleise**, wenn sie **planmäßig von Zügen** befahren werden. Das sind u. a. die Überholungs- und die Kreuzungsgleise und allgemein alle nicht durchgehenden Ein- und Ausfahrgeleise in den Bahnhöfen. **Nebengleise** sind Gleise, die i. d. R. **nur von Rangierfahrten** befahren werden.

Hinsichtlich der Linienführung unterscheiden sich **diese Gleise** von den durchgehenden Hauptgleisen dadurch, dass hier die Bögen i. d. R. **nicht überhöht** sind und **keine Übergangsbögen** haben. Obwohl es kein Verbot gibt, im Bedarfsfall auch solche Gleise zu überhöhen, wird dies praktisch kaum ausgeführt.

Weichen in durchgehenden Hauptgleisen sollen i. d. R. in geraden Gleisabschnitten liegen, die Zweiggleise sind dabei nicht überhöht. Am Anfang und Ende der Zweiggleisbögen werden unvermittelte Krümmungswchsel in Kauf genommen. Letzteres ist notwendig, um die Weichenbereiche und damit die Bahnhofsköpfe und Rangierfahrwege in der Länge zu beschränken. In den Gegenbögen, die an Weichen anschließen, wird deshalb zwangsläufig auf Überhöhungen verzichtet.

- Anmerkung: Müssen in Verbindung mit Bogenweichen Überhöhungsrampen in Nebengleise oder nicht durchgehende Hauptgleise eingreifen, wird dies in den Weichenhöhenplänen dargestellt.

Da Weichen in Beschaffung und Instandhaltung sehr teuer sind, sind nur die Weichen zu verwenden, die für die geforderte Abzweiggeschwindigkeit benötigt werden. Das bedeutet, dass in den **Zweiggleisbögen** der Weichen i. d. R. **Mindestradien** für Bögen ohne Überhöhung verwendet werden. Um Nutzlänge zu gewinnen, werden meist auch die anschließenden Gegenbögen mit

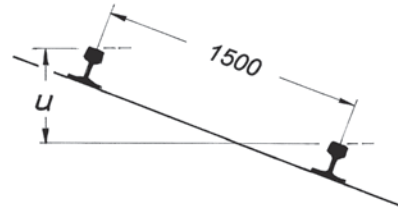


Abb. 12.2 Definition der Überhöhung

den selben Radien trassiert, nach Möglichkeit sollen dort aber auch größere Radien verwendet werden.

12.3 Elemente der Linienführung im Kreisbogen

12.3.1 Radius, Überhöhung und Geschwindigkeit

Im Eisenbahnbau wird der Zusammenhang zwischen Bogenradius, Überhöhung und Geschwindigkeit vereinfacht durch die Beziehung:

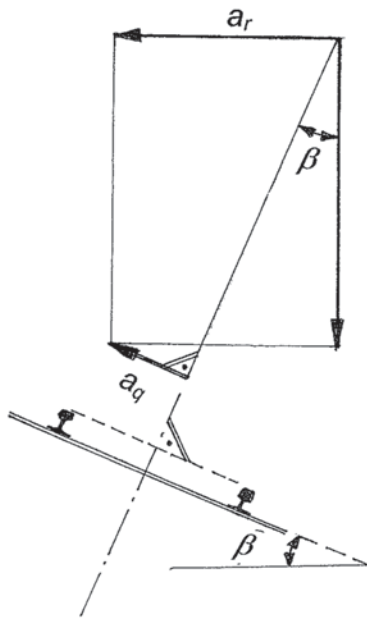
$$r = 11,8 \frac{v^2}{u + u_f} \text{ (in m)}$$

ausgedrückt. Hierin ist r der Bogenradius in m, v die Geschwindigkeit in km/h und u (in mm) die Überhöhung des Gleises, der Wert u_f (in mm) ist der sogenannte „Überhöhungsfehlbetrag“.

Die Summe aus Überhöhung und Überhöhungsfehlbetrag wird als „**ausgleichende Überhöhung**“ u_0 bezeichnet. Es ist:

$$u_0 = u + u_f$$

Definitionsgemäß wird die **Überhöhung** bei Regelspur (Nennmaß 1435 mm) auf einen Abstand von (genau) **1500 mm** bezogen, gemessen in der Ebene der Schienenköpfe. Auf dieses Maß, das etwa dem Abstand der Schienenkopfmitten entspricht, sind die Überhöhungsmessgeräte geeicht. Das Maß gilt ohne sowie mit Spurerweiterung. Die Überhöhung ist damit proportional zum Sinus des Querneigungswinkels β der Fahrbahn (Abb. 12.2).



$$a_r = v^2 / 3,6^2 \cdot r \quad (\text{in m/s}^2)$$

$$g = 9,81 \quad (\text{m/s}^2)$$

$$a_q = a_r \cos \beta - g \sin \beta \quad (\text{in m/s}^2)$$

Abb. 12.3 Seitenbeschleunigung im überhöhten Kreisbogen

$$\sin \beta = \frac{u}{1500}$$

Der **Überhöhungsfehlbetrag** u_f ist der Betrag, um den die ausgleichende Überhöhung bei vorgegebener Geschwindigkeit unterschritten werden darf.

Er ist proportional zu der Seitenbeschleunigung a_q , in der **Ebene des überhöhten Gleises**, es gilt vereinfacht:

$$a_q = \frac{u_f}{1500 \cdot g} \approx \frac{u_f}{153} \quad (\text{in m/s}^2).$$

Die Formel müsste exakt lauten (Abb. 12.3):

$$a_q = \frac{v^2}{3,6^2 \cdot r} \cos \beta - 9,80665 \frac{u}{1500} \quad (\text{in m/s}^2).$$

Zur Vereinfachung wird der Faktor $\cos \beta = 1$ gesetzt, dadurch ist die Seitenbeschleunigung in Gleisebene mit zunehmender Überhöhung tatsächlich etwas **kleiner** (max. um etwa 2%) als nach der üblichen Formel berechnet; die Fallbeschleunigung wird gerundet mit $9,81 \text{ m/s}^2$ angesetzt.

Aus mehreren Gründen ist eine genauere Berechnung nicht notwendig, schon deshalb, weil

die Fahrzeuge in den Bögen eine „Wankneigung“ einnehmen, die von der Querneigung der Fahrbahn abweicht. Parallel zum Wagenfußboden treten daher unterschiedliche, meist größere Seitenbeschleunigungen auf. Bei **schneller Fahrt** ist daher die Seitenbeschleunigung a_i parallel zum Wagenfußboden um den „Wankzuschlag“ s **größer** als der rechnerische Wert a_q :

$$a_i = a_q(1 + s) \quad (\text{in m/s}^2).$$

Der Wankzuschlag kann bei den üblichen Fahrzeugen zwischen 0,25 und 0,4 angenommen werden. Auch bei der Berechnung des kinematischen Mindestlichtraums wird allgemein ein Wankzuschlag mit dem Wert 0,4 angesetzt.

Durch Umformen der obigen Beziehung zwischen Radius, Überhöhung und Geschwindigkeit erhält man die sog. „**Mindestüberhöhung**“:

$$\min u = 11,8 \cdot \frac{v^2}{r} - \text{zul } u_f \quad (\text{in mm}),$$

dabei ist $\text{zul } u_f$ der zulässige Überhöhungsfehlbetrag.

Bei gegebener Überhöhung, gegebenem Bogenradius und dem jeweils zulässigen Überhö-

hungsfehlbetrag errechnet sich die **zulässige Geschwindigkeit** nach der Formel:

$$\text{zul } v = \sqrt{\frac{r}{11,8}(u + \text{zul } u_f)} \text{ (in km/h).}$$

Mit einer Überhöhung von 160 mm und einem Überhöhungsfehlbetrag von 150 mm ergibt sich danach eine größte zulässige Geschwindigkeit von:

$$\text{zul } v = \sqrt{\frac{r}{11,8}(160 + 150)} = 5,12\sqrt{r} \text{ (in km/h).}$$

- Anmerkung: Die Ungenauigkeit der üblichen pragmatischen Näherungsberechnung könnte man zweifellos beseitigen. Dadurch aber ginge aber die sehr anschauliche Möglichkeit verloren, die einschlägigen Parameter: „ausgleichende Überhöhung“, Überhöhung und „Überhöhungsfehlbetrag“ sowie die unvermittelte Änderung des Überhöhungsfehlbetrages bildhaft darzustellen, was besonders bei komplizierten Bogenweichenverbindungen von Vorteil ist. Eine physikalisch genauere Berechnung brächte zwar im Extremfall ein um etwa 1 bis 2% anderes Ergebnis, im Hinblick auf die wesentlich größere Abweichungen im praktischen Eisenbahnbetrieb (unterschiedliches Fahrzeugverhalten, Toleranzen bei der Geschwindigkeitsmessung u. a.) brächte dies aber keinen nutzbaren Vorteil.

12.3.2 Größe der Überhöhung

Die Überhöhung eines Eisenbahngleises ist einerseits technisch begrenzt durch die Lagebeständigkeit des Gleises im Schotterbett bzw. durch die Herstellungsbedingungen der festen Fahrbahn und andererseits durch die Annehmlichkeit für den Fahrgast und die Gefahr von Ladungsverschiebungen im Güterverkehr, jeweils bei Halt und langsamer Fahrt, letzteres auch bei Windeinfluss.

Sowohl nach den Untersuchungen in Deutschland als auch nach weitgehend übereinstimmender Auffassung in Europa, liegt der Grenzwert

der Überhöhung für Gleise mit Güterverkehr im Extremfall bei etwa 180 mm. Entsprechend ist in der EBO festgelegt, dass dieser Wert „unter Einbeziehung der sich im Betrieb einstellenden Abweichungen“ nicht überschritten werden darf. Für reine Personenverkehrsstrecken gilt in Europa heute nach TSI [3] ein Wert von 200 mm als noch akzeptabel, auch hier einschließlich betriebsbedingter Abweichungen. Die praktischen Grenzen der Herstellung des überhöhten Gleises, liegen in etwa der gleichen Größe.

Die früher häufig vertretene Auffassung, dass der „Hangabtrieb“ (Seitenbeschleunigung zur Bogeninnenseite) bei großer Überhöhung und langsamer Fahrt schwerer Güterzüge, zu deutlich höherem Aufwand bei der Instandhaltung führt, konnte bei Betriebsversuchen in dieser Form nicht bewiesen werden. Eine große Überhöhung ist zwar aufwändiger herzustellen und führt ggf. auch zu rascherer Verschlechterung der Gleislagequalität – dies gilt aber allgemein, auch in Bögen mit kleineren Radien und unabhängig vom Verhältnis zwischen langsam und schnell fahrenden Zügen.

Aus heutiger Sicht sind deshalb die Werte: 160 mm für Gleise mit Schotterbett und 170 mm für Gleise auf fester Fahrbahn als Grenzwerte für Strecken mit Personen- und Güterverkehr durch die Praxis bestätigt. Die Forderung der EBO, die Überhöhung „darf.....180 mm nicht überschreiten.“ kann erfahrungsgemäß mit tragbarem Aufwand bei der Instandhaltung auch eingehalten werden. In der erwähnten TSI, in der Europäischen Norm EN 13803-1 und -2 [5] sowie in Anhang A01 der Ril 800.0110 [6] sind Werte bis zu 180 mm, bzw. bis zu 200 mm auf Strecken mit reinem Personenverkehr, angegeben; solche Überhöhungen dürften aber in Deutschland nur angewandt werden, wenn entsprechende Nachweise geführt sind und die Aufsichtsbehörde zugestimmt hat. Unabhängig davon gilt nach wie vor die pragmatische **Empfehlung, bei Neubauten von Strecken mit Güterverkehr** die Überhöhungen auf etwa **120 mm** zu begrenzen.

In Gleisbögen an **Bahnsteigen** soll die Überhöhung nicht größer sein als **100 mm**. Diese Festlegung war ursprünglich mit Rücksicht auf

Fahrzeuge mit nach außen aufschlagenden Türen getroffen worden. Heute gilt der gleiche Wert vor allem um den „barrierefreien“ Zugang zum öffentlichen Personenverkehr zu ermöglichen, d. h. um das Ein- und Aussteigen von Fahrgästen mit Bewegungseinschränkungen, mit Krankenfahrstühlen oder Kinderwagen zu erleichtern.

Ebenfalls auf **100 mm** soll die Überhöhung in **Bogenweichen** begrenzt werden. Letzteres gilt vor allem bei Neu- und Ausbaumaßnahmen; im vorhandenen Netz sind vereinzelt Bogenweichen auch in größeren Überhöhungen eingebaut.

In Bögen mit **Radien von weniger als etwa 300 m** ist eine weitere Einschränkung zu beachten, die sich aus den Untersuchungen zur Frage ORE-B55 [7] ergibt. Mit Rücksicht auf die Gefahr des Entgleisens von (in erster Linie leeren, verwindungssteifen) Güterwagen in Gleisbögen mit fehlerhafter Gleisverwindung, sind danach die Überhöhungen zu begrenzen auf:

$$u \leq 2/3 \cdot (r - 50) \text{ (in mm, } r \text{ in m).}$$

Mit dieser Formel ergibt sich z. B. bei einem Radius von 200 m eine größte Überhöhung von 100 mm. Diese Einschränkung gilt, streng genommen, nur für Gleise mit Güterverkehr, für Strecken mit artreinem Personenverkehr enthalten die Schlussfolgerungen zur ORE-Frage B 55 keine Aussage. Im Bedarfsfall könnten daher z. B. auf einer S-Bahnstrecke ohne Güterverkehr auch größere Überhöhungen (mit Zustimmung der Aufsichtsbehörde) eingebaut werden.

- ▶ Anmerkung: Wenn die Überhöhung größer ist, als nach der obigen Formel zulässig, könnte die Sicherheit gegen Entgleisen auch dann gegeben sein, wenn zwischen dem betreffenden kleinen Radius und der (fallenden) Überhöhungsrampe ein Gleisstück (Gerade oder Bogen mit entsprechend großem Radius, etwa eine Wagenlänge lang) vorhanden ist, bevor die (fallende) Überhöhungsrampe beginnt. Dies ist bei Gleisverbindungen in überhöhten Bögen häufig der Fall (eine derartige Regelung gilt z. B. in der Schweiz). Im übrigen wird die Notwendigkeit dieser Beschränkung nicht von allen Fachleuten geteilt, da es zu viele Stellen

in Europa gibt, bei denen größere Überhöhungen in engen Radien vorhanden sind.

Im Allgemeinen wird die Überhöhung durch **Anheben des bogenäußeren Schienenstranges** hergestellt; die bogeninnere Schiene verläuft konstant in der vorgegebenen Längsneigung der Strecke. Lediglich bei Gegenbögen **ohne** Zwischengerade (z. B. bei „Wendeklothoiden“) verlaufen die Schienen mit stetiger Neigung vom tiefen Strang des ersten zum überhöhten Strang des zweiten (Gegen-)Bogens, das Gleis wird dann um seine Achse gedreht.

- ▶ Anmerkung: In der Schweiz wird dagegen allgemein der bogeninnere Strang abgesenkt und der bogenäußere Strang angehoben.

12.3.3 Der Überhöhungsfehlbetrag

In Gleisbögen ist in Deutschland ein Überhöhungsfehlbetrag von 130 mm allgemein, bzw. von 150 mm in bestimmten, näher definierten Fällen zugelassen. Darüber hinausgehende Werte gelten für Fahrzeuge mit neigbarem Wagenkasten (Neigetechnik), hierauf wird später eingegangen.

Die EBO sagt aus, dass der Überhöhungsfehlbetrag „in Abhängigkeit von der Beschaffenheit des Oberbaus, von der Bauart der Fahrzeuge sowie von der Ladung und deren Sicherung“ festzulegen ist.

Der Bereich bis zu 130 mm ist für Gleise, abgesehen von Sonderfällen (wie schlechter Untergrund o. ä.), durch langjährige Erfahrung nachgewiesen. Die Bedingungen, unter denen Überhöhungsfehlbeträge bis zu 150 mm zugelassen werden können, wurden nach umfangreichen Untersuchungen bei der früheren Deutschen Bundesbahn festgelegt und waren Grundlage bei der Neufassung der EBO – Novelle 1991, vgl. Tab. 12.2. Wenn darüber hinaus die teilweise größeren Werte nach TSI und EN angewandt werden sollen, müssen auch hier zuvor entsprechende Nachweise geführt und die Genehmigungen eingeholt werden.

Tab. 12.2 Zulässige Überhöhungsfehlbeträge in Deutschland

| Gleise bzw. Konstruktion | Geschwindigkeit | | | |
|---|--|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | | | | |
| | $v \leq 160$ km/h | $160 < v \leq 200$ km/h | $200 < v \leq 230$ km/h | $230 < v \leq 300$ km/h |
| Gleisbögen, allgemein (Ermessensgrenze) | 130 mm bei Radien $r \geq 650$ m: 150 mm ¹⁾ | | | |
| Gleisbögen (Zustimmungswert) ²⁾ | bei Radien $250 \text{ m} \leq r < 650 \text{ m}$: 150 mm | | | |
| Weichenbögen mit starrer Herzstückspitze im Innenstrang ³⁾ | 110 mm | | ⁵⁾ | Nicht zulässig |
| Weichenbögen mit starrer Herzstückspitze im Außenstrang ⁴⁾ | 110 mm | 90 mm | ⁵⁾ | Nicht zulässig |
| Bogenkreuzungen und Bogenkreuzungsweichen | 100 mm | nicht zulässig | | |
| Weichenbögen mit beweglicher Herzstückspitze | 130 mm | | ²⁾ | |
| Schienauszüge in Bögen | 100 mm | | 60 mm | |

¹⁾ $u_f > 130$ mm für Fahrzeuge mit entsprechender fahrtechnischer Zulassung und außer halb von Zwangspunkten wie Brücken mit offener Fahrbahn sowie Bahnübergängen mit starren Belägen.

²⁾ Zustimmung der Zentrale der DB AG erforderlich

³⁾ Innenbogenweichen, größerer Radius

⁴⁾ Innenbogenweichen, kleinerer Radius und Außenbogenweichen

⁵⁾ im Einzelfall nach Regelung der Zentrale der DB AG

In **Weichenbögen** gelten nach den Richtlinien der DB AG abgeminderte Werte. Das ist nicht in allen europäischen Ländern der Fall; vielmehr wird dort häufig in den Bogenweichen der gleiche Überhöhungsfehlbetrag zugelassen wie in Gleisen. Auch die TSI kennt keinen Unterschied hinsichtlich des zulässigen Überhöhungsfehlbetrages zwischen Bögen mit oder ohne Weichen

Die Erfahrungen in Deutschland zeigen jedoch, dass der Aufwand für die Instandhaltung bei Bogenweichen deutlich höher ist als der im homogenen Gleisbogen. Dies wird auch von anderen Bahnen (Schweiz, Österreich) bestätigt, bei denen der Anteil an Bogenweichen ähnlich groß ist wie in Deutschland.

Es wurde deshalb in die EN [5] die **Empfehlung** aufgenommen, die Überhöhungsfehlbeträge in Bogenweichen etwas niedriger anzusetzen; die empfohlenen Werte entsprechen etwa den in Deutschland geltenden Größen.

Der Unterschied zwischen Bogenweichen mit (starrem) Herzstück am Außenstrang (Radlenker an der inneren Schiene) und solchen mit Herzstück am bogeninneren Strang (Radlenker an der äußeren Schiene) ist durch die in vielen Jahre gewonnenen Ergebnisse fahrdynamischer Messungen in Deutschland bestätigt.

Um einen optimalen Komfort im Reiseverkehr zu gewährleisten, sollte der Überhöhungsfehlbetrag i. Allg. auf Werte um etwa 100 bis 130 mm begrenzt bleiben, sowohl im hochwertigen Fernreiseverkehr (Speisewagenbetrieb, unbehindertes Gehen im Zug), als auch bei Einsatz von Doppelstockwagen sowie auch im Nahverkehr; bei letzterem vor allem mit Rücksicht auf stehende Fahrgäste. Bei höheren Werten, etwa bis 150 mm, erfordert der Reisekomfort eine ebenso gute Gleislage, die wiederum homogenen Untergrund voraussetzt. Die Annehmlichkeit einer Reise wird aber auch dann nicht spürbar beeinträchtigt, wenn **geringfügig höhere** Seitenbeschleunigungen nur **vereinzelt** auftreten.

12.3.4 Die Regelüberhöhung

Bei einer größten Überhöhung von $u=160$ mm und einem Überhöhungsfehlbetrag von $u_f=130$ mm beträgt die Überhöhung 55% der ausgleichenden Überhöhung u_0 . Beim Mindestradius werden diese Werte ausgeschöpft. Es liegt nahe, bei größeren Radien, Überhöhung und Überhöhungsfehlbetrag so aufzuteilen, wie es dem Verhältnis der zulässigen Werte entspricht. Dem entsprechend ist die **Regelüberhöhung** festgesetzt auf 55% der ausgleichenden Überhöhung:

$$\text{reg } u = 6,5 \frac{v^2}{r} \quad (\text{in mm; } r \text{ in m, } v \text{ in km/h})$$

Diese Formel ergibt etwas kleinere Überhöhungen als früher üblich. Begründung hierfür sind

einerseits die heute größere Spanne der Fahrgeschwindigkeiten und andererseits die im bestehenden Netz tatsächlich vorhandenen Überhöhungswerte, diese entsprechen im Mittel etwa den obigen Werten.

Allgemein sollten Überhöhungen von **weniger als 20 mm nicht** gewählt werden. Damit wird auch der Tatsache Rechnung getragen, dass das Laufverhalten in Bögen mit großen Radien durch eine geringe Setenbeschleunigung i. allg. beruhigt werden kann.

Die „**Regelüberhöhung**“ ist ein Anhaltswert für **gemischten Betrieb, d. h.** für Strecken auf denen Reise- und Güterzüge mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten verkehren. Bei überwiegend gleichartigem Verkehr, z. B. **bei S-Bahnen**, werden vielfach auch **größere** Überhöhungen gewählt; da die Laufruhe aber bei geringer Seitenbeschleunigung stets besser ist als bei zu großer Überhöhung („Hangabtrieb“) sollte die Überhöhung stets kleiner sein als die „ausgleichende Überhöhung“.

Bei Bögen, in denen dagegen **nur wenige Züge mit Höchstgeschwindigkeit** fahren, z. B. in Durchfahrgleisen großer Bahnhöfe, sowie allgemein bei Zweigleisdurchfahrten durch Weichen und in anschließenden Gleisbögen, soll dagegen die Überhöhung **kleiner** gewählt werden, etwa zwischen Mindest- und Regelwert.

- ▶ Anmerkung: Durch die Wahl der Überhöhung und die Größe des Überhöhungsfehlbetrages läßt sich im wesentlichen nur der Fahrkomfort beeinflussen. Die Abnutzung der Räder (Spurkranz- und Laufflächenverschleiß) sowie der Schienen (Seiten- und Höhenverschleiß der Schienenköpfe) hängt dagegen weit überwiegend vom Anschnittwinkel zwischen vorlaufendem Radsatz und bogenäußerer Schiene und dem dadurch erzwungenen Quergleiten („Bohrschlupf“) zwischen Radsatz und Schienen ab. Neben dem primären Einfluss der Fahrwerkskonstruktion und der Größe des Bogenradius ist die Seitenbeschleunigung weder für die Abnutzung der Räder noch der Schienen von wesentlicher Bedeutung.

12.3.5 Wahl der Bogenradien

Beim Bau neuer Strecken sollen Mindestradien nur angewandt werden, wenn vorhandene Zwangspunkte dazu zwingen. Vielmehr sollte man die Bogenradien stets so groß als wirtschaftlich vertretbar wählen. Einen „Regelradius“ für Neubauten zu benennen, ist deshalb kaum hilfreich. Allenfalls kann, mit Rücksicht auf den Schienen- und Spurkranzverschleiß, ein „**kleinster empfohlener Radius**“ von $r \approx 500 \text{ m}$ benannt werden; dieser wäre bei Geschwindigkeiten von mehr als 100 km/h mit

$$r = 1,25 \cdot \frac{11,8 \cdot v^2}{290} \approx 0,05 v^2$$

(in m; v in km/h)

anzusetzen.

Auch nach oben sollen Bogenradien begrenzt werden. Für Bögen mit Überhöhung ergibt sich eine praktische Grenze bei dem Radius, bei dem die **ausgleichende Überhöhung etwa 25 mm** wäre, das ist der Fall bei:

$$r = 0,5 v^2 \text{ (in m; } v \text{ in km/h).}$$

Im übrigen gelten die Regeln für **Gleisverzie- hungen**, auf die später eingegangen wird. Mit Rücksicht auf die erzielbare Genauigkeit bei der Pfeilhöhenmessung und -prüfung wird heute empfohlen, keine Radien von mehr als etwa **25 000 bis 30 000 m** zu wählen.

- ▶ Anmerkung: Wenn bei der Ermittlung des kleinsten Bogenradius auch ein festgelegter Wert für den Überhöhungsüberschuss u_u berücksichtigt werden soll, der bei einer ebenfalls zu definierenden Mindestgeschwindigkeit v_{\min} einzuhalten ist, so berechnet man zunächst den Wert:

$$u_{\min r} = \frac{v_{\max}^2 \cdot u_u + v_{\min}^2 \cdot u_f}{v_{\max}^2 - v_{\min}^2} \leq \text{zul } u \text{ (mm)}$$

und danach den entsprechenden Mindestradius.

Beispiel: Für $v_{\max}=230 \text{ km/h}$, $u_f=130 \text{ mm}$ und $v_{\min}=80 \text{ km/h}$, $u_u=110 \text{ mm}$, ergibt sich eine Überhöhung von $u_{\min r}=143$, gerundet $\approx 140 \text{ mm}$. Damit wäre der Mindestradius $r=2312 \text{ m}$.

Wie das Beispiel zeigt, führt die Berücksichtigung des Überhöhungsüberschusses nach den oben angegebenen Formeln und den für zulässig erachteten Werten (nach EN soll u_u auf 110 bis 130 mm begrenzt werden) selbst bei Güterzuggeschwindigkeiten von nur 80 km/h erst dann zu einer Einschränkung der Überhöhung, wenn die Höchstgeschwindigkeit der Personenzüge mehr als 200 km/h beträgt. Bei Hochgeschwindigkeitsstrecken ist aber einerseits auf die Entmischung des Verkehrs größter Wert zu legen; andererseits wird man bei einem Neubau stets versuchen, ohnehin Mindestradien zu vermeiden. Damit ist aber die rein theoretische Festlegung eines zulässigen Überhöhungs**überschusses** von **untergeordneter Bedeutung**.

12.3.6 Länge der Kreisbögen und Geraden

Häufige Wechsel der Trassierungselemente sind zu vermeiden, einerseits um den Fahrzeuglauf zu stabilisieren, andererseits um die Instandhaltung soweit als möglich zu vereinfachen. Als Faustregel gilt, dass die Fahrt in den einzelnen Trassierungselementen, Geraden sowie Kreisbögen jeweils mindestens eineinhalb bis zwei Sekunden dauern soll, das entspricht einer Länge von etwa

$$0,4 v \text{ bis } 0,6 v \text{ (in m; } v \text{ in km/h).}$$

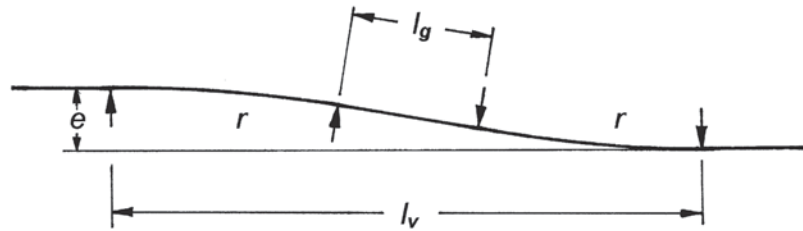
Das Maß ist eine **Regel**, kein Gebot und gilt nur für die Geraden und Kreisbögen, nicht für die Länge von Übergangsbögen und auch nur für durchgehende Hauptgleise. Bei relativ großen Radien oder kleinen Überhöhungsfehlbeträgen, wie z. B. bei Gleisverzie- hungen, kann dieser Regelwert auch – bei noch gutem Fahrkomfort – unbedenklich unterschritten werden.

Die **Mindestlängen** von Zwischengeraden bei Gegenbögen werden später besprochen.

12.3.7 Gleisverzie hungen

Bei sehr kleinen Richtungsänderungen kann die Länge auch großer Radien zu kurz sein, um Kreisbögen **und** Übergangsbögen anordnen zu

Abb. 12.4 Gleisverziehung zwischen geraden, parallelen Gleisen



$$l_v = \sqrt{4re + l_g^2 - e^2} \quad (\text{bei Parallelverziehung})$$

können. Das ist häufig der Fall, wenn Gleise um ein geringes Maß seitlich, parallel oder mit Richtungsänderung, versetzt werden sollen. Bei solchen **Gleisverziehungen** wird daher i. Allg. auf Überhöhungen und Übergangsbögen verzichtet. Um einen optimalen Fahrkomfort zu gewährleisten, sollen dann die Kreisbögen mit Radien von:

$$r = 0,5 \cdot v^2 \quad (\text{in m; } v \text{ in km/h})$$

und die Zwischengeraden mit einer Länge von (etwa)

$$l_g = 0,4 \cdot v \quad (\text{in m; } v \text{ in km/h})$$

trassiert werden, auf Übergangsbögen wird verzichtet.

Die Länge l_v einer Gleisverziehung zwischen parallelen Gleisen, mit Radius r und einer Zwischengeraden l_g ist dann (Abb. 12.4):

$$l_v = \sqrt{4re + l_g^2 - e^2} \quad (\text{in m})$$

12.4 Übergangsbogen und Überhöhungsrampe

12.4.1 Die Klothoide mit gerader Überhöhungsrampe

In der Regel werden Übergangsbögen und Überhöhungsrampen als ein gemeinsames Element, mit gleicher Funktion für Krümmung (Grundriss) und Überhöhung (Aufriss) angeordnet. **Krümmung** wie **Überhöhung** beziehen sich in

der mathematischen Funktion auf die **Bogenlänge**. Die Fahrbahn bildet dabei eine windschiefe Fläche. Dadurch, und überlagert von den Fehlern der gegenseitigen Schienenhöhe (Querhöhe), sind die Radaufstandskräfte der Fahrzeuge unterschiedlich groß. Die Federung und die elastische Verformbarkeit des Fahrzeugrahmens müssen daher so ausgelegt sein, dass stets eine ausreichend große vertikale Radkraft, vor allem am führenden Rad, vorhanden ist. Andererseits muss sowohl die planmäßige Neigung der Überhöhungsrampe als auch die Toleranz der Querhöhenfehler begrenzt werden um damit unzulässige Verwindungsfehler im Gleis zu verhindern.

In Deutschland gilt als größter Wert der planmäßigen Rampenneigung:

$$1 : m = 1 : 400.$$

Nach den Ergebnissen der Untersuchung zur ORE-Frage B55 [7] wird darüber hinaus empfohlen, bei Neu- und Umbauten **in geraden Rampen** eine Neigung von **1:600** nicht zu überschreiten. Dadurch wird ein etwas größerer Spielraum für betriebsbedingte Verwindungsfehler gewonnen.

Aus dem selben Grund wird die für Nebenbahnen nach der EBO zugelassene größte Neigung von **1:300** im Netz der DB **nicht** angewandt.

- Anmerkung: Die Empfehlung, die Rampenneigung auf 1:600 zu begrenzen, gilt nicht für geschwungene Rampen. Da die größte Neigung hier nur in der Rampenmitte auftritt, d. h. wo die Krümmung nur halb so groß ist wie im anschließenden Kreisbogen, genügt es dort den Wert 1:400 einzuhalten.

Tab. 12.3 (zu Abb. 12.5)

| | Näherung | Korrekturglied | Parabel 3.O. |
|------------------------------------|------------------------|--|-------------------------|
| Ordinate y | $y = \frac{l^3}{6A^2}$ | $\Delta y = -\frac{l^7}{336A^6}$ | $y = \frac{l^3}{6rx_E}$ |
| Abrückmaß f | $f = \frac{l^2}{24r}$ | $\Delta f = -\frac{l^4}{2688r^3}$ | $f = \frac{x_E^2}{24r}$ |
| Messpunkt x_M f. d. Abrückmaß | $x_M = \frac{l}{2}$ | $\Delta x_M = -\frac{l^3}{240r^2} + \frac{l^5}{3456r^4}$ | $x_M = \frac{x_E}{2}$ |

Abhängig von der Geschwindigkeit gilt als steils-
te zulässige Rampenneigung:

$$1 : m = 1 : 8v.$$

In **Ausnahmefällen** können steilere Rampen zu-
gelassen werden, bis zu:

$$1 : m = 1 : 6v,$$

i. d. R. soll jedoch mit einer Rampenneigung von:

$$1 : m = 1 : 10v$$

geplant werden.

- ▶ Anmerkung: Die Wahl einer flacheren Ram-
penneigung bei der Planung einer neuen
Trasse wird allgemein empfohlen, auch um
spätere Änderungen der Überhöhung mit
geringem Aufwand zu ermöglichen.

Bei den, in Deutschland geforderten, relativ fla-
chen Rampenneigungen ist der Knick im Verlauf
der Schienenlängshöhe praktisch ohne Bedeutung.
Bahnen, die steilere Rampenneigungen zulassen,
sehen teilweise Abrundungen am Rampenan-
fang und -ende vor. Auf die in Deutschland neben
der geraden Rampe ebenfalls angewandten „ge-
schwungenen Rampe“ wird später eingegangen.

Die **Seitenbeschleunigung im Grundriss** soll
nach der selben Funktion wie die Querneigung
zu- und abnehmen. Bei einer geraden Überhö-
hungsrampe wird dies durch einen Übergangsbog-
en erreicht, bei dem sich auch die **Krümmung**
(d. h. der Kehrwert aus dem Radius) **linear mit**

der Bogenlänge ändert. Die mathematische
Funktion einer solchen Kurve ist die **Klothoide**.
Bei ihr gilt:

$$R \cdot L = A^2 = r_i \cdot l_i,$$

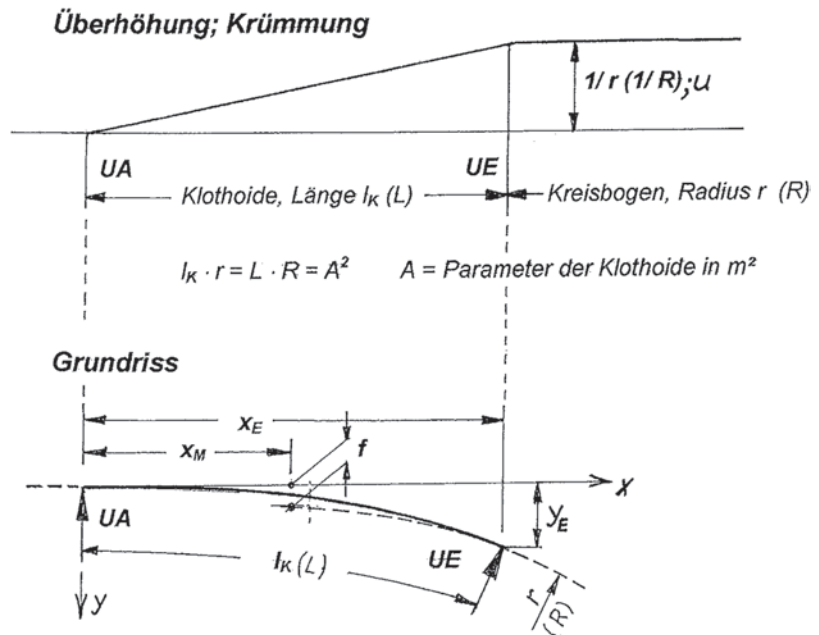
(A = „Parameter“ der Klothoide; R = Radius des
Kreisbogens; L = Länge der Klothoide; r_i = Ra-
dius am Punkt i ; l_i = Bogenlänge vom Klothoi-
den-Ursprung bis zum Punkt i).

Um eine Klothoide oder auch einen beliebigen
anderen Übergangsbogen zwischen einer
Geraden und einem Kreisbogen einlegen zu
können, muss der Kreisbogen um das sogenann-
te „Abrückmaß“ gegenüber der (verlängerten)
Geraden seitlich „abgerückt“ werden. Bei der
Klothoide beträgt dieses Abrückmaß in erster
Näherung:

$$f = \frac{l^2}{24 \cdot r}$$

Bei einer Klothoide lassen sich die Koordinaten
nur durch Reihenentwicklung ermitteln. Dabei
geht man von der **Bogenlänge l** aus und be-
stimmt daraus Abszissen und Ordinaten im recht-
winkligen Koordinatensystem. Ersetzt man die
Bogenlänge l durch die Abszisse x so entspricht
das jeweils erste Glied der Reihenentwicklung
der bekannten **kubischen Parabel** (Parabel 3.
Ordnung) nach der früher die Eisenbahn-Über-
gangsbögen berechnet wurden. Die Koordinaten
der Klothoide können innerhalb des praktischen
Anwendungsbereichs leicht durch Berücksichti-
gung des zweiten, ggf. auch dritten Gliedes be-
stimmt werden, siehe Tab. 12.3, Näheres in [8].

Abb. 12.5 Die Klothoide als Regelform des Übergangsbogens



Im Straßenbau gilt die Regel, dass der Parameter A der Klothoide zwischen den beiden Radiengrößen:

$$R/3 \leq A \leq R$$

liegen soll. Das bedeutet, dass Übergangsbögen im Straßenbau bis zu einer Länge

$$L = R$$

vorkommen dürfen. Bei der Eisenbahn ist der Übergangsbogen relativ zum Radius wesentlich kürzer, z. B. ist bei $v=80 \text{ km/h}$; $l=120 \text{ m}$ und $r=275 \text{ m}$ das Verhältnis $l/r=0,44$.

Dieses Verhältnis wird umso kleiner, je höher die Entwurfsgeschwindigkeit ist, z. B. bei $v=300 \text{ km/h}$, $l=480 \text{ m}$ und $r=4500 \text{ m}$ wird $l/r=0,11$; dies entspricht dem Parameter $A=1470$ und ist kleiner als der kleinste Wert der im Strassenbau üblichen Parameter $A=R/3$.

Für die zeichnerische Vorplanung besteht der Unterschied zwischen Eisenbahn- und Straßen-trasse praktisch nur darin, dass bei der Straße Klothoidenschablonen schon beim Trassenentwurf eingesetzt werden, während es bei der Bahn völlig genügt, nur mit Geraden und Kreisbögen

zu arbeiten. Bei Vorentwürfen in kleinem Maßstab ist das Abrückmaß f bei Eisenbahn-Übergangsbögen (siehe Abb. 12.5) praktisch nicht mehr darstellbar, hier genügt es, die Übergangsbögen je zur Hälfte in der Geraden bzw. im Kreisbogen abzutragen und die beiden Hauptpunkte Übergangsbogenanfang und Übergangsbogenende zu markieren. Ist das Abrückmaß bei entsprechend großem Maßstab darstellbar, kann der **Übergangsbogen** im Mittelteil als **Kreisbogen mit doppeltem Radius** gezeichnet werden.

12.4.2 Übergangsbogen- und Rampenlänge

In der Regel sollen **Übergangsbogen und Überhöhungsrampe** ein Element bilden, d. h. **zusammenfallen**. Vor allem in vorhandenen Anlagen muss aber in Einzelfällen von dieser Regel abgewichen werden. Auch bei Neubauten kann es gelegentlich zweckmäßig sein, Überhöhungsrampen **in** Kreisbögen anzuordnen, z. B. im Anfahr- und Bremsbereich von S-Bahnen oder wenn in Teilabschnitten eines längeren Kreisbogens unterschiedliche Überhöhungen vorgesehen werden.

Die Länge des Elements – Übergangsbogen plus Überhöhungsrampe – errechnet sich:

- entweder aus der zulässigen Rampenneigung 1:m
- oder der Änderung des Überhöhungsfehlbetrages Δu_f in der Zeit.

Dabei ergeben sich folgende Werte für die **Mindestlänge** des gemeinsamen Elementes:

- aufgrund der Rampenneigung:

$$l_R = l_U = 8 \cdot v \cdot \frac{\Delta u}{1000}$$

(in m, v in km/h, Δu in mm).

Die zeitliche Änderung der **Überhöhung** beträgt dabei:

$$\Delta u/t = 35 \text{ mm/s.}$$

- aufgrund der Änderung des Überhöhungsfehlbetrages:

$$l_U = l_R \geq 4 \cdot v \cdot \frac{\Delta u_f}{1000}$$

(in m, v in km/h, Δu_f in mm).

Die zeitliche Änderung des **Überhöhungsfehlbetrages** ist dann:

$$\Delta u_f/t \geq 70 \text{ mm/s.}$$

Wie zu erkennen, ist die **Änderung des Überhöhungsfehlbetrages** nur dann maßgebend für die Mindestlänge des Elements: Übergangsbogen mit Überhöhungsrampe, wenn die Änderung des **Überhöhungsfehlbetrags mehr als doppelt** so groß ist als die der **Überhöhung**.

Wird die **Regelüberhöhung** gewählt, ergibt sich die Übergangsbogenlänge in jedem Fall aus der zulässigen Rampenneigung. Es gilt:

$$l_R = l_U = 10 \cdot v \cdot \frac{\Delta u}{1000}$$

(in m, v in km/h, Δu in mm).

Dabei ist die Änderung der **Überhöhung** in der Zeit: $\Delta u/t = 28 \text{ mm/s}$

Beispiel: Gegeben ist ein Bogen mit $r=1133 \text{ m}$, die Geschwindigkeit soll 120 km/h sein; die ausgleichende Überhöhung ist 150 mm . Bei Wahl der Regelüberhöhung ($u=85 \text{ mm}$) ist die Übergangsbogenlänge aus der Rampenneigung zu bestimmen, sie beträgt mindestens:

$$l = 8 \cdot 120 \cdot 0,85 = 82 \text{ m.}$$

Bei Wahl der Mindestüberhöhung ($u=20 \text{ mm}$; $u_f=130 \text{ mm}$) ergäbe sich aus der Rampenneigung eine Mindestlänge von $19,2 \text{ m}$. Maßgebend ist dann jedoch die zeitliche Änderung des Überhöhungsfehlbetrages, hiernach muss der Übergangsbogen mindestens:

$$l = 4 \cdot 12 \cdot 0,130 = 62,4 \text{ m}$$

lang sein. Die kürzeste Länge erhält man aber, wenn die ausgleichende Überhöhung im Verhältnis 1:2 (ein Drittel Überhöhung, zwei Drittel Überhöhungsfehlbetrag) aufgeteilt wird. Dann ist:

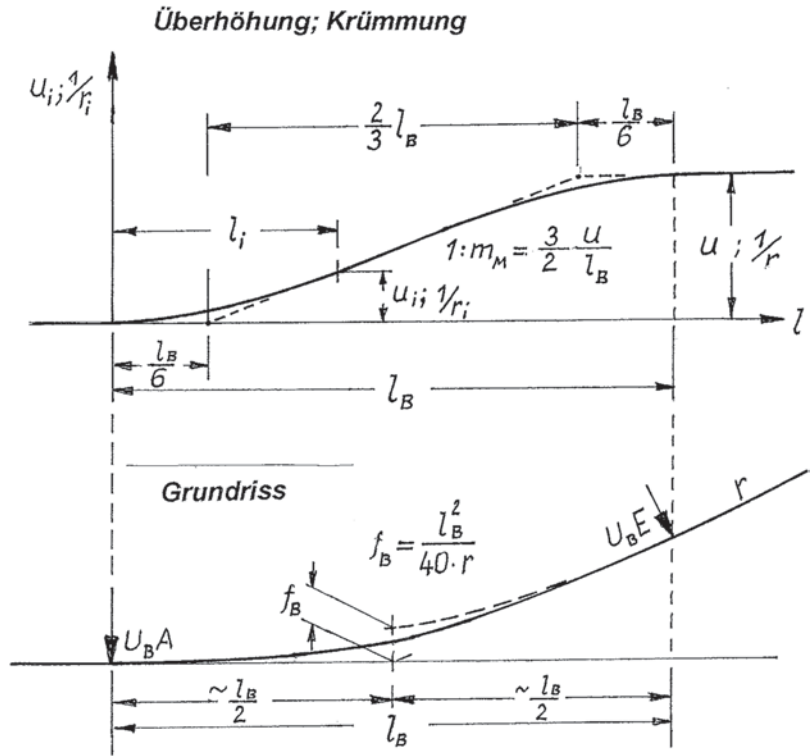
$$l = 8 \cdot 120 \cdot 0,050 = 4 \cdot 120 \cdot 0,100 = 48 \text{ m.}$$

12.4.3 Der Übergangsbogen mit geschwungener Rampe

12.4.3.1 Gründe für die Anwendung geschwungener Rampen

Bei den Bahnen einiger anderer Länder werden die Überhöhungsrampen an den Enden vertikal ausgerundet, wobei die Ausrundungen in die Geraden und in die Kreisbögen eingreifen. Meist werden dann auch steilere Rampenneigungen angewandt. Um die Kosten bei Geschwindigkeitserhöhungen zu reduzieren, wurde schon in den dreißiger Jahren des letzten Jahrhunderts auf Initiative von *Schramm* die sogenannte „geschwungene Rampe“ eingeführt, die bereits 1870 von *Helmert* beschrieben wurde. Für die größte Neigung in Rampenmitte wurde pragmatisch der doppelte Wert gegenüber der geraden Rampe

Abb. 12.6 Übergangsbogen nach Bloss



zugelassen, sodass damit eine Vergrößerung der Überhöhung um ca. 41 % möglich ist.

Noch etwas mehr Spielraum für Geschwindigkeitserhöhungen bietet aber die Übergangsbogen- und Rampenform, die **Bloss** 1936 vorgeschlagen hat. Die Funktion der Überhöhung und der Krümmung ist hierbei eine Parabel 3. Grades. Bei gleichem Abrückmaß im Grundriss ist die Rampenlänge etwas kürzer, die Neigung in Rampenmitte jedoch etwas flacher als bei einer Rampe nach *Helmert/Schramm*. Unter sonst gleichen Bedingungen ist es möglich, mit einem Übergangsbogen nach *Bloss* die Überhöhung gegenüber einer Klothoide mit gerader Rampe um **ca. 70 %** zu vergrößern. Aus diesem Grunde wird die Form nach *Bloss* in Deutschland heute vor allem bei der Ertüchtigung (Erhöhung der Geschwindigkeit) auf vorhandenen Strecken, aber auch auf neuen Hochgeschwindigkeitsstrecken angewandt (Abb. 12.6).

12.4.3.2 Länge der Übergangsbögen nach Bloss

Bei geschwungenen Rampen beträgt die zulässige Neigung in Mitte der Rampe (größter Wert) in Deutschland:

$$1:m_M = 1:4v \text{ bzw. } 1:400$$

Die **Mindestlänge** eines Übergangsbogens mit geschwungener Rampe nach *Bloss* ist damit:

$$l_R = l_U = 6 \cdot v \cdot \frac{\Delta u}{1000} \geq 600 \cdot \frac{\Delta u}{1000}$$

(in m, v in km/h, Δu in mm).

Bei Neubauten sollte das Element Übergangsbogen plus Überhöhungsrampe etwa 25 % länger gewählt werden (**Regellänge**):

$$l_R = l_U = 7,5 \cdot v \cdot \frac{\Delta u}{1000}$$

(in m, v in km/h, Δu in mm).

Auch bei Übergangsbögen nach *Bloss* muss die **Änderung des Überhöhungsfehlbetrages** berücksichtigt werden, wenn sich damit größere Längen ergeben. Es gilt:

$$l_U = l_R \geq 4,5 \cdot v \cdot \frac{\Delta u_f}{1000}$$

(in m, v in km/h, Δu in mm).

Mit den oben angegebenen Formeln beträgt die zeitliche

- Änderung der Überhöhung: $\Delta u/t \leq 70$ mm/s und die zeitliche
- Änderung des Überhöhungsfehlbetrages: $\Delta u_f/t \leq 93$ mm/s

Beide Werte erreichen ihre jeweils größten Beträge nur punktuell in der Mitte des Übergangsbogens bzw. der Überhöhungsrampe.

Die Länge eines Übergangsbogens nach *Bloss* ist nach der Änderung des Überhöhungsfehlbetrages zu bemessen, wenn das Verhältnis zwischen Überhöhung und Überhöhungsfehlbetrag kleiner ist als $4,5/6$, das heißt, wenn die Überhöhung kleiner ist als circa 43 % der ausgleichenden Überhöhung.

Bei der Berechnung der Koordinaten im Grundriss geht man heute analog zur Berechnung von Klothoiden von der Bogenlänge aus. Abszissen und Ordinaten werden durch Reihenentwicklung bestimmt, siehe Abb. 12.6. Näheres hierzu siehe [8].

12.4.3.3 Umwandlung von Übergangsbögen

Wenn bei einer geplanten Geschwindigkeitserhöhung die Länge einer vorhandenen Klothoide nicht ausreicht, bietet sich an, den Übergangsbogen durch einen solchen mit geschwungener Krümmungslinie und ebenso geschwungener Rampe zu ersetzen.

Das Abrückmaß eines Übergangsbogens nach *Bloss* ist (in erster Näherung):

$$f_B = \frac{l_{UB}^2}{40 \cdot r} \text{ (in m).}$$

Anstelle einer Klothoide mit der Länge l_K erhält man einen Übergangsbogen nach *Bloss* mit gleich großem Abrückmaß und der Länge:

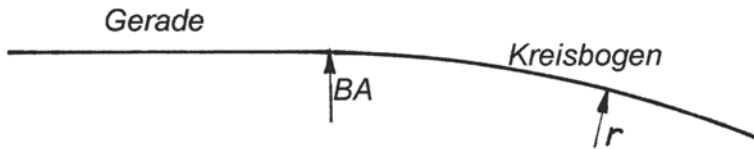
$$l_B = \sqrt{\frac{40}{24}} = 1,291 \cdot l_K$$

Beispiel: In einem vorhandenen Bogen mit Radius $r=800$ m und beiderseitigen, je 110 m langen Übergangsbögen (Klothoiden) soll die Geschwindigkeit soweit als möglich erhöht werden. Die Umwandlung der Klothoiden in Übergangsbögen nach *Bloss* ergibt eine Länge von $1,29 \cdot 110 = 142$ m. Bei dieser Länge kann eine Überhöhung von 160 mm hergestellt und die Geschwindigkeit $v = 140$ km/h zugelassen werden. ($u_f = 129$ mm, $l_{\min} = 6 \cdot 140 \cdot 0,16 = 134,4 < 142$ m).

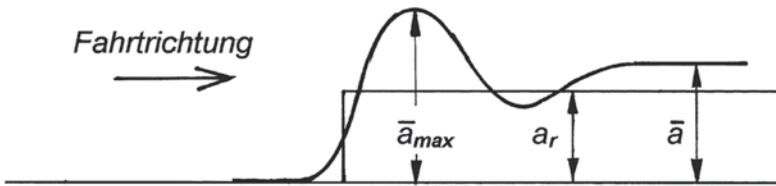
- ▶ Anmerkung: Die hier beschriebene Möglichkeit zur Verlängerung der Übergangsbögen auf vorhandenem Bahnkörper bei gleichbleibendem oder nur wenig verändertem Abrückmaß war Grund für die Einführung geschwungener Überhöhungsrampen in Deutschland. In dieser Hinsicht ist die Form nach *Bloss* noch günstiger als die oben erwähnte Form nach *Helmert/Schramm*. Für die Praxis ist die „*Bloss*-Rampe“ sogar günstiger als die von *Klein* 1936 vorgeschlagene „*Sinus*“-Rampe, weil letztere bei gleicher Neigung in Rampenmitte etwas länger sein müsste.

Weitergehende theoretische Betrachtungen der Bewegung eines Massenpunktes auf idealer Bahn mit Hilfe von Funktionen höherer Ordnung lassen angesichts der Abweichungen der Gleislage im praktischen Betrieb und der großen Unterschiede der Fahrzeugbauarten und ihrer Reaktionen keinen Gewinn erwarten, weder beim Fahrzeuglauf, noch bei der Instandhaltung. Zwar werden die Unterschiede zwischen geraden und geschwungenen Rampen bei der **geometrischen** Messung deutlich abgebildet; bei den **fahrdynamischen** Messungen dagegen werden sie von der größeren Bandbreite der Kräfte und Beschleunigungen überdeckt, sodass weder aus der Aufzeichnung der Kräfte und Beschleunigungen noch aus dem subjektiven Gefühl des Fahrgastes markante Unterschiede der Rampenformen erkannt werden können.

Grundriss



Seitenbeschleunigung



$$a_r = v^2 / 12,96 r \text{ (theoretische Seitenbeschleunigung)}$$

$$\bar{a} = \text{Seitenbeschleunigung im Fahrzeug}$$

Abb. 12.7 Seitenbeschleunigung bei einem Krümmungswechsel

12.5 Der Bogen ohne Übergangsbogen

12.5.1 Krümmungswechsel und Vergleichsradius

In den durchgehenden Hauptgleisen sollen die Bögen, wie beschrieben, mit Überhöhung sowie mit Übergangsbögen und Überhöhungsrampen trassiert werden. In den „übrigen“ Haupt- und allgemein in Nebengleisen wird meist auf Übergangsbögen **verzichtet**. Diese Gleise haben – abgesehen von Ausnahmen, z. B. bei überhöhten Bogenweichen – keine Überhöhung und damit auch keine Überhöhungsrampen.

Auf ein Fahrzeug, das aus der Geraden unmittelbar in einen Kreisbogen einfährt, wirkt die Fliehbeschleunigung ab Bogenanfang unvermittelt. Der federnd mit dem Laufwerk verbundene Wagenkasten „wankt“ zunächst über die neue geneigte Gleichgewichtslage hinaus, erst im Bogen stellt er sich auf das neue Gleichgewicht ein. Im Fahrzeug selbst wird dabei eine Seitenbeschleunigung empfunden, die kurzzeitig etwa **doppelt**

so groß sein kann als die rechnerische Fliehbeschleunigung im Kreisbogen (Abb. 12.7).

Zur Ermittlung einer größten Wertes der Seitenbeschleunigung, der einen – noch – ausreichenden Komfort bietet, wurden verschiedene Theorien aufgestellt. Ein kinematisches Fahrzeugmodell zu entwickeln und dessen Verhalten beim Befahren eines Krümmungswechsels zu untersuchen, wäre mit den heute verfügbaren Rechenmethoden kaum ein Problem. Schwieriger dagegen wäre, sich auf ein „Normfahrzeug“ zu einigen, das alle in Frage kommenden, heutigen und künftigen Fahrzeuge mit deren jeweiliger Charakteristik hinsichtlich der Abmessungen, der Anordnung der Achsen sowie der Federung und Dämpfung abdeckt. Außerdem müsste auch eine „Normgeometrie“ definiert werden, bei der, statistisch gesichert, die unvermeidbaren Abweichungen von der Soll-Gleislage berücksichtigt sind. Nach den Ergebnissen der Beratungen zur Europäischen Norm [5] ist heute kein derartiges Verfahren allgemein anerkannt.

Andererseits haben die Bahnen aber unzählige Anlagen, vor allem Weichen, in Betrieb, die

tagtäglich mit den, weitgehend durch Erfahrung festgelegten Geschwindigkeiten, ebenso weitgehend auch zufriedenstellend, befahren werden. Zu beachten ist weiter, dass die Geschwindigkeiten in den Weichenbereichen vielfach durch Signale angezeigt sind und deshalb für alle Fahrzeuge einheitlich gelten müssen.

Aufgrund dieser Erfahrungen gilt bei den meisten Bahnen in Europa, dass bei **unvermitteltem Krümmungswechsel** von einer Geraden in einen Kreisbogen **bis zu einer Geschwindigkeit von etwa 100 km/h** eine unvermittelte Änderung des **Überhöhungsfehlbetrags von etwa 100 mm** zugelassen wird.

In Deutschland gilt für diesen Anwendungsfall ($v \leq 100$ km/h) die vereinfachte Beziehung:

$$v = 3\sqrt{r} \quad (\text{in km/h; } r \text{ in m})$$

und umgekehrt:

$$r = \frac{v^2}{9} \quad (\text{in m})$$

Der Überhöhungsfehlbetrag ist dabei:

$u_f = 106$ mm.

- ▶ Anmerkung: Bei der früheren Deutschen Reichsbahn (DR) wurde ein Überhöhungsfehlbetrag von (genau) $u_f = 100$ mm zugrunde gelegt. Damit lauteten die entsprechenden Gleichungen:

$$v = 2,915\sqrt{r} \text{ bzw. } r = \frac{v^2}{8,5}.$$

Die obigen Formeln gelten nur bis zu $v = 100$ km/h, bei höheren Geschwindigkeiten müssen die Werte für die unmittelbare Änderung des Überhöhungsfehlbetrags niedriger festgesetzt werden. Dabei ist es einfacher, anstelle der Krümmungsänderung wie früher, direkt den Radius zu benennen, der bei einem unvermittelten Wechsel Gerade/Kreisbogen mindestens vorhanden sein muss. Dieser Radius wird **Vergleichsradius** genannt. Er berechnet sich bis zu $v = 100$ km/h nach oben benannten Formel, bei höheren Geschwindigkeiten ist er nach den Ergebnissen von zahlreichen Versuchen im praktischen Betrieb festgesetzt (Tab. 12.4).

Tab. 12.4 Vergleichsradius r_w

| Geschwindigkeit | Vergleichsradius ^a | Änderung des Überhöhungsfehlbetrages |
|-----------------|-------------------------------|--------------------------------------|
| v | r_w | |
| in km/h | in m | in mm |
| 40 | 178 | 106 mm |
| 50 | 278 | |
| 60 | 400 | |
| 70 | 545 | |
| 80 | 710 | |
| 90 | 900 | |
| 100 | 1110 | |
| 110 | 1410 | 101 |
| 120 | 1745 | 97 |
| 130 | 2130 | 94 |
| 140 | 2575 | 90 |
| 150 | 3085 | 86 |
| 160 | 3675 | 82 |
| 170 | 4350 | 78 |
| 180 | 5125 | 75 |
| 190 | 6000 | 71 |
| 200 | 7000 | 67 |

^a Ermessensgrenze für Weichen bzw. Zustimmungswert für Gleise

- ▶ Anmerkung: Die Tabelle enthält nur die nach den, z. T. interpolierten, Versuchsergebnissen festgelegten Mindest-Vergleichsradien, die zur Anwendung vorgegebenen, teilweise etwas größeren Radien sind in [6] angegeben.

Die Radien der Weichengrundformen sind run- dungsbedingt jeweils etwas größer als der betref- fende Vergleichsradius (Tab. 12.5).

Bei Gegenbögen und Korbbögen ist der Krümmungsunterschied in den **Vergleichsra- dius r_w** umzurechnen. Es gilt:

$$r_w = \frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 \pm r_2}$$

(in m; + bei Gegenbögen, bei Korbbögen)

Beispiel: Ein vorhandener Gegenbogen hat die Radien 1200 und 400 m; damit ist der Vergleichs- radius: $r_w = 1200 \cdot 400 / (1200 + 400) = 300$ m und die zulässige Geschwindigkeit 50 km.

Der Vergleichsradius ist eine geometrische Größe, die nur von der Krümmungsdifferenz am

Tab. 12.5 In Deutschland verwendete Regel-Weichen

| Zweiggleisradius | Geschwindigkeit | Überhöhungs- fehlbetrag |
|------------------|----------------------|----------------------------|
| r_0 | im Zweiggleis v_z | u_f bzw. Δu_f |
| 190 | 40 | 99 |
| 300 | 50 | 98 |
| 500 | 60 (65) ^a | 85 (100) |
| 760 | 80 | 99 |
| 1200 | 100 | 98 |
| 2500 | 130 | 80 |
| 4000 | 160 | 76 |
| 7000 | 200 | 67 |

^a bei Signalisierung nur 60 km/h möglich

Krümmungswechsel („Radiensprung“) abhängig ist. Seine Größe begrenzt die zulässige Geschwindigkeit, er ist unabhängig von der Überhöhung.

In der EN [5], Teil 2, ist zur Festlegung der zulässigen Geschwindigkeit an einem Krümmungswechsel der **Unterschied des Überhöhungsfehlbetrages** ΔI_{lim} definiert, I_{lim} ist der zulässige Überhöhungsfehlbetrag u_f . Es ist:

$$\begin{aligned} \text{bei } v \leq 100 \text{ km/h: } & \Delta I_{\text{lim}} = 100 \text{ mm:} \\ \text{bei } 100 < v \leq 220 \text{ km/h: } & \Delta I_{\text{lim}} \leq 133,3 - 0,333 v. \\ & \text{(in mm, } v \text{ in km/h).} \end{aligned}$$

Die hiernach sich ergebenden Werte der erforderlichen Bogenradien zwischen Geraden und Kreisbögen entsprechen etwa den Vergleichsradien in Deutschland.

Die Beziehung zwischen Vergleichsradius und Änderung der ausgleichenden Überhöhung Δu_0 (gleich der Änderung des Überhöhungsfehlbetrages Δu_f) lautet:

$$r_W = 11,8 \frac{v^2}{\Delta u_0} \text{ (in m).}$$

12.5.2 Längen der Zwischengeraden oder Zwischenbögen

Bei jedem Krümmungswechsel reagiert das Fahrzeug auf die wechselnde Seitenbeschleunigung durch Änderung des Wankwinkels. Wie erwähnt, schwingt der Wagenkasten dabei über die neue Gleichgewichtslage hinaus und stellt sich

auf diese in gedämpfter Bewegung ein. Innerhalb der Strecke, die in dieser Zeit durchfahren wird, sollte kein weiterer Krümmungswechsel folgen.

Aufgrund der praktischen Erfahrung sowie durch Versuchsfahrten bestätigt, wurden die folgenden, in Deutschland geltenden **Mindestlängen zwischen Gegenbögen** festgelegt:

$$\begin{aligned} \text{bei } v \leq 70 \text{ km/h} & \quad l = 0,10 \cdot v \\ \text{bei } 70 < v \leq 100 \text{ km/h} & \quad l = 0,15 \cdot v \text{ und} \\ \text{bei } v > 100 \text{ km/h} & \quad l = 0,20 \cdot v, \text{ (je in m).} \end{aligned}$$

Die Zwischenabschnitte können eine Gerade, ein Kreisbogen oder Teil eines Übergangsbogens sein. Ist der Abstand zwischen zwei Krümmungswechseln **kürzer** als die Mindestlänge, so sind die aufeinander folgenden Krümmungswechsel fahrdynamisch als **ein** Krümmungswechsel zu betrachten.

In vorhandenen Anlagen sind, aufgrund früherer Regelungen, Zwischengeraden mit Längen von weniger als $0,15 \cdot v$ z. T. auch bei Geschwindigkeiten bis zu 100 km/h vorhanden. Solche Gleisverbindungen sollten bei einer Erneuerung entsprechend geändert werden. Die zulässige Fahrgeschwindigkeit ist ggf. durch Fahrversuche nachzuweisen, sie darf in keinem Fall größer sein als **das Zehnfache** der jeweiligen Länge **in Metern** (min $l \geq 0,1 \cdot v$).

Wenn abzuwägen ist, ob eine längere Zwischengerade oder größere Radien der Bögen gewählt werden sollen, so ist letzteres vorzuziehen, vorausgesetzt die Mindestlänge der Zwischengeraden ist vorhanden.

- ▶ Anmerkung: Die wirksame Länge kurzer Zwischengeraden hängt auch wesentlich davon ab, ob und wie weit das Gleis von seiner Soll-Lage abweicht. Der Verfasser schlägt hier vor, die Zwischengeraden mindestens so lang zu wählen, dass bei einer angenommenen Seitenverschiebung der Gleisachsen von jeweils einem Zentimeter (zur Bogenaußenseite) noch eine Zwischengerade von mindestens $0,1 v$ zwischen den verlängerten Kreisbögen verbleiben sollte.

Die Zwischengeraden bei Bögen mit kleinen Radien ($r < 220$ m) sind im folgenden Kapitel behandelt, Zwischengeraden in durchgehenden

Hauptgleisen sind im Kapitel 12.3.7 (Gleisverzierungen) angesprochen.

12.5.3 Gegenbögen mit kleinen Radien

Bei Gegenbögen mit kleinen Radien ist zu beachten, dass sich die Seitenpuffer der Fahrzeuge am Krümmungswechsel ausreichend überdecken. Hierfür gilt in Europa das UIC-Merkblatt 725 – 1 VE [9], dessen Aussage in die TSI übernommen wurde.

Danach ist eine Zwischengerade gefordert, wenn zwei entgegengesetzt gekrümmte Bögen mit Radien $r_1=r_2 < 200$ m aneinanderstoßen. Die Länge der erforderlichen Zwischengeraden hängt jeweils von der Größe des Krümmungsunterschiedes ab. Eine mögliche Spurerweiterung bis zu 1470 mm ist berücksichtigt. Im Übrigen wird eine fehlerfreie geometrische Gleislage unterstellt, die aber in Nebengleisen, um solche handelt es sich meist, praktisch nicht vorausgesetzt werden kann.

- Anmerkung: Nach den Erfahrungen der früheren Deutschen Bundesbahn sind mehrere Fälle von Unregelmäßigkeiten (auch Aushängen von Kupplungen) bekannt, die an Gegenbögen mit entsprechend kleinen Radien (z. B. bei Krümmungswechseln von $r_1/r_2 = 190/215$ m) auftraten.

Solche Störungen sind offenbar nur deshalb selten wahrgenommen worden, weil die Folge von Weichen mit Radien $r = +215$ und $r = -190$ m ohne Zwischengerade äußerst selten ist und die weitaus häufigste Kombination von Gegenbögen mit Radien $r = 190/190$ m seit jeher in Deutschland mit mindestens 6 m langen Zwischengeraden trassiert wird.

Nach dem oben angegebenen UIC -Merkblatt würde der Vergleichsradius von Gegenbögen ohne Zwischengerade $r_w = 100$ m betragen. Aus Gründen der Erfahrung bei mehreren Bahnen wird sowohl in der Europäischen Norm [5] als auch in der Richtlinie der DB [6] aber eine min-

destens **sechs Meter** lange **Zwischengerade** bereits dann gefordert, wenn der Vergleichsradius:

$$r_w < 111 \text{ m (bzw. } 107 \text{ m)*) ist.}$$

- *) Zwei unmittelbar Spitze an Spitze verlegte Außenbogenweichen 215–1:4,8 sind noch zulässig.

Darüber hinaus ist nach der Richtlinie der DB [6] bei Gegenbögen mit Vergleichsradien $r_w < 90$ m ($r_1/r_2 < 180/180$ m) eine Zwischengerade von 8 m gefordert; solche Gegenbögen kommen in Deutschland jedoch äußerst selten vor.

12.6 Entwurf der Spurpläne

Im folgenden Kapitel werden die Regeln und eisenbahntechnischen Randbedingungen angesprochen, die allgemein beim Entwurf von Bahnhofsanlagen sowie bei der Trassierung der Gleise zu beachten sind.

12.6.1 Wahl und Anordnung der Weichen

Weichen sind besonders aufwändige Fahrwegelemente, in der Beschaffung wie in der Instandhaltung. Sie sind auch am häufigsten von allen Fahrwegelementen von Störungen betroffen.

Bei der **Anzahl, Auswahl und Anordnung** der Weichen ist daher ein **strenger Maßstab** anzulegen. Dies gilt besonders bei Weichen **in durchgehenden Hauptgleisen**. Allgemein sollen nur die Weichen eingebaut werden, die im **Regelbetrieb** benötigt werden; ob darüberhinaus vorsorgend für den Störfall weitere Weichen zu planen sind, muss der Besteller entscheiden. Die Weichengrundformen sind von der geforderten Abzweiggeschwindigkeit abhängig. Weichen in durchgehenden Hauptgleisen sind zu vermeiden, wenn die notwendigen Fahrmöglichkeiten über andere Haupt- oder Nebengleise geleitet werden können. Dies gilt auch, wenn an anderer Stelle die gleiche Anzahl von Weichen oder

die gleichen Weichenformen eingebaut werden müssen.

Wie erwähnt, sind die Zweiggelaisbögen der Weichen i. d. R. Kreisbögen. Da es die wirtschaftliche Verwendung der Weichen anders nicht zulässt, muss am Anfang und meist auch am Ende der Zweiggelaisbögen ein unvermittelter Krümmungswechsel in Kauf genommen werden. Dies ist aber tragbar, einerseits, weil im Verlauf einer Reise der abzweigende Strang der Weichen überwiegend von haltenden Zügen und deshalb nur relativ langsam befahren wird; andererseits weil Überleitungen auf freier Strecke oder Zweiggelaisfahrten an Abzweigstellen im Verlauf einer Reise relativ selten sind und damit den Komfort insgesamt kaum beeinträchtigen.

Besondere Beachtung verdienen die Weichen, die in **beiden** Strängen **oft und schnell** befahren werden, wie z. B. Weichen bei der **Verzweigung wichtiger Strecken**, hierauf wird später noch eingegangen.

Sollen in einem zusammenhängenden Bereich in einzelnen Zugfahrstraßen verschiedene Geschwindigkeiten zugelassen werden, so ist die endgültige Festlegung der Weichenformen mit der Planung der **Leit- und Sicherungstechnik** abzustimmen.

- ▶ Anmerkung: Im Allgemeinen muss in einer signalisierten Fahrstraße von Beginn bis Ende die gleiche Geschwindigkeit zugelassen werden. Nur in sehr großen Bahnhöfen kommen abgestufte Geschwindigkeiten in Frage, diese müssen im Einzelfall gemeinsam mit allen Beteiligten festgelegt werden.

Ausnahmen von der Regel, nur die jeweils kleinste erforderliche Weiche zu wählen, sind einfache Weichen mit Radius 190 m, die im Zweiggelais besonders stark befahren werden. Diese sind besonders starkem Verschleiß ausgesetzt, sodass es zweckmäßiger sein kann, anstelle von Weichen mit Radius 190 m solche mit 300 m Radius zu verwenden, auch wenn die zulässige Geschwindigkeit dies nicht erfordert. Ebenso sollen an Personenbahnsteigen und Laderampen weder Weichen der Grundform mit Radius 190 m noch Bogenweichen mit $r_z < 250$ m eingebaut werden,

weil sonst die Bahnsteig- bzw. Rampenkante wegen des größeren Lichtraumbedarfs zurückgesetzt werden muss.

Nach Möglichkeit sind stets **einfache Weichen** zu verwenden. **Kreuzungen und Kreuzungsweichen** sind in **durchgehenden Hauptgleisen**, wenn immer möglich **zu vermeiden** und „aufzulösen“, d. h. durch einfache Weichen zu ersetzen. Dies gilt auch für die fahrdynamisch etwas günstigeren, aber baulich aufwändigeren, Flachkreuzungen mit beweglichen Doppelherzstückspitzen.

In den übrigen Gleisen ist der Verzicht auf Kreuzungen und Kreuzungsweichen wegen des größeren Platzbedarfs und der längeren Rangierfahrwege vielfach nicht möglich. Soweit Kreuzungsweichen notwendig werden, sollten diese nach Möglichkeit nur in den Formen 190–1:9, (auch mit abgewandelter Endneigung) eingebaut werden.

Ein sehr strenger Maßstab ist ferner anzulegen, wenn sogenannte **Doppelweichen** gefordert werden; letztere sind nur bei **extrem beengten** Verhältnissen vertretbar.

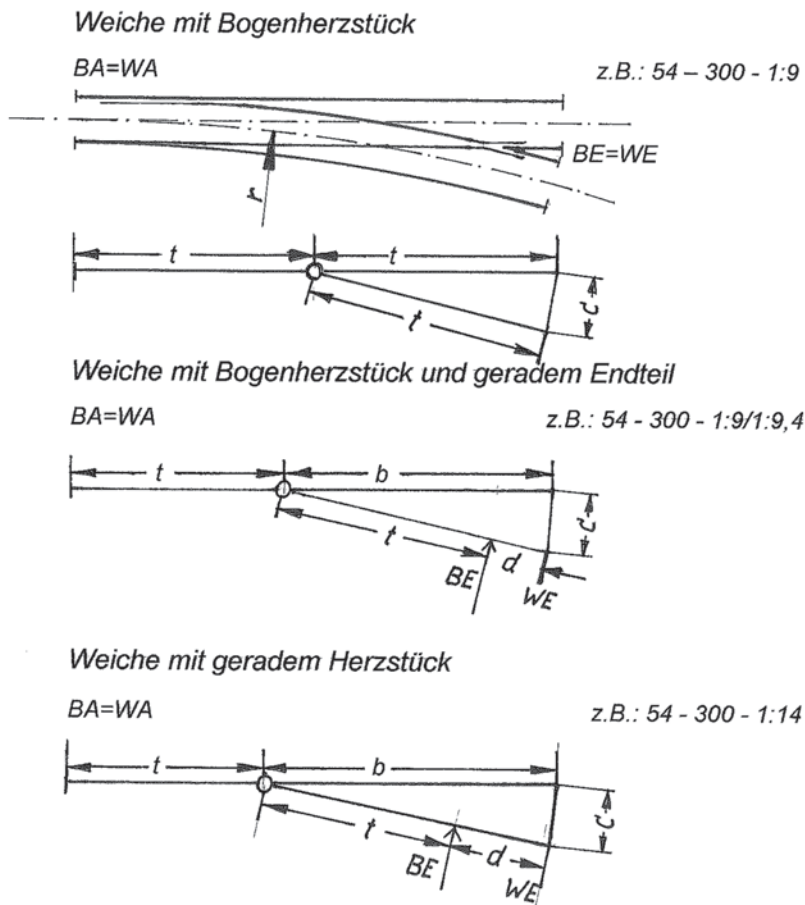
In Deutschland ist in den zurückliegenden Jahrzehnten hinsichtlich der Vereinfachung der Weichenbereiche umfangreiche Vorarbeit geleistet worden. Heute ist es fast ausnahmslos möglich, alle begründbaren Spurplanwünsche mit einer begrenzten Zahl von „Regelweichen“ zu erfüllen.

12.6.2 Die Weiche als Spurplanelement

12.6.2.1 Geometrie der Weichen

Die „klassische“ Form der **einfachen Weiche** hat ein **gerades Stammgleis** und ein **Zweiggelais** mit konstantem Radius. Die Zweiggelaisachse tangiert am Weichenanfang die Achse des Stammgleises. Der Zweiggelaisbogen endet entweder vor oder nach dem Herzstück, im letzteren Fall meist am Weichende. Entsprechend ist das Herzstück entweder gerade oder gebogen. Bei Weichen mit Bogenherzstück kann zwischen Herzstück und Weichenende auch ein kurzer gerader Gleisabschnitt vorhanden sein. Einfache Weichen bezeichnet man als „Rechts-“ oder „Links-

Abb. 12.8 Grundformen der einfachen Weichen



weichen“, je nachdem ob das Zweiggleis, von der Weichenspitze her gesehen, nach rechts oder links abzweigt (Abb. 12.8).

Abgesehen von den Weichen mit Zweiggleisradius $r=190$ m (auf Holz- oder Stahlschwellen) haben Weichen keine Spurerweiterung, der Radius 215 m war seit langem ohne Spurerweiterung zugelassen. Nachdem aber Spurerweiterungen heute erst bei Radien von weniger als 175 m nötig sind, werden künftig Weichen mit $r=190$ m auf Betonschwellen **ohne** Spurerweiterung gebaut.

Bei der Anordnung der Weichen ist zu beachten, dass Stamm- und Zweiggleis hinter dem Weichenende noch auf eine gewisse Länge über die „**durchgehenden Schwellen**“ miteinander verbunden sind. Zwischen Weichenende (WE) und letzter durchgehender Schwelle (IdS) können beide Gleise im **Grundriss unabhängig** vonei-

ander trassiert werden. Im Querschnitt müssen jedoch alle vier Schienen auf einer Ebene liegen. Das bedeutet, dass sie im **Aufriss** auf der **selben Ebene** liegen oder, bei Bogenweichen in überhöhten Gleisen, räumlich auf einer windschiefen Torsionsfläche (vgl. hierzu auch Abschn. 12.6.3). Die Gleishöhenlage wird i. Allg. in einem Weichenhöhenplan (bei der DB bezeichnet als „Weichenvermarkungsplan“) entworfen und dargestellt.

Besonders stark beansprucht sind die Herzstücke, sowohl die einfachen Herzstücke als auch die Doppelherzstücke bei Kreuzungen und Kreuzungswweichen. Mit zunehmend steilerem Weichen- bzw. Kreuzungswinkel steigt die Beanspruchung und leidet die Fahrqualität. In durchgehenden Hauptgleisen werden daher bevorzugt nur einfache Weichen mit Neigung 1:9 oder

flacher eingebaut und Kreuzungen sowie Kreuzungsweichen weitestgehend vermieden.

Weichen mit **beweglichen Herzstückspitzen** wurden entwickelt, um die Fahrt im Herzstückbereich bei sehr hohen Geschwindigkeiten zu verbessern und den Verschleiß zu reduzieren. Die Herzstücke werden dabei wie Weichenzungen bewegt und gesichert, die Radlenker können entfallen. Der sicherungstechnische Aufwand für das bewegliche Herzstück entspricht dem einer zusätzlichen Weiche. In den deutschen Richtlinien werden bewegliche Herzstückspitzen erst bei Gleisen gefordert, die mit mehr als 230 km/h, nach den EN erst mit Geschwindigkeiten von 280 km/h und darüber befahren werden sollen. Die Entscheidung über den notwendigen Einbau solcher Weichen liegt beim Netzbetreiber.

In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, dass Weichen mit einem Herzstückwinkel von $\tan \alpha \leq 1:30$ ($\sim 1,9^\circ$) mit Rücksicht auf die Magnetschienenbremsen mit beweglichen Herzstückspitzen ausgerüstet sein müssen. Dies ist jedoch eine Frage der Weichenkonstruktion, nicht der Weichenverwendung.

12.6.2.2 Bogenweichen

Die in Deutschland verwendeten Weichen sind, mit wenigen Ausnahmen, weitestgehend freizügig zu **Innen- oder Außenbogenweichen** verformbar. Für die zulässige Geschwindigkeit maßgebend ist neben dem Überhöhungsfehlbetrag die **Krümmungsdifferenz** am Anfang, ggf. auch am Ende der Weiche. Hinsichtlich der Weichengeometrie gilt, dass bei Bogenweichen in Kreisbögen die **Tangentenlängen** unverändert bleiben und bei Weichen in Übergangsbögen die **Summe der Tangentenlängen** gleich der Summe der Tangentenlängen bei der **Grundform** anzusetzen ist. Die Schienenlängen und Schwellenabstände ändern sich; z. T. müssen auch die Herzstücke angepasst werden. Konstruktiv wird – unabhängig von der betrieblichen Bedeutung des jeweiligen Fahrwegs – stets das **schwächer** gekrümmte Gleis als **Stammgleis** und das **stärker** gekrümmte Gleis als **Zweiggleis** bezeichnet. Bei Weichen in Übergangsbögen sind die Krümmungsverhältnisse in Weichenmitte für die Unterscheidung zwischen Stamm- und Zweiggleis maßgebend.

Zur fahrdynamischen Beurteilung genügt es, die Radien der Bogenweichen mit Hilfe der Krümmungsüberlagerung zu bestimmen; dabei entspricht die Krümmungsdifferenz zwischen Stamm- und Zweiggleis der Krümmung des Zweiggleises in der Grundform. Legt man den 1000fachen Kehrwert der Radien als Krümmung zu Grunde, so gilt:

$$\frac{1000}{r_O} = \frac{1000}{r_Z} \pm \frac{1000}{r_S}$$

(+bei Außen- – bei Innenbogenweichen)

Die jeweils unbekanntenen Radien ergeben sich damit wie folgt:

- bei Abzweigungen zur **Bogeninnenseite**:

Der Stammgleisradius r_S ist bekannt, der Zweiggleisradius r_Z ist gesucht, die Weiche ist eine **Innenbogenweiche**:

$$r_Z = \frac{r_S \cdot r_O}{r_O + r_S}$$

r_O ist der Radius der Weichengrundform.

- bei Abzweigungen zur **Bogenaußenseite**:

r_1 ist der **gegebene** Radius und r_2 der **gesuchte** Radius des nach außen abzweigenden Gleises. Die Weiche ist eine **Innen- oder eine Außenbogenweiche**:

$$r_2 = \frac{r_1 \cdot r_O}{r_O - r_1}$$

r_O ist der Radius der Weichengrundform

Ist $r_O > r_1$ (r_2 ist positiv), so erhält man eine nach **außen abzweigende Innenbogenweiche**, ist $r_O < r_1$ (r_2 ist negativ), eine **Außenbogenweiche**;

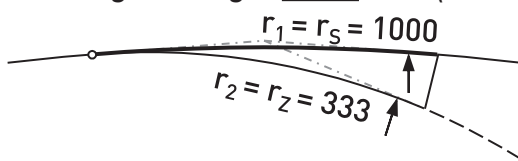
die Angabe Stamm- oder Zweiggleisradius, hängt dabei, wie oben erwähnt von dessen Größe ab.

Beispiele (s. Abb. 12.9) Bogenweichen der Grundform 500–1:12:

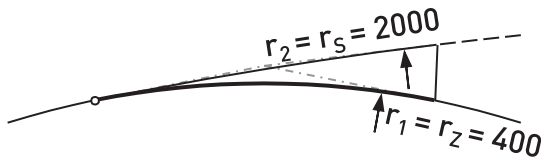
1. Bogen mit Radius $r_S = 1000$ m (Stammgleis); Abzweigung zur **Bogeninnenseite**: Man erhält eine **Innenbogenweiche** mit $r_Z = 333$ m.
2. Bogen mit Radius $r_1 = 400$ m, Abzweigung zur **Bogenaußenseite**: Man erhält eine **Innenbogenweiche** mit $r_2 = r_S = 2000$ m; $r_1 = r_Z$.

Abb. 12.9 Abzweigungen zur Bogeninnenseite sowie zur Bogenaußenseite mit Weichen der Grundform 500–1:12 (Beispiele)

Abzweig zur Bogeninnenseite (Nur Innenbogenweichen!)



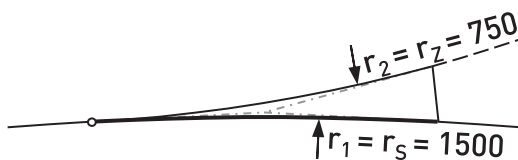
Abzweig zur Bogenaußenseite als Innenbogenweiche



Abzweig zur Bogenaußenseite als Außenbogenweiche



Abzweig zur Bogenaußenseite als Außenbogenweiche



3. Bogen mit Radius $r_1=600$ m, Abzweigung zur **Bogenaußenseite**: Die Weiche ist eine **Außenbogenweiche** mit $r_2=r_s=3000$ m; $r_1=r_z$.
4. Bogen mit Radius $r_1=1500$ m, Abzweigung zur **Bogenaußenseite**: Die Weiche ist ebenfalls eine **Außenbogenweiche** mit $r_2=750$ m; $r_2=r_z; r_1=r_s$.

Abzweigungen zur Bogenaußenseite können weiter sein:

- Weichen der Grundform mit **gerade abzweigendem Stammgleis** und
- Symmetrische Außenbogenweichen mit $r_s=r_z=2 r_0$.

Wie erwähnt, beruhen die o. g. Formeln auf dem Näherungsprinzip der Krümmungsüberlagerung, sie sind für Entwürfe und zum fahrdynamischen Nachweis der zulässigen Geschwindigkeit stets

genügend genau. Bei der Weichenfertigung werden die Radien jedoch unter der Annahme konstanter Tangentenlängen berechnet. Die exakten Formeln lauten dafür:

- bei Abzweigungen nach **innen**:

$$r_z = \frac{r_s \cdot r_0 - t^2}{r_0 + r_s}$$

- und bei Abzweigungen nach **außen**:

$$r_2 = \frac{r_1 \cdot r_0 + t^2}{r_0 - r_1}$$

Bei Innenbogenweichen sind die **Grenzen der Biegebarkeit** (Tab. 12.6) zu beachten, einerseits weil wegen der sonst notwendigen Spurerweiterung der Zweiggleisradius nicht kleiner werden **darf als 175 m**, und andererseits weil bei zu

Tab. 12.6 Grenzen der Biegebarkeit bei einfachen Innenbogenweichen

| Zweiggleisradius der Weichengrundform | Kleinste Stamm- und Zweiggleisradien bei Innenbogenweichen |
|---------------------------------------|--|
| (in m) | (in m) |
| 190 | 2217/175 |
| 300 | 420/175 |
| 500 | 333/200 |
| 760 | 500/302 |
| 1200 | 700/442 |
| 2500 | 1510/941 |

starker Verformung größere konstruktive Änderungen an der Weiche notwendig werden. Diese Grenzen liegen bei einem kleinsten **Zweiggleisradius von ca. 40 %** des jeweiligen **Radius der Grundform**, so z. B. $r_z=200$ m bei Weichen mit Radius $r_o=500$ m in der Grundform.

In **Übergangsbögen** sollten Weichen nur in Klothoiden mit geraden Überhöhungsrampen, nicht dagegen in solchen nach *Bloss* eingebaut werden. Greifen die Weichen nur geringfügig in den Übergangsbogen ein, ist dies jedoch hinnehmbar. Die Krümmungsverhältnisse im abzweigenden Strang ergeben sich, ebenso wie bei den Weichen in Kreisbögen, unmittelbar aus der Überlagerung der Krümmung der Weichengrundform mit der Krümmung des durchgehenden Gleises. Der Parameter A der Klothoide ist im Stamm- und Zweiggleis (angenähert) gleich, die jeweiligen Klothoidenursprünge (Krümmungsnulstellen) sind in Längsrichtung gegeneinander verschoben (Abb. 12.10).

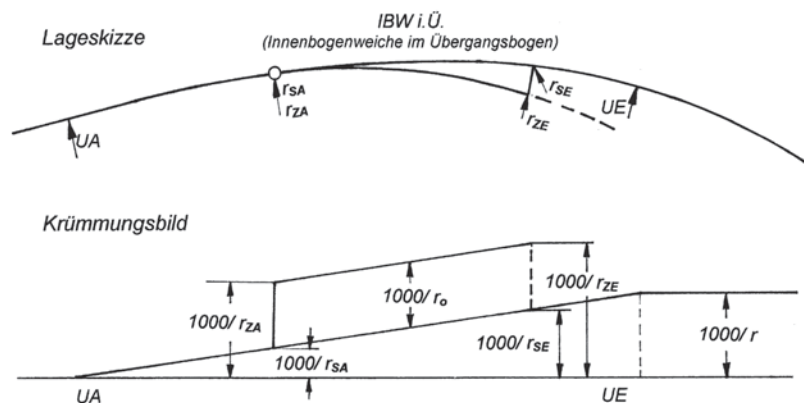
Weichen in Übergangsbögen, die nach außen abzweigen, sollten so angeordnet werden, dass die Krümmung im abzweigenden Strang **nicht** das Vorzeichen ändert, d. h. es sollte keine Innen-/Außenbogenweiche (IBW/ABW) entstehen. Diese Empfehlung kann jedoch in vielen Fällen nicht eingehalten werden und ist auch für das durchgehende Hauptgleis fahrdynamisch unwesentlich.

- ▶ Anmerkung: Das oben erwähnte Prinzip der konstanten Tangentlänge ist eine in Deutschland getroffene pragmatische Festlegung. In anderen Ländern gelten z. T. andere Regeln, die bei Bogenweichen zu geringfügig anderen Radien und Tangentlängen führen können.

Die Grundformen der Weichen können auch so abgewandelt werden, dass ein Teil der Weiche aus einer Rechts- und der andere Teil aus einer Linksweiche besteht. Solche „Rechts/Linksweichen“, exakt als **Weichen mit vertauschter Zungenvorrichtung** bezeichnet, werden z.B. in der jeweils zweiten Weiche bei Gleisanordnungen mit steilen Weichenstraßen sowie bei Kreuzungweichen der Grundformen EKW oder DKW 500–1:9 im Anschluss an Weichen mit Endneigung 1:12 benötigt, Näheres siehe [10].

Durch die Konstruktion der in Deutschland genormten Weichen können fast alle praktisch anstehenden Spurplanaufgaben mit Bogenweichen gelöst und eine fahrdynamisch befriedigende **Linienführung** der durchgehenden Hauptgleise

Abb. 12.10 Weiche im Übergangsbogen



erreicht werden. Bogenweichen sind jedoch, vor allem **in der Instandhaltung aufwändiger** als Weichen im geraden Gleis. Die gilt insbesondere bei Weichen in größerer Überhöhung.

Fahrdynamisch am günstigsten sind Innenbogenweichen, bei denen das durchgehende Hauptgleis ohne Krümmungswechsel verläuft und das andere Gleis zur Bogeninnenseite abzweigt. In beiden Strängen wird das vorlaufende Rad – auch im überhöhten Gleis – am **Bogenaußenstrang** geführt; der Fahrkomfort im durchgehenden Hauptgleis ist gut, und im abzweigenden Strang zumindest zufriedenstellend. Im schneller befahrbaren Gleis soll die Krümmung konstant sein; nur bei gleicher betrieblicher Bedeutung beider Stränge ist es vorteilhaft, den Krümmungsunterschied zu verteilen.

Bei Außenbogenweichen dagegen entsteht immer in einem der beiden Fahrwege ein Gegenbogen. Die Krümmung wechselt Größe und Vorzeichen, das vorlaufende Rad wechselt den führenden Schienenstrang und das Spurspiel zwischen Radsatz und Spurkanal wirkt wie ein Gleislagefehler.

Bogenweichen, die auch im Zweiggleis schnell befahren werden, wie z. B. bei **Abzweigungen von Strecken**, sollten daher, wenn immer möglich, als **Innenbogenweichen** aus entsprechend großen Grundformen geplant werden. Ist dies nicht möglich, d. h. müssen bei Abzweigungen von Streckengleisen Außenbogenweichen eingebaut werden, so wird empfohlen, die Geschwindigkeit im „untertiefen“ Strang um **10 km/h niedriger** festzusetzen als allgemein zulässig, zumindest bei Geschwindigkeiten von 80 km/h und darüber.

Bei Weichen in Bögen sollte die **Überhöhung auf etwa 100 mm** begrenzt werden. Bei Innenbogenweichen mit Abzweigung zur Bogeninnenseite gilt eine Überhöhung von höchstens 120 mm als pragmatische Obergrenze, bei Außenbogenweichen ergibt sich die größte Überhöhung meist aus der zulässigen Untertiefung des abzweigenden Fahrwegs. Größere Überhöhungen in bestehenden Anlagen sollten bei Erneuerungen nach Möglichkeit auf max. 100 mm, höchstens jedoch auf 120 mm, verringert werden.

12.6.2.3 Klothoidenweichen

Als „Klothoidenweichen“ werden Weichen bezeichnet, deren **Zweiggleise** in der Grundform aus **Klothoiden** gebildet sind. Die Stammgleise sind, wie bei den einfachen Weichen, in der Grundform gerade. (Die vorher erwähnten Bogenweichen in Übergangsbögen fallen nicht unter den Begriff „Klothoidenweichen“).

Allen bisher bekannten Klothoidenweichen ist gemeinsam, dass auch hier das Zweiggleis mit einer gewissen Krümmung beginnt. Im weiteren Verlauf der Zweiggleiskrümmung sind grundsätzlich drei Typen von Klothoidenweichen zu unterscheiden:

- Typ 1:** die Zweiggleiskrümmung nimmt etwa bis zur Weichenmitte zu (abgeschnittene Klothoide), danach folgt ein Kreisbogen bis zum Weichenende,
- Typ 2:** die Zweiggleiskrümmung nimmt wie bei Typ 1 zu und anschließend wieder ab (zwei Klothoiden, ggf. mit einem dazwischen liegenden Kreisbogenstück),
- Typ 3:** das Zweiggleis beginnt mit einem Kreisbogen, anschließend nimmt die Krümmung ab.

Bei den Typen 2 und 3 wird die Krümmung meist so gewählt, dass in Gleisverbindungen bei einem bestimmten Gleisabstand eine durchgehende Wendekloide entsteht. Während bei den Typen 1 und 2 ein sanfter Bogeneinlauf am Weichenanfang angestrebt wird, ist Typ 3 ausschließlich auf die Verbesserung der Gegenbogenfahrt angelegt (Abb. 12.11).

Die Typen 2 und 3 sind vorgesehen für Gleisverbindungen und Abzweigungen mit anschließender Parallelführung beider Gleise, der Typ 1 für Abzweigungen mit anschließenden gleichsinnig gekrümmten Bögen.

In Deutschland sind auf einigen Hochgeschwindigkeitsstrecken sowohl Kreisbogenweichen (z. B. Korbbogen mit Radien 7000/6000 m) als auch Klothoidenweichen bei Abzweigungen schnell befahrener Strecken von Schnellfahrstrecken eingebaut. Der Fahrkomfort in diesen **Klothoidenweichen** ist subjektiv gut, sie sind jedoch **länger** und damit kostspieliger in der Beschaffung und Instandhaltung als Kreisbogenweichen mit gleichem Mindestradius. Leider konnte bis-

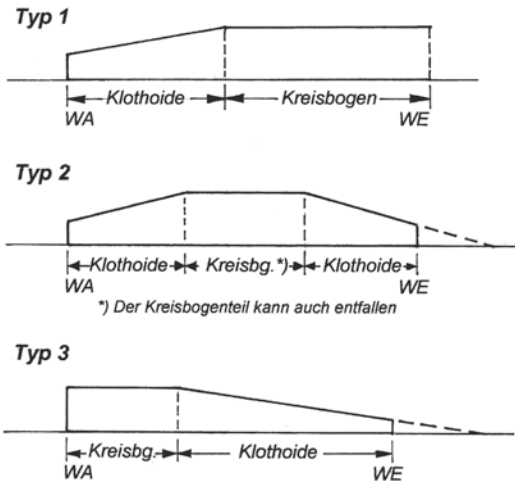


Abb. 12.11 Typen von Klothoidenweichen, Krümmungsbilder der Zweiggleise

her **kein Nachweis** erbracht werden, ob ein spürbarer Unterschied hinsichtlich der Führungskräfte und des Fahrkomforts besteht, wenn eine **Klothoidenweiche** mit einer **etwa gleich langen Kreisbogenweiche** verglichen wird.

12.6.2.4 Geometrie der Kreuzungen

Kreuzungen bestehen in den Grundformen aus zwei sich kreuzenden, meist geraden Gleisen; daneben werden auch Kreuzungen mit einem geraden und einem Bogengleis verwendet. Soweit der Kreuzungswinkel einer der üblichen Weichenendneigungen entspricht, sind die Längen und das Spreizmaß (Abstand der Gleisachsen am Weichenende) gleich denen der einfachen Weiche mit geradem Herzstück und gleicher Endneigung.

In der Mitte der Kreuzung befinden sich die sog. „Doppelherzstücke“ mit abgelenkten Radlenkern. Dadurch entsteht eine sog. „führungslose“ Stelle.

- Anmerkung: Die Größe der „führungslosen“ Stelle hängt ab vom Kreuzungswinkel, dem kleinsten Raddurchmesser, der Spurkranzhöhe und der Höhe der Radlenker über der Schienenoberkante.

Mit Rücksicht auf die sichere Führung der Radsätze in diesem Bereich darf der Kreuzungswin-

kel **nicht flacher als 1:9** sein. Die Neigung 1:9 gilt bei Kreuzungen als Regelneigung, Kreuzungen mit steileren Neigungen (z. B. 1:7,5 oder 1:4,444) werden als „Steilkreuzungen“ bezeichnet. Solche Steilkreuzungen sollten, soweit nicht vermeidbar, nur bis zu einer größten Neigung von 1:2,9 (entspr. $3 \cdot 1:9$) verwendet werden.

Soweit notwendig, können Kreuzungen auch gebogen werden. Beide Stränge erhalten dabei den gleichen Radius, bei der Neigung 1:9 darf dieser nicht kleiner sein als $r=450$ m.

Wenn im Anschluss an das Zweiggleis einer Weiche (z. B. 500–1:12) ein Nachbargleis gekreuzt wird, muss der Bogen fortgeführt werden und am Doppelherzstück der Kreuzung ein Neigung von 1:9 vorhanden sein; je nach Größe des Gleisabstands greift der Zweiggleisbogen ($r=500$ m) dabei mehr oder weniger in eines der einfachen Kreuzungs-Herzstücke ein (Sonderbauform).

Im Anschluss an Weichen mit Endneigungen 1:14 und flacher werden Kreuzungen benötigt, die im Bereich der Doppelherzstücke **flacher als 1:9** geneigt sind. Hier müssen an Stelle der starren Doppelherzstücke **bewegliche Doppelherzstückspitzen** verwendet werden. Solche „Flachkreuzungen“ sind z. B. mit Neigungen 1:14 oder 1:18,5, oder mit einem gebogenen Kreuzungsgleis mit $r=1200$ m (Neigung am Schnittpunkt der Gleisachsen 1:11,515), verfügbar.

12.6.2.5 Geometrie der Kreuzungsweichen

Es ist zu unterscheiden zwischen „einfachen“ und „doppelten“ Kreuzungsweichen, je nachdem, welche Zweiggleisfahrten zwischen den kreuzenden Gleisen möglich sind.

Entsprechend der „Regelneigung“ bei Kreuzungen werden Kreuzungsweichen ebenfalls mit der Neigung 1:9 hergestellt. Bei den Kreuzungsweichen mit Radius $r=190$ m liegen die Zungenvorrichtungen **innerhalb**, bei solchen mit Radius $r=500$ m **außerhalb** der Raute, die von den Schienen der kreuzenden Gleise gebildet wird. Bei der doppelten Kreuzungsweiche DKW 500–1:9 berühren sich die beiden (bogenäußeren) Schienen der Verbindungsbögen in der Mitte der DKW.

- Anmerkung: Die früher verwendeten Kreuzungsweichen EKW und DKW 300–1:9 mit Korbbögen in den Verbindungsgleisen waren mit Gelenkzungen ausgestattet. Solche Weichen werden heute in Deutschland nicht mehr eingebaut.

Kreuzungsweichen können in gewissem Umfang auch in Gleisbögen, d. h. als einfache (EBKW) oder doppelte (DBKW) Bogenkreuzungsweichen eingebaut werden.

- Anmerkung: Kreuzungsweichen der Formen 500–1:12 können soweit gebogen werden, bis der bogeninnere Strang den kleinsten Kreuzungsradius von 450 m erreicht. Einfache Kreuzungsweichen der Form 190–1:9 können zu Außenbogenkreuzungsweichen und in geringem Umfang zu Innenbogenkreuzungsweichen gebogen werden. Doppelte Kreuzungsweichen 190–1:9 werden i. d. R. nicht gebogen.

Die Berechnung der Radien solcher Bogenkreuzungsweichen weicht geringfügig von der bei Bogenweichen ab. Im Einzelnen wird hierzu auf [8] verwiesen.

Auch bei Flachkreuzungen ist es technisch möglich, Verbindungsgleise innerhalb der Kreuzungsraute anzuordnen, so z. B. bei der (einfachen) Flachkreuzungsweiche 850–1:18,5. Diese Weichenform soll aber bei neuen Anlagen nicht verwendet werden.

12.6.2.6 Gleisverbindungen und Weichenanschlüsse

Als **Gleisverbindungen** werden Verbindungen zwischen nebeneinanderliegenden Gleisen mit jeweils zwei Weichen, auch Kreuzungsweichen, bezeichnet. Um eine Zwischengerade ausreichender Länge zu erhalten, ist es nicht immer möglich, Weichen mit Bogenherzstück zu verwenden; z. T. müssen Weichen mit geradem Herzstück, ggf. auch Weichen mit Bogenherzstück und geänderter Endneigung gewählt werden. Es sollen stets die Weichenformen gewählt werden, die bei ausreichender Zwischengerade eine nach Möglichkeit kurze Länge der gesam-

ten Verbindung (d. h. von WA bis WA) ergeben. Die bei der DB im Regelfall zu verwendenden Weichen bei einfachen Gleisverbindungen sind in [11] angegeben.

Beträgt der Achsabstand der zu verbindenden Gleise weniger als 4,50 m, so überdecken sich die durchgehenden Schwellen beider Weichen. Dies bedingt entweder besondere „Langschwelen“ (bei Holzschwellen) bzw. geteilte Schwellen mit Schwellenverbindungsplatten oder Mittelschienen (bei Betonschwellen, z. T. auch bei Holzschwellen). In jedem Fall ist damit der Einbau und die Instandhaltung solcher Verbindungen erschwert und bedingt längere Sperrpausen. Abgesehen von Gleiswechselverbindungen auf freier Strecke wird daher **empfohlen**, bei **Gleisverbindungen** einen **Gleisachsabstand von mindestens 4,50 m** vorzusehen. Dies gilt auch für die durchgehenden Hauptgleise in Bahnhöfen.

Das Verbindungsgleis zwischen den Weichenbögen ist bei den üblichen Gleisabständen meist gerade.

Gleisverbindungen in parallelen Gleisbögen (Abb. 12.12) können wie solche zwischen geraden Gleisen entworfen werden. Die Radien der Zweiggleise ergeben sich durch die „Krümmungsüberlagerung“. Der Radius des Verbindungsgleises zwischen den Weichenenden ist etwas größer als der mittlere Radius der parallelen durchgehenden Hauptgleise, eine ausreichend genaue Berechnung ist in Abb. 12.13 erläutert.

- Anmerkung: In parallelen Bogengleisen können Gleisverbindungen aus den selben Weichengrundformen konstruiert werden wie zwischen geraden Gleisen, wenn die Überhöhung in den durchgehenden Gleisen der **ausgleichenden Überhöhung** für die Zweiggleisfahrt entspricht.

Beispiel: Gegeben ist ein zweigleisiger Bogen mit $r \approx 1250$ m, eingebaut werden soll eine Gleisverbindung für $v=80$ km/h. In geraden Gleisen wären Weichen mit $r=760$ m erforderlich. Die ausgleichende Überhöhung im Bogen $r=1250$ m für $v=80$ km/h ist $u_0=60$ mm. Dies ist sowohl im überhöhten Strang der Innenbogenweiche ($r=472$ m; $u_f=100$ mm) als auch im untertief-

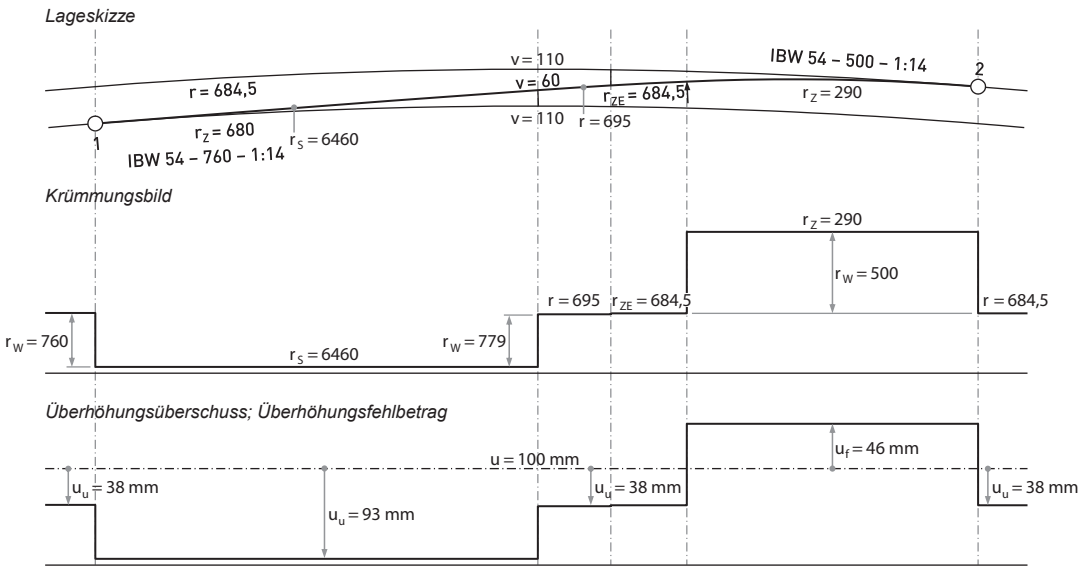
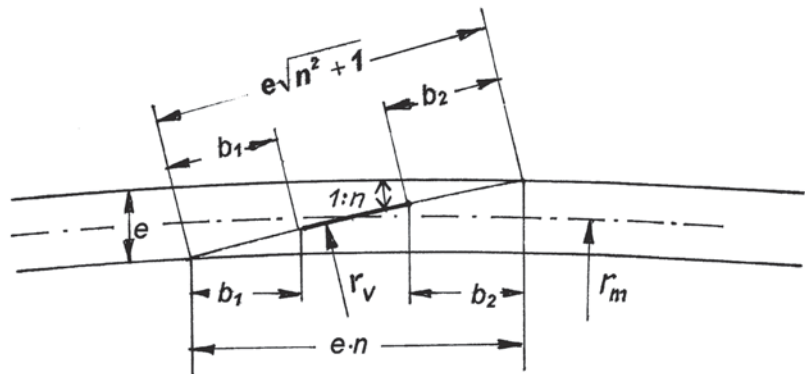


Abb. 12.12 Gleisverbindung zwischen parallelen Gleisen im Bogen

Abb. 12.13 Zwischenbogen bei Gleisverbindungen mit Bogenweichen



$$r_v = r_m \frac{e\sqrt{n^2 + 1} - (b_1 + b_2)}{e \cdot n - (b_1 + b_2)}$$

ten Strang der Außenbogenweiche ($r=1939$ m; $u_f=99$ mm) zulässig. Die durchgehenden Hauptgleise können mit $v=130$ km/h ($u_f=100$ mm) befahren werden.

Als „**Weichenanschlüsse**“ werden Anordnungen bezeichnet, bei denen Weichen am Ende einer davor liegenden Weiche an das Stamm- oder/und an das Zweiggleis angeschlossen werden. Nach Möglichkeit soll auch hier der Weichenanfang der folgenden Weiche außerhalb der durchgehenden Schwellen liegen, d. h. bei einem Achs-

abstand von mehr als 2,30 m zwischen Stamm- und Zweiggleis der davor liegenden Weiche. Bei Weichenanschlüssen an das Stamm- und an das Zweiggleis ist eine der anschließenden Weichen mindestens um einen Schwellenabstand vom Weichenende abzurücken, damit die Weichenantriebe angeordnet werden können.

Im Bereich der **durchgehenden Schwellen müssen** alle vier Schienen von Stamm- und Zweiggleis im Querschnitt auf einer Ebene (waagrecht oder entsprechend der Überhöhung ge-

neigt) liegen. Die senkrecht zu den Gleisachsen verlaufende gemeinsame Querhöhe aller vier Schienen kann erst **nach** der letzten durchgehenden Schwelle, d. h. bei einem Achsabstand von mehr als 2,30 m verlassen werden. Im **Grundriss** kann das Zweiggleis anschließend an das Weichenende **unabhängig** vom Stammgleis trassiert werden. Um aber vorbereitete Anordnungen der durchgehenden Schwellen (genormte Schwellensätze) verwenden zu können, ist darauf zu achten, dass Krümmungswechsel entweder am Weichenende oder außerhalb der durchgehenden Schwellen angeordnet werden. In beiden Strängen können aber jeweils Gerade oder Bögen, letztere mit gleichem, aber beliebig großem Radius, angeordnet werden.

Liegen Weichen mit der **Spitze** gegeneinander und sind die **Zweiggleisbögen gleichsinnig** gekrümmt, so bestehen fahrdynamisch keine Einwände gegen einen unmittelbaren Anschluss, d. h. **Weichenanfang an Weichenanfang** (WA/WA), ein bestimmter Mindestabstand kann aber aus Gründen der Leit- und Sicherungstechnik zweckmäßig sein. Bilden die Zweiggleise einen Gegenbogen, so ergibt sich der Abstand zwischen den Weichenanfängen aus der erforderlichen Länge der Zwischengeraden.

12.7 Optimierung vorhandener Anlagen

12.7.1 Die „gute“ Trasse

Die Qualität einer fahrdynamisch befriedigenden Linienführung, die einen guten Reisekomfort bei gleichzeitig „normalem“ Aufwand in der Instandhaltung gewährleistet, lässt sich nicht allein durch Einhalten der Trassierungsregeln erreichen; sie erfordert vielmehr Erfahrung und solides Können des planenden Ingenieurs. So wird man bei Planung eines neuen Streckenabschnittes beispielsweise nicht Mindestradius auf Mindestradius folgen lassen, sondern versuchen, die gegebenen Zwangspunkte soweit wie wirtschaftlich vertretbar großzügig zu umfahren. Die Regelwerte der Trassierungselemente sind zumindest anzustreben, die Weichen äußerst spar-

sam zu planen, Übergangsbögen aber großzügig anzusetzen. Besonderes Können aber erfordert die Aufgabe bei Ergänzungen, Umbauten und Verbesserungen vorhandener Anlagen.

Es sollte darauf geachtet werden, dass:

- unterschiedliche Elemente nicht in kurzer Folge aneinander gereiht werden,
- in durchgehenden Hauptgleisen nur einfache Weichen in der unvermeidbaren Mindestanzahl verwendet werden,
- ausreichend lange Übergangsbögen gewählt und unvermittelte Krümmungswechsel in durchgehenden Hauptgleisen nicht, oder allenfalls an der Weichenspitze bei der Verzweigung gleich bedeutender Streckengleise geplant werden.

Wie die Erfahrung zeigt, sind in der Gleislage größere Abweichungen von der Sollage häufig dann festzustellen, wenn die Trassierungselemente in kurzer Folge wechseln; dies gilt besonders in Verbindung mit Weichen. Solche Ungenauigkeiten sind bei Umbauten im Betrieb kaum völlig vermeidbar und führen – trotz hohem Aufwand bei der Instandhaltung – zu einem fahrdynamisch unbefriedigenden Zustand der betreffenden Weichen und Gleisabschnitte auf Dauer. Zahlreiche Beispiele dafür, dass erst ein aufwändiger Umbau solcher Stellen Abhilfe schafft, sind aus der Praxis bekannt.

Solche „**Trassierungseinstellen**“ bei der Planung zu **vermeiden** und gleichzeitig eine **gleichbleibend hohe Geschwindigkeit** auf der Bahn zu erreichen kennzeichnet die „gute“ Trasse.

12.7.2 Maßnahmen zur Fahrzeitverkürzung

Die Attraktivität der Bahn hängt entscheidend von der **Reisegeschwindigkeit** ab. **Fahrzeitgewinne** werden besonders wirtschaftlich und energiesparend erzielt, wenn Einschränkungen im Bereich **niedriger Geschwindigkeiten** beseitigt werden. Maßgebend ist deshalb nicht allein die Höchstgeschwindigkeit des Zuges, sondern die mittlere Geschwindigkeit während der Fahrt und die Dauer der Aufenthalte. Eine Steigerung der Höchstgeschwindigkeit bringt dagegen erst dann

einen nennenswerten Zeitgewinn, wenn längere Streckenabschnitte **durchgehend schnell befahren** werden können.

Auch geringe Verkürzungen der Fahrzeit können bedeutsam werden, wenn sich damit z. B. bessere Anschlüsse an den Knotenbahnhöfen oder wirtschaftlichere Fahrzeugumläufe erzielen lassen. Geschwindigkeitseinbrüche, d. h. sog. „ständige Langsamfahrstellen“ sollten – auch wegen des zusätzlichen Energieverbrauchs bei der folgenden Beschleunigung – vermieden werden. Um ein „glattes“ Geschwindigkeits-Wegeband erstellen zu können, ist neben einer durch Erfahrung gestützten Kenntnis der Trassierungsregeln die Abstimmung mit den übrigen Fachsparten, speziell der Leit- und Sicherungstechnik unabdingbar notwendig. Das Beschleunigungs- und Bremsvermögen moderner Züge ist bei Abstufungen der zulässigen Geschwindigkeit zu beachten.

12.7.3 Linienkorrekturen

„**Linienkorrekturen**“ sind Maßnahmen, die auf vorhandenem Bahnkörper, ohne größere Eingriffe in die Infrastruktur durchgeführt werden können. Dagegen bezeichnet man als „**Linienverbesserungen**“ meist größere Vorhaben, die wesentliche Änderungen an der Infrastruktur bedingen.

Beispiele für Linienkorrekturen sind:

- Vergrößern der Überhöhung, soweit notwendig eingeschlossen;
- die Umwandlung der Übergangsbögen in solche nach *Bloss* mit entsprechend geschwungenen Rampen,
- bei relativ kurzen Bögen auch die Vergrößerung der Bogenradien durch Seitenverschiebung auf dem verfügbaren Bahnkörper, ggf. in Verbindung mit einer Umwandlung der Übergangsbögen,
- in geeigneten Fällen, Verschwenken der Geraden vor oder nach einem Kreisbogen, um so das notwendige Abrückmaß zu erhalten. Die Trasse nimmt dann die Form eines „Schwanenhalses“ an, die Seitenverschiebung des

Gleises beschränkt sich dabei auf den Bereich kurz vor und innerhalb des Übergangsbogens (Abb. 12.14),

- Anwendung von Ausnahmewerten der Trassierungselemente, insbesondere im Anfahr- oder Bremsbereich,
- Aufrunden der rechnerisch zulässigen Geschwindigkeit im Rahmen der nach den Richtlinien zugestandenen Möglichkeiten, (z. B. bei $\max v = 119$ km/h eine Erhöhung auf 120 km/h ($\approx +1\%$) anstelle einer sonst notwendigen Absenkung auf 110 km/h),
- Abstimmung zwischen Signalgebung und Linienführung, z. B. durch Aufstellen der die Geschwindigkeit regelnden Signale unmittelbar an den Stellen, an denen die Geschwindigkeit entsprechend herabgesetzt sein muss,
- in Einzelfällen auch Verzicht auf förmliche Geschwindigkeitsbegrenzungen in Zwischenstufen, wenn die rechnerisch zulässigen Geschwindigkeiten, vor allem im Bremsbereich (Signalisierung, Überwachung der Bremskurve), aber auch im Anfahrbereich ohnehin nicht überschritten werden können.
- Abstimmung zwischen Linienführung und Anordnung der Einschaltkontakte für die technische Bahnübergangssicherung, z. B. zur Berücksichtigung trassierungsbedingter Geschwindigkeitsbeschränkungen bei der Berechnung der Anrückzeiten,
- minimale Korrekturen im Weichenbereich (z. B. Erhöhung von 60 km/h auf 70 km/h, um damit die Signalisierung durch „Fahrt frei“ zu ermöglichen und den langsam zu befahrenden Abschnitt zu verkürzen.

Alle diese Maßnahmen erfordern eine enge Zusammenarbeit der Bautechnik mit den einschlägigen anderen Fachgebieten, vor allem mit der Leit- und Sicherungstechnik, aber auch z. B. mit der Starkstromtechnik in Bezug auf die elektrische Oberleitung. Es ist daher von entscheidender Bedeutung für die erreichbare Qualität und die Kosten einer Eisenbahnplanung, wenn bereits beim Entwurf der Spurpläne neben dem Kontakt mit den Aufgabenstellern auch der mit den Spezialisten der übrigen Fachgewerke gesucht und gefunden wird.

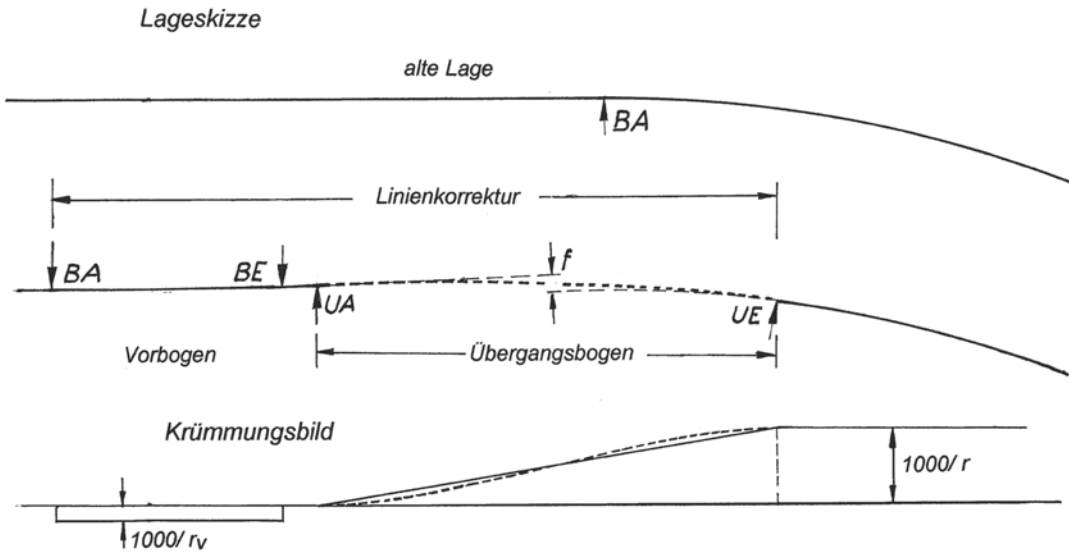


Abb. 12.14 Anordnung eines Vor-Gegenbogens (Schwanenhals)

12.7.4 Einsatz von Neigetechnikfahrzeugen

Aufgrund der Tatsache, dass die zumutbare Seitenbeschleunigung in den Gleisbögen primär durch den Reisekomfort bestimmt wird, entstand die Idee, Fahrzeuge mit neigbaren Wagenkästen zu entwickeln. Der Fahrgast spürt dann nur die parallel zum Wagenfußboden wirkende, reduzierte Seitenbeschleunigung; bei gleichbleibendem Komfort können die Bögen schneller befahren werden. Voraussetzung hierfür ist, dass die vertikale Drehbewegung des Wagenkastens zwischen Übergangsbogenanfang und -ende stattfindet. Damit das Fahrzeug einen Bogen als solchen erkennt, muss aber die Seitenbeschleunigung erst eine gewisse Größe erreicht haben; das bedeutet, dass für den Neigevorgang weniger Zeit zur Verfügung steht als die Fahrt durch den Übergangsbogen dauert. Wenn eine Strecke mit Regelwerten der Elemente – Überhöhung und Übergangsbogenlänge, bezogen auf die Geschwindigkeit der konventionellen Züge – trassiert ist, so steht die für den Neigevorgang erforderliche Zeit meist zur Verfügung. Ist die Überhöhung jedoch klein und der Übergangsbogen kurz, so reicht diese Zeit ggf. nicht aus, um den Neigevorgang innerhalb des Übergangsbogens vollständig durchzu-

führen. In solchen Fällen können Änderungen an der Gleisgeometrie notwendig werden.

Folgt auf einen Bogen nach kurzer Zwischengerade ein Gegenbogen, so darf die Neigeeinrichtung nicht aktiviert werden. In den Weichenbereichen der Bahnhöfe bleibt deshalb bei Geschwindigkeiten von weniger als 70 km/h die Neigeeinrichtung unwirksam. Da es aber auch bei höheren Geschwindigkeiten vorkommen kann, dass das Fahrzeug in einen Gegenbogen mit „falscher“ Schrägstellung einfährt, wird die Wagenkastenneigung derzeit allgemein **nur** dann aktiviert, wenn der betreffende Gleisbogen **überhöht** ist. Dann kann man davon ausgehen, dass Übergangsbögen und Überhöhungsrampen vorhanden sind und die Neigung vor einem eventuellen Gegenbogen wieder zurückgestellt werden kann.

Neigetechnikfahrzeuge sind heute meist für eine größte Schrägstellung von **8 Grad** ausgelegt. Wird zusätzlich eine spürbare Seitenbeschleunigung von etwa $0,65 \text{ m/s}^2$ (entsprechend einem Überhöhungsfehlbetrag von ca. 100 mm, ohne Wankzuschlag) akzeptiert, so beträgt die Seitenbeschleunigung in der Ebene des überhöhten Gleises etwa $2,0 \text{ m/s}^2$. Die zulässige Geschwindigkeit v_n für Neigetechnikfahrzeuge ist dann:

$$v_n = \sqrt{\frac{r}{11,8}}(u + 300) \text{ (km/h)}.$$

In einem mit 160 mm überhöhten Bogen ergibt sich damit:

$$\max \cdot v_n = 6,24 \cdot \sqrt{r} \text{ (km/h); } (r \text{ in m}).$$

Für die Neigung der geraden Rampe gilt mit Rücksicht auf die leichteren Neigetechnikfahrzeuge der größere Wert:

$$1 : m = 1 : 6v.$$

Eine Mindestlänge für Übergangsbögen, abhängig von der Größe des Überhöhungsfehlbetrages, wurde bisher nicht festgelegt. Begründung hierfür ist, dass der Fahrgast die Änderung des Überhöhungsfehlbetrages infolge des Neigevorgangs nicht oder nur teilweise wahrnimmt. Wie erwähnt, ist das aber nicht allgemein gegeben. Eine eingehende fahrdynamische Prüfung der Strecke ist in jedem Fall vor Aufnahme des Betriebes mit Neigetechnikfahrzeugen notwendig.

12.8 Zusammenfassung

Der Beitrag beschreibt die Trassierungselemente der durchgehenden Hauptgleise, d. h. der Gleise der freien Strecke und deren Fortsetzung durch die Bahnhöfe, der übrigen Hauptgleise und schließlich der Nebengleise, die nur von Rangierfahrten benützt werden. Die Erfahrungen der letzten Jahrzehnte, in denen viele, teils grundlegende Versuche zur Weiterentwicklung des Systems „Bahn“ gemacht wurden, sind eingearbeitet. Insbesondere die praktischen Erfahrungen aus der Qualitätskontrolle im deutschen Eisenbahnnetz sowie aus den zwischenzeitlich in Betrieb genommenen Schnellfahrstrecken wurden berücksichtigt. Vergleiche mit der Praxis in anderen Ländern werden gezogen.

Anhang

Tab. A.1 Bezeichnungen nach DIN EN 13803-1 [5] und Ril 800.0110 [6]

| Symbol DB Richtlinie 800.0110 [6] | Symbol DIN EN 13803 [5] | Einheit | Bedeutung |
|--|----------------------------------|---------|--|
| 1:m, 1:m _M | 1:n | – | Neigung einer Überhöhungsrampe (gerade, geschwungen) |
| Δu | ΔD | mm | Differenz von Überhöhungen |
| Δu_f | ΔI | mm | Differenz von Überhöhungsfehlbeträgen |
| l_a | - | m | Länge eines Ausrundungsbogens |
| l_b, l_g | L_i | m | Länge eines Bogens, einer Geraden |
| l_{Rb}, l_{RB} | L_D | m | Länge einer Überhöhungsrampe (Klothoide, Ü-Rampe nach Bloss) |
| l_U, l_{UB} | L_K | m | Länge eines Übergangsbogens (Klothoide, Ü-Bogen nach Bloss) |
| min, max | min, max | | Mindestwert, Maximalwert (Index) |
| r | R | m | Kreisbogenradius im Grundriss |
| r_1, r_2 | R | m | Kreisbogenradius eines Trassierungselements im Grundriss |
| r_a | R_V | m | Radius einer Ausrundung im Aufriss |
| reg | – | – | Regelwert (Index) |
| r_w | R_{id} | m | Vergleichsradius |
| s | – | ‰ | Längsneigung |
| u | D | mm | Überhöhung |
| u_f, u_{fn} | I | mm | Überhöhungsfehlbetrag (konventionell, Neigetechnik) |
| u_0 | D_{EQ} | mm | ausgleichende Überhöhung |
| v, v_N | V | km/h | Geschwindigkeit (konventionell, Neigetechnik) |

Literatur

1. Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (BO) von 1928
2. Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO) von 1967, Novellierung 1992
3. Technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems „Infrastruktur“ des Transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems [TSI]
4. Henschel: Lokomotiv-Taschenbuch. Ausgabe 1962, VDI-Verlag Düsseldorf
5. Europäische Norm DIN EN 13 803-1 und 13 803-2: Bahnanwendungen – Linienführung in Gleisen – Spurweiten 1435 mm und größer – Teil 1 und Teil 2
6. DB Die Bahn Richtlinie 800.0110 Netzinfrastruktur Technik entwerfen Linienführung
7. Ergebnisse der Arbeiten des ORE-Sachverständigenausschusses B 55; hinsichtlich Linienführung zusammengefasst in [5], Teil 1
8. Schlemmer H, Müller G u. a. (Hrsg) (2000) Handbuch Ingenieurgeodäsie. 3. Aufl. Herbert Wichmann, Heidelberg
9. UIC-Kodex 527-1 Reisezug- Gepäck- und Güterwagen, Abmessungen der Pufferteller, Linienführung der S-Bögen. Internationaler Eisenbahnverband, übernommen in [3]
10. Weigend, M Linienführung und Gleisplangestaltung. VDEI – Schriftenreihe für Verkehr und Bahntechnik, Eurail Press 2004
11. DB Die Bahn Richtlinie 800.0120 Netzinfrastruktur Technik entwerfen Weichen und Kreuzungen

Eric J. Schöne

13.1 Einführung

Bahnübergänge stellen besondere Kreuzungssituationen dar, an denen sich zwei Verkehrssysteme mit grundlegend verschiedenen Eigenschaften begegnen.

Eines der Verkehrssysteme ist der Straßenverkehr. Durch die große Haftreibung zwischen Gummirädern und Straßenoberfläche erreichen die Fahrzeuge relativ kurze Bremswege. Sie können außerdem kurzfristig vor Hindernissen ausweichen. Die Sicherheit beruht vor allem auf Verkehrsregeln und hängt daher stark vom Verhalten der Straßenverkehrsteilnehmer ab. Sie dürfen nur so schnell fahren, dass sie innerhalb der übersehbaren Strecke anhalten können. Eine Beeinflussung des Verhaltens wird vor allem über die Straßengestaltung angestrebt.

Der Schienenverkehr weist wesentlich andere Eigenschaften auf (vgl. Abschn. 10.1.2). Durch die kleine Haftreibung zwischen Stahlrädern und Stahlschienen sind die Bremswege erheblich länger. Aufgrund der Spurführung können die Fahrzeuge nicht kurzfristig ausweichen; Richtungsänderungen sind nur an vordefinierten Stellen möglich. Die Sicherheit beruht vor allem auf technischen Systemen, mit denen die Fahrwege gesichert werden. Die Fahrzeugführer können ihren Bremsweg nicht überblicken, sondern rich-

ten Brems- und Beschleunigungsvorgänge vor allem nach den Signalen.

Somit treffen an Bahnübergängen zwei unterschiedliche Sicherheitsphilosophien aufeinander, deren Besonderheiten bei der Gestaltung der Kreuzungsstellen berücksichtigt werden müssen. Weder darf das Verhalten der Straßenverkehrsteilnehmer einen wesentlichen Einfluss auf die Sicherheit des Eisenbahnverkehrs erhalten, noch dürfen die Gefahren des Eisenbahnverkehrs die Sicherheit der Straßenverkehrsteilnehmer übermäßig beeinträchtigen.

Ein vollständiger Ausschluss gefährlicher Auswirkungen menschlichen Fehlverhaltens ist nur durch Vermeidung bzw. Beseitigung von Bahnübergängen möglich. In allen anderen Fällen müssen absichtliche oder unbeabsichtigte Fehler der Straßenverkehrsteilnehmer in Betracht gezogen und bei der Gestaltung des Bahnübergangs berücksichtigt werden. Dazu gehört insbesondere die Auswahl und Ausführung der Sicherungsmaßnahmen.

- **Anmerkung** Die in den folgenden Abschnitten dargestellten Prinzipien gelten grundsätzlich international. Rechtsquellen, Einsatzkriterien, Zahlenwerte sowie weitere Details beziehen sich allerdings auf die Verhältnisse in der Bundesrepublik Deutschland und können im Ausland deutlich abweichen. Für eine länderübergreifende Darstellung wird auf [1] verwiesen.

E. J. Schöne (✉)
TU Dresden, 01062 Dresden, Deutschland
E-Mail: eric.schoene@tu-dresden.de

13.2 Grundlagen

13.2.1 Definitionen

13.2.1.1 Bahnübergänge bei öffentlichen Eisenbahnen

Für öffentliche Eisenbahnen ist der Begriff des Bahnübergangs in § 11 der Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung definiert [2]:

Bahnübergänge sind höhengleiche Kreuzungen von Eisenbahnen mit Straßen, Wegen und Plätzen.

Davon abzugrenzen sind Übergänge für Reisende sowie für den innerdienstlichen Verkehr, die nicht als Bahnübergänge gelten. Hierfür existieren spezielle Vorschriften, da andere Gefährdungssituationen vorliegen. Die Vorgaben zur Sicherung von Reisendenübergängen bei Eisenbahnen des Bundes sind in [3] enthalten.

13.2.1.2 Bahnübergänge bei nichtöffentlichen Eisenbahnen

Die Bahnübergangsdefinitionen für nichtöffentliche Eisenbahnen sind in den von den Bundesländern erlassenen Bau- und Betriebsordnungen für Anschlussbahnen enthalten (z. B. [4] oder [5]). Sie entsprechen inhaltlich der Definition für öffentliche Eisenbahnen (s. Abschn. 13.2.1.1).

Für abgeschlossene Werksgelände gelten spezielle Vorschriften, die von den jeweiligen Bahnbetreibern festgelegt werden. Diese Kreuzungsstellen werden als „Bahnüberwege“ bezeichnet; Vorgaben zur Gestaltung bei nichtbundeseigenen Eisenbahnen finden sich in [6].

13.2.2 Anforderungen

13.2.2.1 Vorrang der Schienenfahrzeuge

Aufgrund der Systemeigenschaften (s. Abschnitt 13.1) erhält der Schienenverkehr an Bahnübergängen i. d. R. den Vorrang vor dem Straßenverkehr. Den Straßenverkehrsteilnehmern ist das Anhalten am ehesten möglich und zuzumuten, auch weil dies im Schienenverkehr deutlich mehr Zeit beanspruchen und ein Fahren nach Fahrplan erschweren würde.

Auf Bahnübergängen von öffentlichen Eisenbahnen (s. Abschn. 13.2.1.1) hat der Eisen-

bahnverkehr stets Vorrang vor dem Straßenverkehr. Bei nichtöffentlichen Eisenbahnen (s. Abschn. 13.2.1.2) sind hingegen auch Bahnübergänge ohne Vorrang der Schienenfahrzeuge vorhanden.

Mit Andreaskreuzen wird die Vorrangssituation für die Straßenverkehrsteilnehmer gekennzeichnet. An Bahnübergängen von Fußwegen müssen jedoch keine Andreaskreuze aufgestellt sein; in den Verhaltensvorschriften des Straßenverkehrs ist verankert, dass Schienenfahrzeuge an diesen Stellen grundsätzlich Vorrang haben.

Bahnübergänge von nichtöffentlichen Eisenbahnen sind oftmals ohne Vorrang der Schienenfahrzeuge vor dem motorisierten Straßenverkehr ausgeführt und verfügen in diesen Fällen nicht über Andreaskreuze. Dies trifft insbesondere dann zu, wenn ein Übergang nur sehr selten von Schienenfahrzeugen befahren wird, wie es bei Anschlussgleisen gelegentlich vorkommt. Um das Überqueren von Straßen zu erleichtern, dürfen Bahnmitarbeiter nach den Straßenverkehrsvorschriften jedoch den Straßenverkehr anhalten. Dabei können auch technische Mittel wie Lichtzeichen eingesetzt werden, die allerdings nicht die hohen Anforderungen an herkömmliche Bahnübergangstechniken erfüllen müssen.

Je nach örtlicher Bedeutung und Verkehrssituation ist es auch möglich, Bahnübergängen nichtöffentlicher Eisenbahnen den gleichen rechtlichen Status wie Bahnübergängen öffentlicher Eisenbahnen einzuräumen. Dann erhalten sie auch Andreaskreuze und damit den Vorrang vor dem Straßenverkehr. Die Entscheidung darüber obliegt den Straßenverkehrsbehörden.

13.2.2.2 Schutzfunktionen von Bahnübergängen

Eine wesentliche Aufgabe bei der Gestaltung der Bahnübergänge ist der Schutz des Straßenverkehrs vor dem Schienenverkehr. Kollisionen mit Schienenfahrzeugen können für die Straßenverkehrsteilnehmer erhebliche Personen- und Sachschäden nach sich ziehen, die im Vergleich zu Unfällen im übrigen Straßenverkehr überproportional hoch sind.

Umgekehrt muss jedoch auch der Schienenverkehr vor dem Straßenverkehr geschützt wer-

den. Insbesondere wenn größere Straßenfahrzeuge beteiligt sind, kann es zu schweren Unfallfolgen kommen. Die oftmals im Regionalverkehr eingesetzten leichten Triebwagen können stark beschädigt und ihre Insassen gefährdet werden. Auch bei Entgleisungen der Schienenfahrzeuge sind gravierende Folgeschäden möglich.

Die Kollision eines Schienenfahrzeugs mit einem Straßenverkehrsteilnehmer auf einem Bahnübergang ist als „Zusammenprall“ definiert (vgl. Abschn. 10.3.1.2). Somit ist das Verhindern von Zusammenprallen die vorrangige Aufgabe der Bahnübergangssicherung.

13.2.2.3 Anforderungen der Straßenverkehrsteilnehmer

Bahnübergänge müssen so gestaltet sein, dass der Vorrang der Schienenfahrzeuge (Abschn. 13.2.2.1) deutlich wird und von den Straßenverkehrsteilnehmern beachtet werden kann. Dabei sind die Belange aller auftretenden Nutzer zu berücksichtigen: je nach örtlicher Situation somit Fußgänger, Radfahrer und Kraftfahrzeuge verschiedener Art.

Die Anforderungen sind unterschiedlich. Während es bei Fußgängern z. B. auf die Warnung unmittelbar am Bahnübergang ankommt, müssen Kraftfahrzeugführer bereits während ihrer Annäherung an den Übergang vor Schienenfahrzeugen gewarnt werden, um rechtzeitig anhalten zu können. Gleichzeitig sind die nutzerspezifischen Aspekte der Befahrbarkeit und Barrierefreiheit zu berücksichtigen.

In die Gestaltung ist das straßenverkehrliche Umfeld sowohl vor als auch hinter dem Bahnübergang einzubeziehen. Vor dem Bahnübergang befindliche Ablenkungsfaktoren (z. B. Einmündungen, Kreuzungen, Kurven, Verkehrszeichenhäufungen, Werbetafeln, Fahrbahnschäden) können sich auf die Wahrnehmbarkeit und damit auf die Wirksamkeit der Sicherungseinrichtungen auswirken. Straßenverkehrsanlagen hinter dem Bahnübergang können hingegen die Räumung beeinträchtigen, wenn sie einen Rückstau auf den Bahnübergang bewirken.

Die Sicherung muss einerseits wirksam sein, soll jedoch andererseits den Verkehrsfluss möglichst wenig behindern. Daraus ergibt sich die

Forderung nach möglichst kurzen Sperrzeiten für den Straßenverkehr.

Die wichtigsten Anforderungen an die Gestaltung von Bahnübergängen aus Sicht der Straßenverkehrsteilnehmer lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- rechtzeitige Ankündigung der Gefahrenstelle,
- Erkennbarkeit des Bahnübergangs,
- Erkennbarkeit und Begreifbarkeit der Sicherungseinrichtungen,
- Befahrbarkeit und Begehbarkeit,
- Räumbarkeit des Bahnübergangsbereichs,
- hohe Sicherheit technischer Anlagen,
- kurze Sperrzeiten.

Konkrete Anforderungen enthalten Abschn. 13.3 zur Bautechnik, Abschn. 13.4 zu den Sicherungsmaßnahmen und Abschn. 13.5 zu den Einflüssen des Straßenumfeldes.

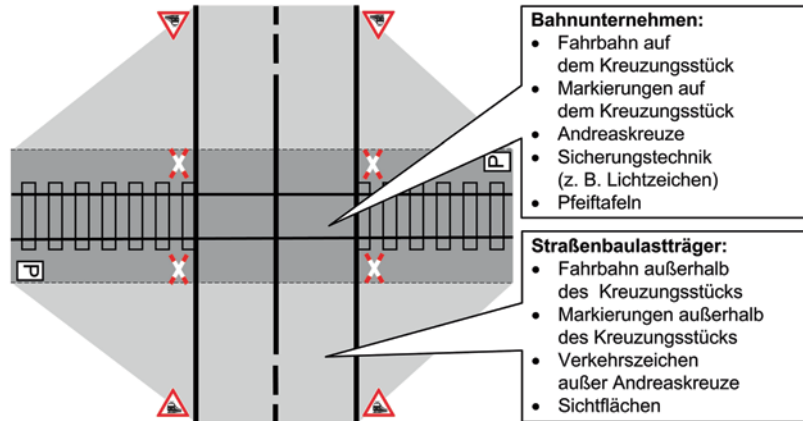
13.2.3 Rechtsgrundlagen

13.2.3.1 Überblick

Die Regeln zu Bahnübergängen sind in Deutschland auf zahlreiche Rechtsquellen verteilt. Zu den wichtigsten Quellen zählen:

- Eisenbahnkreuzungsgesetz (EKrG) [7],
- Bau- und Betriebsordnungen der Bahnen:
 - Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO) [2],
 - Bau- und Betriebsordnungen für Anschlussbahnen (BOA/EBOA), z. B. [4] und [5],
- Vorschriften für den Straßenverkehr:
 - Straßenverkehrs-Ordnung (StVO) [8],
 - Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Straßenverkehrs-Ordnung (VwV-StVO) [9],
 - Leitfaden für Bahnübergangsschauen [10],
- Anerkannte Regeln der Technik:
 - DB-Richtlinie 815 „Bahnübergänge planen und instand halten“ [11],
 - DB-Richtliniengruppe 819.12 „Technische Bahnübergangssicherungsanlagen“ [12],
 - Bahnübergangsvorschrift für nichtbundes-eigene Eisenbahnen (BÜV-NE) [13].

Abb. 13.1 Zuständigkeiten an Bahnübergängen



13.2.3.2 Eisenbahnkreuzungsgesetz

Das EKrG regelt vor allem grundsätzliche Fragen der Zuständigkeiten und Finanzierung von Kreuzungen zwischen Eisenbahnen und Straßen. Dazu gehören sowohl höhengleiche Kreuzungen (Bahnübergänge) als auch höhenfreie Kreuzungen (Überführungen). Es enthält in § 2 die Vorgabe, keine neuen Bahnübergänge mit Straßen zu errichten [7]:

Neue Kreuzungen von Eisenbahnen und Straßen, die nach der Beschaffenheit ihrer Fahrbahn geeignet und dazu bestimmt sind, einen allgemeinen Kraftfahrzeugverkehr aufzunehmen, sind als Überführungen herzustellen.

Bei schwachem Verkehr können allerdings Ausnahmen zugelassen werden, wenn z. B. eine neu zu bauende Erschließungsstraße eine selten befahrene nichtöffentliche Eisenbahn kreuzen soll und die Errichtung einer Überführung unverhältnismäßigen Aufwand verursachen würde.

Des Weiteren sind im EKrG die Zuständigkeiten für die Instandhaltung der Anlagen festgelegt. Für die Ankündigung der Schienenfahrzeuge und den Bahnübergangsbereich ist dabei der Bahnbetreiber zuständig. Für die Ankündigung des Bahnübergangs und für die Straßenanlagen im Umfeld hat hingegen der Straßenbaulastträger zu sorgen. Es ergeben sich die in Abb. 13.1 dargestellten Zuständigkeitsgrenzen.

Als Kreuzungsstück gilt dabei die vom Straßen- und Schienenverkehr gemeinsam genutzte Fläche, begrenzt durch einen Abstand von 2,25 m von der äußeren Schiene. Einige der genannten Anlagen (z. B. Sichtflächen, Pfeiftafeln)

sind nicht bei allen Bahnübergängen vorhanden.

Oft befinden sich Sichtflächen auf privaten Grundstücken. Dann muss die Freihaltung von Sichthindernissen über Eintragungen in den Grundbüchern oder vertragliche Vereinbarungen sichergestellt werden, was in der Praxis häufig zu Problemen führt.

Für die Finanzierung von Baumaßnahmen an Kreuzungsanlagen ist zu unterscheiden, ob es sich um eine Neuerrichtung oder um die Änderung einer bestehenden Anlage handelt. Während bei neuen Kreuzungen das Veranlasserprinzip gilt, werden die Kosten für Maßnahmen zur Verbesserung der Verkehrsverhältnisse oder Beseitigung von Bestandsanlagen i. d. R. wie folgt aufgeteilt:

- ein Drittel der Kosten trägt das Bahnunternehmen,
- ein Drittel der Kosten trägt der Straßenbaulastträger,
- ein Drittel der Kosten trägt
 - bei Eisenbahnen des Bundes der Bund,
 - bei nichtbundeseigenen Eisenbahnen das Land.

Über die Gesamtkosten der Maßnahmen sollen sog. Kreuzungsvereinbarungen geschlossen werden. Die Instandhaltungskosten trägt jeder Kreuzungspartner für seine Anlagen jeweils selbst.

Bei Feld-, Wald- und Privatwegen können Zuständigkeiten und Finanzierung abweichend geregelt sein, da diese Bahnübergänge i. d. R. nicht dem EKrG unterliegen. In diesen Fällen sind Vereinbarungen zwischen Bahnbetreiber und Wegeigentümer zu schließen.

13.2.3.3 Bau- und Betriebsordnungen der Bahnen

In den Bau- und Betriebsordnungen sind in unterschiedlicher Tiefe unter anderem folgende Sachverhalte geregelt:

- Vorrang der Schienenfahrzeuge,
- Aufstellung der Andreaskreuze,
- Einsatzkriterien verschiedener Sicherungsarten,
- Anforderungen an Sichtflächen,
- Anforderungen an Sicherheitseinrichtungen.

Die wichtigste Fundstelle für Bahnübergänge öffentlicher Eisenbahnen ist § 11 der EBO. Daraus ergibt sich unter anderem eine wichtige Geschwindigkeitsgrenze: Bahnübergänge sind auf deutschen Eisenbahnstrecken nur bis zu einer Höchstgeschwindigkeit der Schienenfahrzeuge von 160 km/h zulässig.

13.2.3.4 Vorschriften für den Straßenverkehr

Die Vorschriften für den Straßenverkehr enthalten einerseits Verhaltensregeln für die Straßenverkehrsteilnehmer, andererseits aber auch Vorgaben für die Behörden.

Die StVO trifft zu Bahnübergängen folgende wesentliche Regelungen:

- Park- und Halteverbote,
- Vorrangregelung und weitere Verhaltensregeln,
- Verkehrszeichen und -einrichtungen,
- Anordnungsbefugnis der Bahnunternehmen (für öffentliche Eisenbahnen).

In der VwV-StVO sind weitere konkretisierende Regeln für Straßenbehörden festgeschrieben:

- Aufstellung der Andreaskreuze (für nichtöffentliche Eisenbahnen),
- Anordnung weiterer Verkehrszeichen und -einrichtungen,
- Beteiligung der Bahnunternehmen,
- Durchführung von Verkehrsschauen.

Da gemeinsame Verkehrsschauen an Bahnübergängen (Bahnübergangsschauen, s. Abschn. 13.5.4) ein wichtiges Instrument darstellen, um die Sicherheit kontinuierlich zu überwachen, wurde hierfür ein Leitfaden entwickelt. Er enthält unter anderem Checklisten und Regelpläne, mit denen vorliegende Situationen (Beschil-

derung, Verkehrsregelung usw.) systematisch geprüft werden können. Die rechtliche Verbindlichkeit des Leitfadens ist allerdings in den einzelnen Bundesländern unterschiedlich.

13.2.3.5 Anerkannte Regeln der Technik

Bedingt durch die historische Entwicklung und die unterschiedlichen Zuständigkeiten haben die bundeseigenen und die nichtbundeseigenen Eisenbahnen jeweils eigene Regelwerke für Bahnübergänge. Während die bundeseigenen Eisenbahnen die Regeln in den DB-Richtlinien 815 und 819.12 verankert haben, gibt es für die nichtbundeseigenen Eisenbahnen mit der BÜV-NE eine eigene Vorschrift mit deutlich geringerer Regelungstiefe. Da nichtöffentliche Eisenbahnen i. d. R. gleichzeitig nichtbundeseigene Eisenbahnen sind, findet die BÜV-NE Anwendung.

In den genannten anerkannten Regeln der Technik sind vor allem folgende Sachverhalte zu Bahnübergängen geregelt:

- Konkretisierung von Einsatzkriterien der Sicherungsarten,
- Berechnung der Strecken und Zeiten für technische und nichttechnische Sicherung,
- Standorte der Andreaskreuze,
- Gestaltung bautechnischer Anlagen,
- Gestaltung sicherungstechnischer Anlagen,
- Instandhaltung und Störungsmanagement.

► **Anmerkung** In den kommenden Jahren ist eine Zusammenführung und Harmonisierung der bahnübergangsspezifischen Regelwerke für die bundeseigenen und nichtbundeseigenen Eisenbahnen bei gleichzeitiger Aufnahme der straßenseitigen Vorgaben zu erwarten [14].

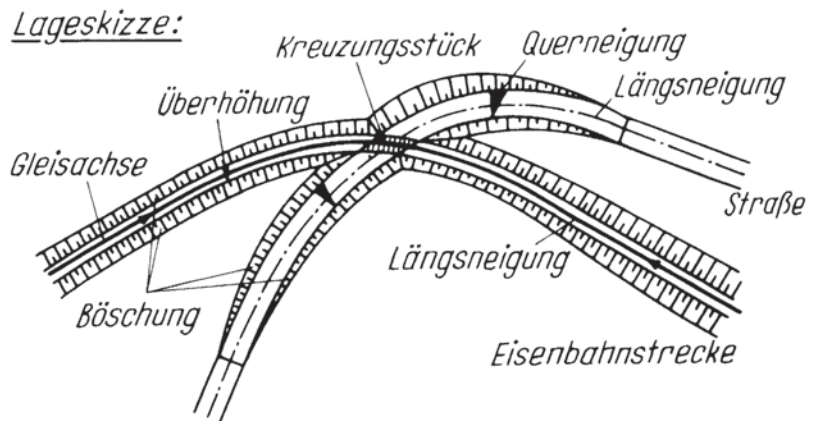
13.3 Bautechnische Gestaltung

13.3.1 Allgemeine Anforderungen

Ein Bahnübergang ist gemeinsamer Bestandteil der Verkehrswege Schiene und Straße. Er muss deshalb den bautechnischen Anforderungen beider Verkehrswege gerecht werden (Tab. 13.1).

Tab. 13.1 Anforderungen an die bauliche Gestaltung von Bahnübergängen

| Straße | Schiene |
|--|---|
| Lückenlose starre Fahrbahndecke mit durchgehend gleicher Oberflächenbeschaffenheit | Freihaltung der Spurrille |
| | Durchgehende Oberbauform |
| | Durchgehend gleichbleibende Elastizität und Setzung des Gleises |
| | Schneller Ein- und Ausbau des Belages für Stopfarbeiten |
| | In Gleisstromkreisen: elektrische Isolierung der Schienen gegeneinander (vgl. Abschn. 10.2.3) |
| Linienführungskriterien der Straße | Linienführungskriterien der Bahn (vgl. Abschn. 12.2) |
| | Gradientenhebung bei Stopfarbeiten |

Abb. 13.2 Lageskizze der Kreuzungsstelle
(Quelle: [15])

Über den Kreuzungswinkel verknüpft, stehen die Längs- und Querneigungen der Verkehrswege in Abhängigkeit voneinander. Daraus ergeben sich widersprüchliche Anforderungen, die Kompromisslösungen erforderlich machen.

Hinsichtlich der Linienführung im Kreuzungsbereich ist zu beachten, dass bei rechtwinkliger Kreuzung die Querneigung der Straße durch die Längsneigung des Gleises und die Längsneigung der Straße durch die Querneigung (Überhöhung) des Gleises vorgegeben sind. Bei nicht rechtwinkligen Kreuzungen bestehen noch komplexere Abhängigkeiten (Abb. 13.2).

Die Linienführung der Bahn wird hinsichtlich zweier Gesichtspunkte an die Bedürfnisse der Straße angepasst:

- in Gleisbögen wird ggf. nur die minimale Überhöhung eingebaut (s. Abschn. 12.3.1),
- in mehrgleisigen überhöhten Bögen werden alle Gleise nach Möglichkeit in eine Ebene gelegt (Abb. 13.3), wozu das äußere Gleis

bzw. die äußeren Gleise im Vorfeld des Bahnübergangs anzurampen sind (ähnlich wie bei Weichenverbindungen in Gleisbögen).

Weichen und Kreuzungen können nicht in Bahnübergängen angeordnet werden, weil die Radlenker mehrere Zentimeter über die Schienenoberkante ragen und die Weichenzungen durch Schmutz oder Steine blockiert werden könnten.

13.3.2 Bahnübergangsbeläge

Bei schwächerer Belastung von Eisenbahnstrecke und Straße ist die Befestigung des Bahnübergangs mit einem bituminösen Belag eine kostengünstige und funktionale Lösung. Dabei war es bisher üblich, die Spurrille in den Asphaltbelag einzuwalzen, ohne sie permanent zu sichern (Abb. 13.4). Dadurch war jedoch die Einhaltung des Lichtraumprofils der Bahn nicht dauerhaft gewährleistet, sodass die eingewalzte

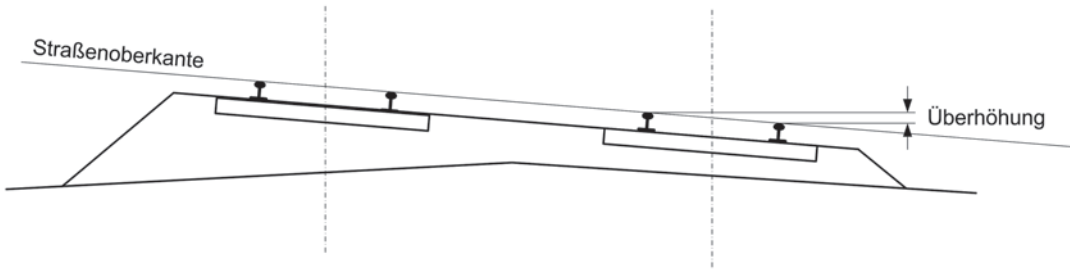
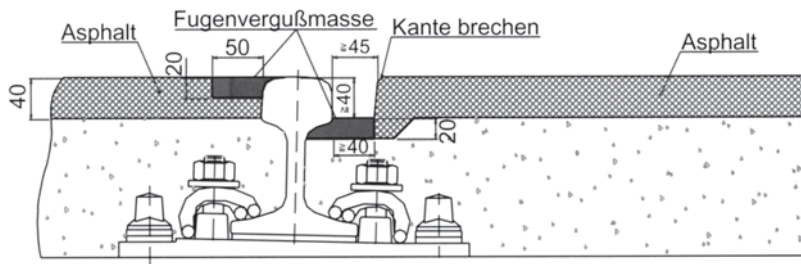


Abb. 13.3 Lage der Gleise in einer Ebene

Abb. 13.4 Eingewalzte Spurrille in Asphalt
(Quelle: [16])



Spurrille nur noch bei Bahnübergängen von Fuß- und Radwegen, bei Bahnübergängen mit schwachem Verkehrsaufkommen (bis 100 Kfz/Tag, vgl. Abschn. 13.4.1.1) sowie bei Provisorien zugelassen ist. In allen übrigen Fällen muss der Belag eine dauerhafte Spurrille aufweisen, entweder durch entsprechende Ausbildung der Ränder von Plattenbelägen, durch eine Beischiene („Spurrillenschiene“) oder durch die Verwendung eines monolithischen Rillenschienenprofils im Bahnübergangsbereich.

Nachteilig sind bei bituminösen Bahnübergangsbelägen:

- die gegenüber der Eisenbahnstrecke deutliche veränderte Elastizität,
- die problematische Standfestigkeit der Anschlüsse an die Schienen,
- die Belastung und damit zusätzliche Setzung des Schotters durch die Straßenverkehrsbelastung,
- die Notwendigkeit einer Erneuerung des Belages bei Durcharbeitung des Gleises.

Bahnübergänge mit höherer Straßenverkehrsbelastung und solche auf schnell und stark befahrenen Eisenbahnstrecken werden i. d. R. mit Belägen ausgerüstet, die die Elastizität und Setzung des Eisenbahnoberbaus möglichst wenig beein-

flussen und die zur Durcharbeitung des Gleises ausgebaut werden können. Diese Anforderungen werden durch Plattenbeläge aus Beton oder Hartgummi erfüllt. Sie setzen die Verkehrslasten der Straße unmittelbar oder mittelbar auf die Schienenfüße ab, so dass die lastverteilende Wirkung der Schienen aktiviert wird. Gleichzeitig sichern diese Bahnübergangsbefestigungen aufgrund der Gestaltung ihrer Plattenränder die Spurrille dauerhaft.

Betonplattenbeläge (Abb. 13.5) sind sehr biegesteif, so dass sie ihre Last brückenartig über Profilstücke direkt auf die Schienenfüße absetzen können. Wegen ihrer hohen Masse wird zum Ein- und Ausbau des Belages ein Hebezeug benötigt.

Hartgummiplatten (Abb. 13.6) sind weniger biegesteif. Sie werden deshalb vierseitig auf die Schienenfüße und die Schwellen aufgelagert, dabei flächig unterstützt durch die Schotterbettung. Die einzelnen Platten werden horizontal gegeneinander mit Zugstangen verspannt. Die Schwellenauflagerung erfordert einen Schwellenabstand von 60 cm. Der Ein- und Ausbau der Beläge kann ohne Hebezeug erfolgen.

Die Außenplatten der Plattenbeläge werden straßenseitig auf speziellen Fundamentsteinen aufgelagert.

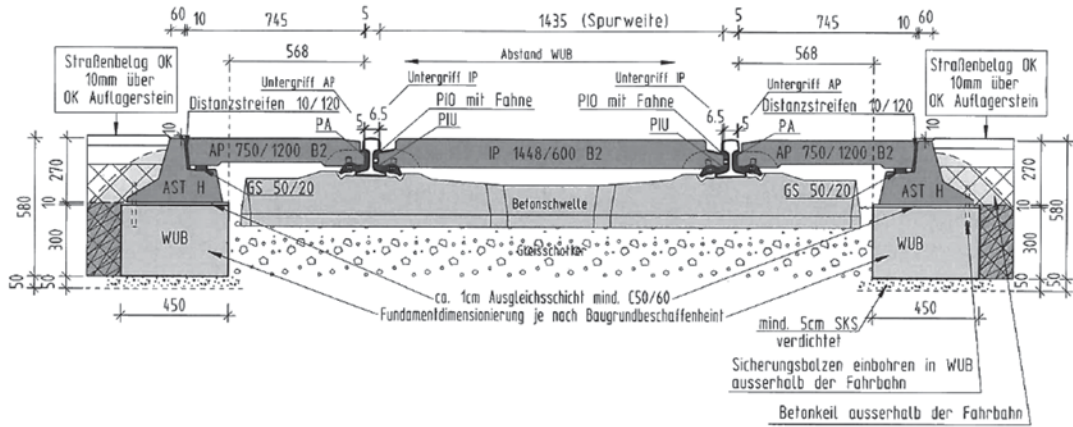


Abb. 13.5 Ausführungsbeispiel Betonplattenbelag (Quelle: [17])

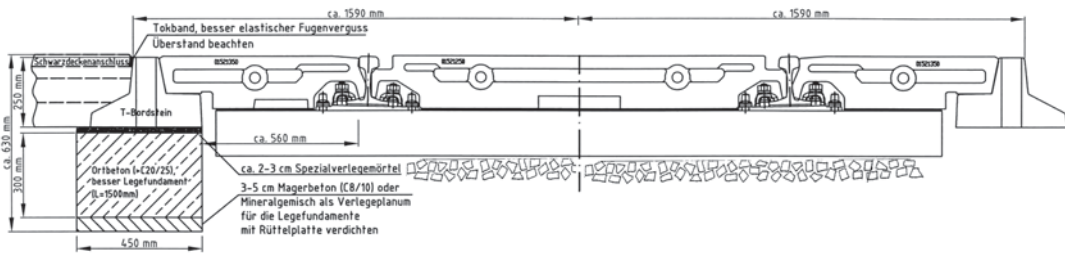


Abb. 13.6 Ausführungsbeispiel Hartgummiplattenbelag (Quelle: [18])

Um zu verhindern, dass ein zu starrer Bahnübergang insbesondere bei schnellfahrenden Zügen zusätzliche vertikale und im Bogen horizontale Fliehkräfte verursacht („Sprungschanzeneffekt“), wird die Straßenfahrbahn im Bereich des Kreuzungsstücks durch den Baulastträger Bahn so konstruiert, dass die elastischen Eigenschaften des Gleises weitgehend erhalten bleiben. Bahnübergänge auf schnell befahrenen und hoch belasteten Strecken erhalten deshalb i. d. R. Beläge, die ihre Lasten analog zum Schienenverkehr über die Schienenfüße bzw. Schwellen in die Bettung übertragen.

Die Entwässerungen werden so geführt, dass das Niederschlagswasser den vier Ecken des Bahnübergangsbereichs zugeführt wird. In Abhängigkeit von der Lage der Vorflut werden Bahn- bzw. Straßengraben verrohrt (s. Abschn. 4.2.2.9). Wenn die Gefahr besteht, dass Oberflächenwasser der Straße auf den Bahnübergang läuft, muss dieses straßenseitig durch eine Querdrainage parallel zur Gleisachse gefasst und abgeleitet werden.

Ein Ausführungsbeispiel für Entwässerungsanlagen zeigt Abb. 13.7.

13.3.3 Entwässerung

Durch die Entwässerung ist einerseits zu gewährleisten, dass sich bei Niederschlag auf dem Bahnübergang keine Wasseransammlungen bilden, und andererseits, dass der Bahnkörper nicht durchfeuchtet wird.

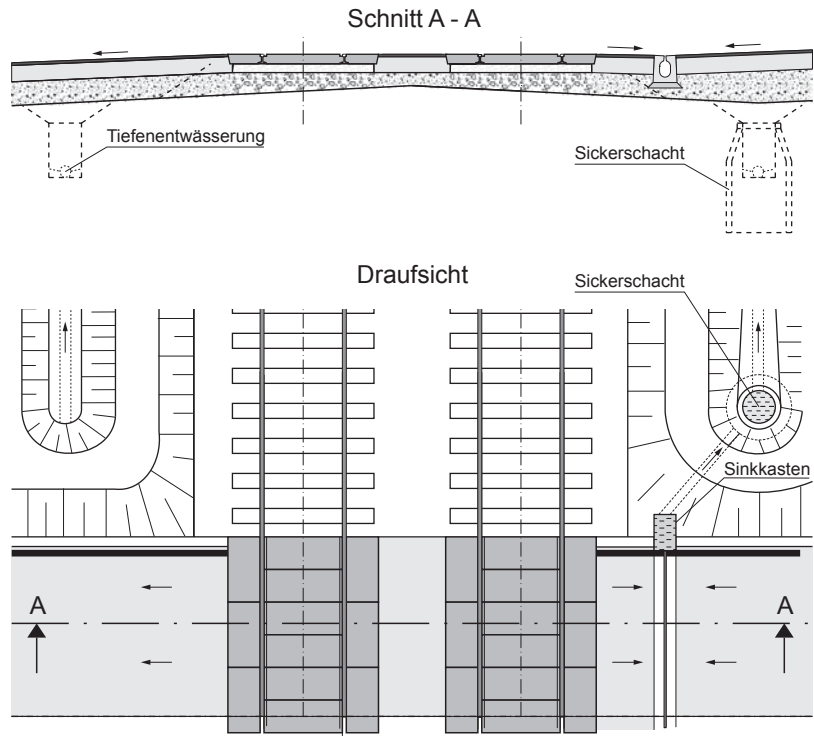
13.4 Sicherungsmaßnahmen

13.4.1 Technologien zur Sicherung

13.4.1.1 Arten und Einsatzkriterien

Damit die Annäherung eines Schienenfahrzeugs für den Straßenverkehrsteilnehmer erkennbar

Abb. 13.7 Beispiel für Entwässerungsanlagen



wird, kommen zwei unterschiedliche Lösungen zur Anwendung:

- nichttechnische Sicherung (Abschn. 13.4.1.2),
- technische Sicherung (Abschn. 13.4.1.3).

Diese Unterteilung richtet sich nach dem Vorhandensein bzw. Nichtvorhandensein technischer Einrichtungen am Bahnübergang.

Welche der beiden Lösungen zum Einsatz kommt, richtet sich nach den Eigenschaften der Eisenbahnstrecke und der Straße. Für öffentliche Eisenbahnen sind dabei gemäß EBO folgende Kriterien maßgebend:

- bahnsseitig:
 - Status der Strecke als Haupt- oder Nebenbahn,
 - Anzahl der Gleise (ein- oder mehrgleisiger Bahnübergang),
- straßenseitig:
 - Art des Weges (z. B. Fuß-, Rad-, Feld-, Waldweg oder Straße),
 - Verkehrsstärke.

Die Einteilung der Straßenverkehrsstärke richtet sich ausschließlich nach der Anzahl der Kraftfahrzeuge (Tab. 13.2); Fußgänger und Radfahrer

Tab. 13.2 Einteilung der Verkehrsstärke nach EBO

| schwacher Verkehr | mäßiger Verkehr | starker Verkehr |
|-------------------|---------------------------|-------------------|
| bis 100 Kfz/Tag | über 100 bis 2500 Kfz/Tag | über 2500 Kfz/Tag |

werden bei der Einteilung bislang nicht berücksichtigt.

Konkrete Einsatzbedingungen für die unterschiedlichen Arten der technischen und nicht-technischen Sicherung werden in Abschn. 13.4.2 und 13.4.3 behandelt.

Für nichtöffentliche Eisenbahnen gelten in den einzelnen Bundesländern unterschiedliche Vorgaben, die von einer Übernahme der Einsatzkriterien der öffentlichen Eisenbahnen bis hin zu einer grundsätzlichen Festlegung der Sicherungsart durch die Aufsichtsbehörden reichen.

Grundsätzlich stellen die Einsatzkriterien in den Verordnungen und Regelwerken nur Mindestforderungen dar, über die je nach örtlichen Verhältnissen hinausgegangen werden muss. Dabei sind stets Einflussfaktoren im näheren und weiteren Umfeld des Bahnübergangs zu beachten

(Beispiele: Erkennbarkeit, Nähe zu anderen Verkehrsanlagen, Umfang des Fußgänger- und Radverkehrs, Lage auf Schulwegen).

13.4.1.2 Nichttechnische Sicherung

Die Straßenverkehrsteilnehmer müssen hier durch Sehen und Hören unmittelbar prüfen, ob die Eisenbahnstrecke gefahrlos überquert werden kann. Am Bahnübergang gibt es keine technischen Einrichtungen, die sie vor Schienenfahrzeugen warnen. Man spricht deshalb von nicht-technisch gesicherten Bahnübergängen.

Die Sicherheit beruht hier vor allem auf dem richtigen Verhalten der Straßenverkehrsteilnehmer, hängt jedoch auch von der regelkonformen Gestaltung des Bahnübergangs ab.

Auch wenn an solchen Bahnübergängen keine technischen Einrichtungen vorhanden sind, handelt es sich nicht um „ungesicherte“ Bahnübergänge. Sie werden durch die Übersicht auf die Bahnstrecke und/oder durch akustische Signale der Schienenfahrzeuge gesichert.

Eine Sonderstellung nimmt die sog. Postensicherung durch Bahnmitarbeiter ein. Sie ist zwar nichttechnisch, die Straßenverkehrsteilnehmer werden jedoch durch Bahnmitarbeiter aktiv gewarnt (s. Abschn. 13.4.2.5).

13.4.1.3 Technische Sicherung

Durch eine technische Einrichtung werden die Straßenverkehrsteilnehmer von der Annäherung eines Schienenfahrzeugs mittelbar in Kenntnis gesetzt. Dafür kommen optische Signale oder physische Barrieren zum Einsatz. In diesem Fall spricht man von technisch gesicherten Bahnübergängen.

Die Sicherheit hängt hier sowohl vom fehlerfreien Funktionieren der technischen Anlagen als auch von deren Beachtung durch die Straßenverkehrsteilnehmer ab. Letztere wird wiederum von der Gestaltung des Bahnübergangsbereichs beeinflusst.

13.4.1.4 Fahrdynamische Anforderungen

Jeder Bahnübergang muss einen wesentlichen fahrdynamischen Grundsatz erfüllen, unabhän-

gig von der Sicherung auf technischem oder nichttechnischem Wege:

Der Straßenverkehrsteilnehmer muss die Annäherung eines Schienenfahrzeugs so zeitig wahrnehmen können, dass er gefahrlos vor dem Übergang anhalten kann.

Befindet er sich zum Zeitpunkt der Wahrnehmung bereits zu nahe am Bahnübergang um anzuhalten, muss er ihn noch gefahrlos überqueren können.

Dieses Grundprinzip – rechtzeitiges Anhalten oder gefahrloses Räumen – schlägt sich sowohl in den Sichtflächenberechnungen bei der nicht-technischen Sicherung als auch in den Berechnungen der zeitlichen Abläufe bei der technischen Sicherung nieder.

Eine zentrale Rolle spielt dabei der Entscheidungspunkt vor dem Bahnübergang, an dem sich der Straßenverkehrsteilnehmer für Anhalten oder Überqueren entschieden haben muss. Aus der für das Überqueren benötigten Räumzeit lässt sich dann errechnen, wann das Schienenfahrzeug frühestens am Bahnübergang eintreffen darf (s. hierzu Abschn. 13.4.2.6 und 13.4.3.8).

13.4.2 Nichttechnische Sicherung

13.4.2.1 Arten und Einsatzkriterien

Die nichttechnische Sicherung von Bahnübergängen unterscheidet sich nach der EBO in drei Arten:

- Übersicht auf die Bahnstrecke (Abschn. 13.4.2.2),
 - hörbare Signale der Schienenfahrzeuge (Abschn. 13.4.2.3),
 - Übersicht auf die Bahnstrecke in Verbindung mit hörbaren Signalen der Schienenfahrzeuge.
- Ergänzend können bei nichttechnischer Sicherung auch Langsamfahrstellen auf der Eisenbahnstrecke sowie Umlaufsperrern auf Fuß- und Radwegen erforderlich werden (Abschn. 13.4.2.4).

Auch die Postensicherung durch Bahnmitarbeiter (Abschn. 13.4.2.5) ist ihrem Charakter nach der nichttechnischen Sicherung zuzuordnen.

Die Straßenverkehrsteilnehmer müssen sich nichttechnisch gesicherten Bahnübergängen mit größter Vorsicht und Aufmerksamkeit nähern.

Tab. 13.3 Mindestforderungen der EBO beim Einsatz nichttechnischer Sicherungsarten

| Eigenschaften der Kreuzungspartner | Hauptbahn | Nebenbahn, mehrgleisig | Nebenbahn, eingleisig |
|---|-----------------|------------------------|--|
| Straße, starker Verkehr | Unzulässig | Unzulässig | unzulässig |
| Straße, mäßiger Verkehr | Unzulässig | Unzulässig | Ü+P, mit Genehmigung: P+Lf (20 km/h) |
| Feldweg oder Waldweg, mäßiger Verkehr | Unzulässig | Unzulässig | Ü+P, mit Genehmigung: P+Lf (60 km/h) |
| Straße, schwacher Verkehr | Unzulässig | Ü | Ü, bei fehlender Sicht: P+Lf (20 km/h) |
| Feldweg oder Waldweg, schwacher Verkehr | Unzulässig | Ü | Ü, bei fehlender Sicht: P+Lf (60 km/h) |
| Fußweg oder Radweg | Ü+U oder P+U | Ü oder P | Ü oder P |

Ü Übersicht auf die Bahnstrecke, P hörbare Signale der Schienenfahrzeuge, Lf Langsamfahrstelle für die Schienenfahrzeuge, U Umlaufsperr

Sie müssen die Eisenbahnstrecke in beide Richtungen beobachten, auf Pfeifsignale achten und bei Annäherung von Schienenfahrzeugen vor dem Andreaskreuz warten.

Da das richtige Verhalten der Straßenverkehrsteilnehmer hier den entscheidenden Einfluss auf die Sicherheit hat, darf die nichttechnische Sicherung nur unter bestimmten Bedingungen eingesetzt werden. Die Mindestforderungen für öffentliche Eisenbahnen sind in Tab. 13.3 enthalten. Daraus ist ersichtlich, dass die Anforderungen an die Sicherungsmaßnahmen mit der Verkehrsstärke auf der Straße und der Bedeutung von Straße und Eisenbahnstrecke steigen.

Für Privatwegübergänge gelten spezielle Regeln, die aus Vereinfachungsgründen nicht in Tab. 13.3 dargestellt sind. Dabei sind unter anderem Sicherungsmaßnahmen mit Sprechverbindungen zum zuständigen Fahrdienstleiter sowie von den Straßenverkehrsteilnehmern selbst zu schließende Abschlüsse zulässig.

Die genannten Einsatzkriterien werden durch die anerkannten Regeln der Technik weiter präzisiert und teilweise verschärft (vgl. Abschn. 13.2.3.5). So sind z. B. Umlaufsperr gemäß DB-Richtlinie 815 nur bis zu Geschwindigkeiten der Schienenfahrzeuge von 120 km/h auf eingleisigen Strecken und 80 km/h auf zweigleisigen Strecken zulässig.

13.4.2.2 Übersicht auf die Bahnstrecke Grundprinzip

Die Sichtverhältnisse müssen so beschaffen sein, dass der in Abschn. 13.4.1.4 erläuterte fahrdynamische Grundsatz erfüllt wird, also ein rechtzeitiges Anhalten bzw. gefahrloses Räumen durch jeden Straßenverkehrsteilnehmer möglich ist. Dabei ist zu berücksichtigen, dass es schnelle und langsame Straßenfahrzeuge gibt. Dieses Prinzip soll anhand Abb. 13.8 erläutert werden.

Um die benötigten Sichtflächen zu ermitteln, betrachtet man zunächst den Anhalteweg des schnellsten Straßenfahrzeugs. In dieser Entfernung vor dem Bahnübergang muss sich der Fahrzeugführer spätestens zum Anhalten entschließen, also ein sich näherndes Schienenfahrzeug gesehen haben, um noch gefahrlos vor dem Bahnübergang zum Stillstand zu kommen. Deshalb bezeichnet man diesen Punkt als Sehpunkt.

Konnte er bis zu dieser Stelle kein Schienenfahrzeug erkennen, muss er den Bahnübergang gefahrlos mit seiner gesamten Länge überqueren können. Über die hierfür benötigte Zeit und die Streckengeschwindigkeit der Bahn ergibt sich die erforderliche Annäherungsstrecke auf dem Gleis. An deren Beginn muss das Schienenfahrzeug für den Straßenverkehrsteilnehmer sichtbar sein, daher wird diese Stelle als Sichtpunkt bezeichnet. Verbindet man beide Punkte, ergibt sich

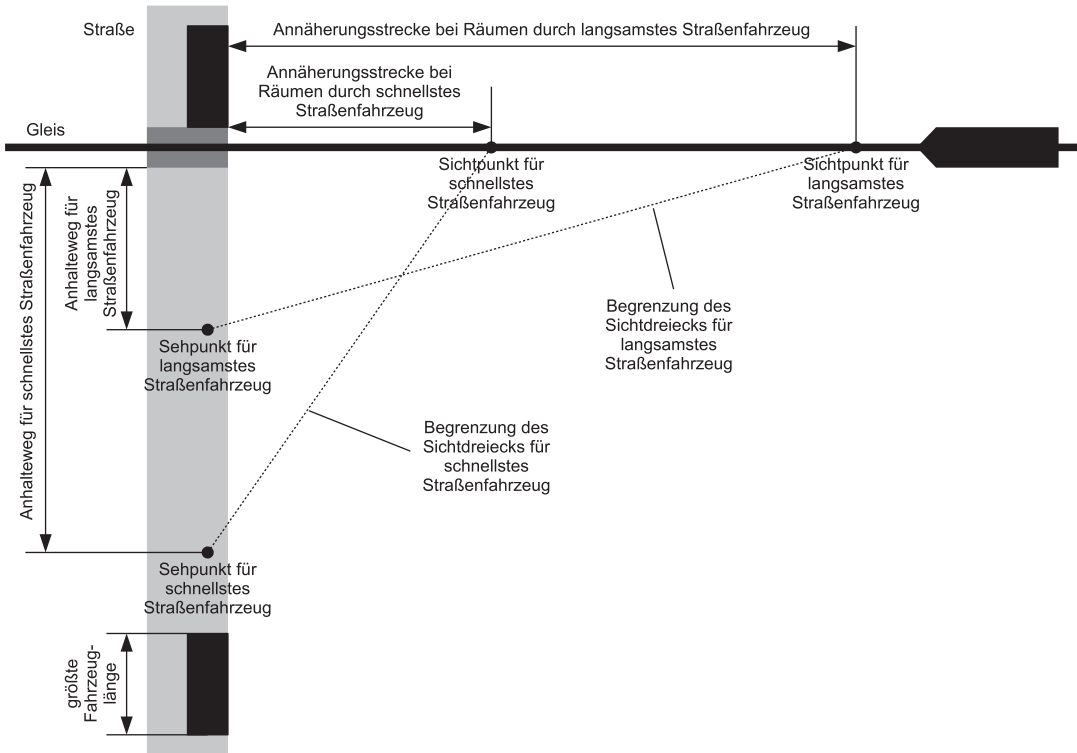


Abb. 13.8 Bildung der Sichtflächen

ein freizuhaltendes Sichtdreieck mit dem langen Schenkel entlang der Straße und dem kurzen Schenkel entlang der Bahn.

Die gleiche Betrachtung erfolgt nun für das langsamste Straßenfahrzeug. Dessen Anhalteweg ist deutlich kürzer, weshalb der Sehpunkt einen geringeren Abstand zum Bahnübergang hat. Dafür benötigt dieses Fahrzeug jedoch wesentlich länger zum Überqueren des Bahnübergangs. Deshalb wird die erforderliche Annäherungsstrecke auf dem Gleis größer und beträgt meist mehrere hundert Meter. Der Sichtpunkt liegt somit deutlich weiter vom Bahnübergang entfernt. Durch Verbindung des Sehpunktes mit dem Sichtpunkt ergibt sich wieder ein Sichtdreieck, diesmal mit dem kurzen Schenkel entlang der Straße und dem langen Schenkel entlang der Bahn.

Legt man die beiden Sichtdreiecke für das schnellste und das langsamste Straßenfahrzeug übereinander, erhält man die insgesamt benötig-

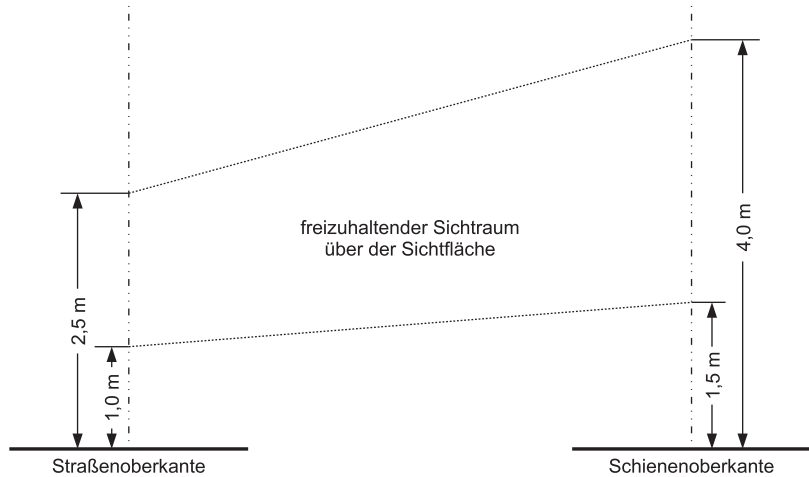
te Sichtfläche. Fußgänger sind ggf. gesondert zu berücksichtigen.

Anforderungen an Sichtflächen

Innerhalb der Sichtflächen dürfen sich keine Sichthindernisse befinden. Einzelne kleinere Objekte führen jedoch nicht zwangsläufig zum Verlust der Sicht, sofern Schienenfahrzeuge nicht frontal oder über eine längere Strecke verdeckt werden. Dies ist jeweils im Einzelfall örtlich zu entscheiden.

Die räumlichen Anforderungen an Sichtflächen müssen einerseits die unterschiedlichen Augenhöhen der Fahrer und andererseits die Maße der Schienenfahrzeuge berücksichtigen: Fahrer von Pkw sitzen wesentlich niedriger als Fahrer von Lkw, demgegenüber ist ein flacher Güterwagen deutlich niedriger als eine Lokomotive. Außerdem müssen die Schienenfahrzeuge auch nachts anhand ihres leuchtenden Spitzensignals wahrgenommen werden können. Deshalb sind

Abb. 13.9 Sichtraum über Sichtflächen



bestimmte Höhenmaße vorgeschrieben, in deren Bereich die Sicht freizuhalten ist (Abb. 13.9).

Die Sichtflächen sind unmittelbar sicherheitsrelevant. Sie müssen mehrmals im Jahr überprüft werden; nach dem Regelwerk der Eisenbahnen des Bundes dreimal jährlich. Werden dabei Mängel festgestellt, sind ggf. Sofortmaßnahmen zu ergreifen.

Typische Hindernisse in Sichtflächen sind:

- Kulturpflanzen auf landwirtschaftlich genutzten Flächen,
- Bäume und Sträucher,
- Holzstapel,
- Baustoffablagerungen (vor allem bei Baustellen oder Bauhöfen),
- Hecken, Zäune, Mauern (insbesondere auf privaten Grundstücken),
- Werbetafeln oder andere Werbeeinrichtungen,
- abgestellte Straßenfahrzeuge,
- abgestellte Schienenfahrzeuge (insbesondere in Bahnhöfen).

Besondere örtliche Situationen

Verlaufen Straße und Eisenbahnstrecke parallel oder sind die Kreuzungen spitzwinklig, sollten die Verhältnisse besonders sorgfältig betrachtet werden. Hier ist es für die Straßenverkehrsteilnehmer schwierig, die Eisenbahnstrecke zu überblicken. Problematisch sind solche Situationen, weil die zu beobachtende Eisenbahnstrecke dann erheblich außerhalb des normalen Blickfeldes der Kraftfahrzeugführer liegen kann. Für ältere

Straßenverkehrsteilnehmer sind die dann erforderlichen Kopfbewegungen oft aus körperlichen Gründen erschwert. Fahrer von Lastkraftwagen haben nach hinten rechts ein durch die Fahrerkabine baulich eingeschränktes Sichtfeld, sodass es objektiv unmöglich sein kann, Schienenfahrzeuge aus dieser Richtung zu sehen.

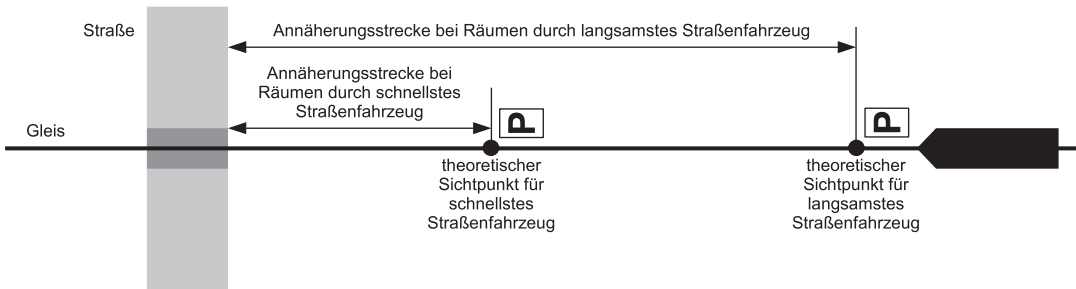
Die Sicht und damit die Sicherheit lassen sich verbessern, wenn der Straßenverlauf vor dem Bahnübergang begradigt wird. Rechtwinklige Kreuzungen sind für die Übersicht auf die Bahnstrecke am besten geeignet, da sie gleichmäßige Sichtverhältnisse nach links und rechts ermöglichen. Für bestehende Bahnübergänge mit ungünstigem Straßenverlauf sollte jeweils unter Berücksichtigung der örtlichen Verhältnisse entschieden werden, ob und welche Maßnahmen notwendig sind. Ausführlicher wird auf Auswirkungen örtlicher Besonderheiten und auf mögliche Lösungen in [19] eingegangen.

Maßnahmen bei fehlender Sicht

Bei fehlender Sicht ist zu unterscheiden, ob es sich um eine erstmalige Ermittlung benötigter Sichtflächen im Rahmen von Planungsprozessen handelt oder ob Hindernisse in bestehenden und bereits planfestgestellten Sichtflächen festgestellt werden. Im letztgenannten Fall ist eine zügige Beseitigung der Sichthindernisse anzustreben, wofür auch die rechtlichen Voraussetzungen bestehen. Die nachfolgenden Ausführungen be-

Tab. 13.4 Geschwindigkeitsbeschränkung bei fehlender Sicht

| Sichthindernis im Sichtdreieck für ... | Geschwindigkeitsbeschränkung auf ... |
|---|--------------------------------------|
| Langsamstes Straßenfahrzeug | Eisenbahnstrecke |
| Schnellstes Straßenfahrzeug | Straße |
| Langsamstes und schnellstes Straßenfahrzeug | Eisenbahnstrecke und Straße |

**Abb. 13.10** Standorte der Pfeiftablets

ziehen sich dann nur auf die erforderlichen Sofortmaßnahmen zur Abwehr von Gefahren.

Oftmals kann die Sicht für die gewünschten Höchstgeschwindigkeiten jedoch von vornherein nicht hergestellt werden, insbesondere wenn es sich bei den Sichthindernissen um Gebäude handelt. Sofern keine technische Sicherung errichtet werden kann oder soll, ist eine Lösung nur durch Geschwindigkeitsbeschränkungen möglich.

Ob dabei die Geschwindigkeit des Straßenverkehrs oder des Bahnverkehrs herabgesetzt werden muss, richtet sich nach der Lage des Sichthindernisses (Tab. 13.4). Die letztlich zu wählende Kombination der Geschwindigkeiten ist in einem iterativen Prozess zu ermitteln.

13.4.2.3 Hörbare Signale der Schienenfahrzeuge

Die Sicherung durch hörbare Signale der Schienenfahrzeuge ist nach EBO

- in Verbindung mit der Übersicht auf die Bahnstrecke erforderlich, wenn mäßiger Verkehr auf der Straße vorliegt;
- als alleinige Sicherung zulässig, wenn
 - schwacher Verkehr auf der Straße vorliegt und die Übersicht fehlt, oder
 - es sich um einen reinen Fuß- oder Radweg handelt.

Ausgenommen an Fuß- und Radwegen muss bei dieser Sicherungsart die Geschwindigkeit der Schienenfahrzeuge am Bahnübergang durch eine Langsamfahrstelle auf 20 km/h beschränkt werden (bei Feld- und Waldwegen auf 60 km/h).

Die Sicherungsart beruht darauf, dass die Triebfahrzeugführer in bestimmten Entfernungen vor dem Bahnübergang Pfeifsignale abgeben, die von den Straßenverkehrsteilnehmern wahrgenommen werden können. Zu diesem Zweck werden an den betreffenden Stellen neben dem Gleis Pfeiftablets aufgestellt. Die Abstände entsprechen den Annäherungsstrecken, die sich bei einer Sicherung durch Übersicht ergeben würden, da das Prinzip der Zeit-Weg-Abläufe gleich ist (Abb. 13.10).

Eine ausführliche Darstellung einschließlich rechtlicher Bewertung dieser Sicherungsart enthält [20].

13.4.2.4 Umlaufsperrn

Umlaufsperrn sind Sicherungseinrichtungen an Bahnübergängen auf Fuß- und Radwegen (Abb. 13.11). Mit diesen Einrichtungen soll eine höhere Aufmerksamkeit der Benutzer erreicht werden, um Schienenfahrzeuge besser wahrzunehmen. Außerdem sind Umlaufsperrn ein Mittel zum Ausschluss von Kraftfahrzeugen.

Abb. 13.11 Ausführungsbeispiel einer Umlaufsperrre (bisherige Bauform)



Gemäß EBO müssen nichttechnisch gesicherte Bahnübergänge von Fuß- und Radwegen auf Hauptbahnen mit Umlaufsperrren versehen werden (vgl. Tab. 13.3). Aber auch auf Nebenbahnen dürfen Umlaufsperrren ergänzend eingesetzt werden.

Gestaltungsvorgaben enthalten die anerkannten Regeln der Technik. Bekannte Probleme bei der Benutzung mit Fahrrädern (insbesondere mit Anhängern), Elektromobilen und ähnlichen Hilfsmitteln sollten allerdings berücksichtigt werden. Für eine weiterführende Problemdarstellung einschließlich Empfehlungen zur künftigen Gestaltung wird auf [21] verwiesen.

13.4.2.5 Postensicherung

Postensicherung ist die Sicherung eines Bahnübergangs durch Bahnmitarbeiter ohne Verwendung einer herkömmlichen technischen Bahnübergangssicherungsanlage (Abb. 13.12). Sie wird in folgenden Fällen angewendet:

- als ständige Sicherungsmaßnahme bei einfachen Betriebsverhältnissen (z. B. seltener Zugverkehr und geringe Geschwindigkeiten auf der Eisenbahnstrecke),
- als vorübergehende Sicherungsmaßnahme
 - bei Ausfall technisch gesicherter Bahnübergänge,



Abb. 13.12 Ausführungsbeispiel einer Postensicherung

- bei vorübergehend starkem Verkehr an nichttechnisch gesicherten Bahnübergängen (z. B. Umleitungsverkehr),
- bei Bauzuständen (z. B. an vorübergehend angelegten Baustraßen).

Der Bahnübergangsposten kann je nach Anwendungsfall vor Ort stationiert sein oder mit dem Zug mitfahren. Bei einer Einbindung der örtlich stationierten Bahnübergangsposten in das Zugmeldeverfahren dürfen die Schienenfahrzeuge den Bahnübergang mit unverminderter Geschwindigkeit befahren. Fährt der Bahnübergangsposten hingegen im Schienenfahrzeug mit, muss dieses zum Aussteigen zunächst vor dem Bahnübergang warten und darf erst nach Anhal-

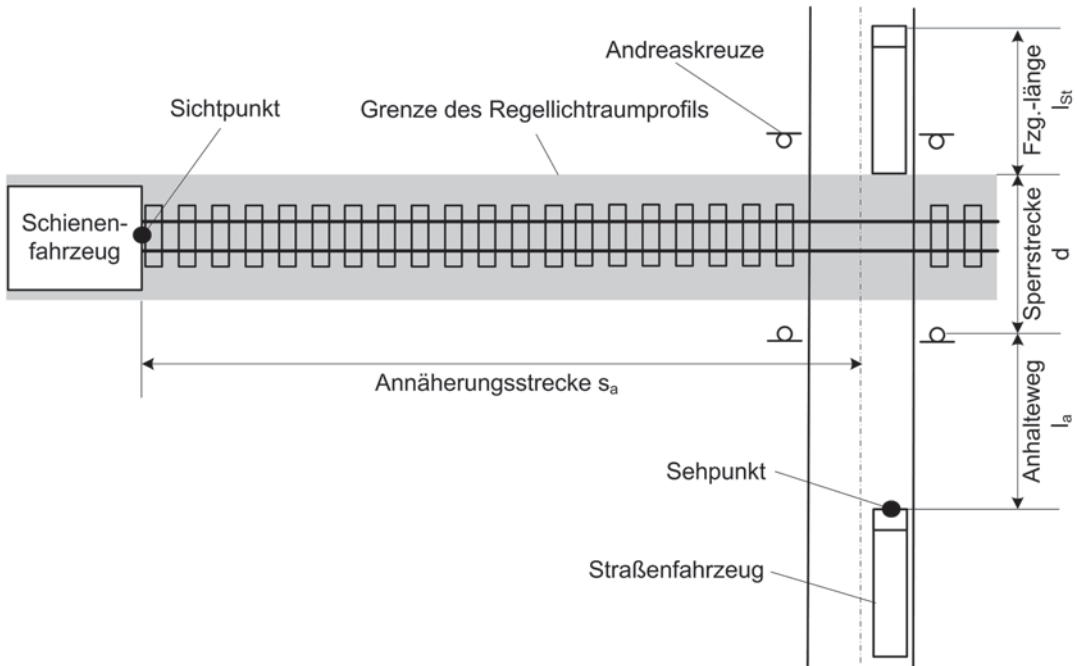


Abb. 13.13 Begriffe zur Sichtflächenberechnung

ten des Straßenverkehrs weiterfahren. Dazu dienen weiß-rot-weiße Signalfahnen oder Absperrbänder.

Für Strecken mit sehr geringem Schienenverkehr kann die Postensicherung durch das Zugpersonal ein Mittel sein, um auf eine technische Sicherung oder auf die Freihaltung von Sichtflächen zu verzichten. Den geringen Kosten für diese Maßnahme und der schnellen Umsetzbarkeit stehen allerdings die Fahrzeitverlängerung, mögliche Fehlhandlungen des Postens sowie die Gefährdung des Postens durch den Straßenverkehr gegenüber.

Sofern eine Postensicherung mit vor Ort stationiertem Personal über einen längeren Zeitraum eingesetzt wird, kann dies auch als Grenzfall eines wärterbedienten technisch gesicherten Bahnübergangs betrachtet werden, da die gleichen Prinzipien gelten (vgl. Abschn. 13.4.3.4). Mittlerweile stehen für Bahnübergangsposten technische Hilfsmittel zur Verfügung, deren Erscheinungsbild für den Straßenverkehrsteilnehmer einer herkömmlichen Bahnübergangssicherungsanlage entspricht [22].

Bei Ausfall technisch gesicherter Bahnübergänge erlaubt die EBO ein besonderes Verfahren, bei dem auf den Einsatz eines Postens verzichtet werden darf, wenn der Zug nur mit dem Triebfahrzeugführer besetzt ist. Hier darf der Bahnübergang befahren werden, nachdem das Schienenfahrzeug angehalten hat und Pfeifsignale abgegeben wurden (vgl. Abschn. 13.4.3.7).

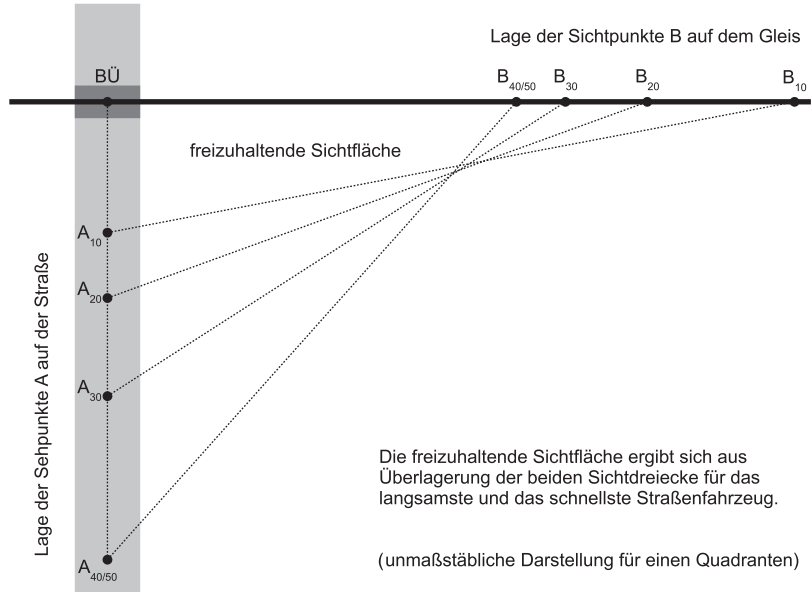
13.4.2.6 Berechnungsverfahren

Für die Ermittlung der Sichtflächen bzw. der Pfeiftafelstandorte werden die in Abb. 13.13 dargestellten Begriffe benötigt. Ziel der Berechnungen sind die Sehpunkte auf der Straße und die Sichtpunkte auf der Eisenbahnstrecke.

Die eigentliche Berechnung besteht aus vier Schritten, die sowohl für das schnellste als auch für das langsamste Straßenfahrzeug und ggf. auch für Fußgänger zu wiederholen sind:

1. Berechnung des Anhalteweges des Straßenfahrzeugs aus Geschwindigkeit, Bremsverzögerung und Reaktionszeit (Ergebnis: Sehpunkt),

Abb. 13.14 Sichtflächen für unterschiedliche Geschwindigkeiten



2. Berechnung des Zeitbedarfs des Straßenfahrzeugs für das Durchfahren der Strecke vom Sehpunkt bis zum vollständigen Verlassen des Bahnübergangs (Ergebnis: Räumzeit),
3. Berechnung der Mindestzeit bis zur Ankunft des Schienenfahrzeugs aus der Räumzeit zusätzlich eines Sicherheitszuschlags (Ergebnis: Annäherungszeit),
4. Berechnung der Annäherungsstrecken des Schienenfahrzeugs aus dessen Annäherungszeit und höchster zulässiger Geschwindigkeit (Ergebnis: Sichtpunkt).

Bei den Berechnungen werden für die Geschwindigkeiten auf der Straße i. d. R. 10 km/h für das langsamste und 50 km/h für das schnellste Straßenfahrzeug angesetzt. Falls auf der Straße eine geringere Geschwindigkeit zugelassen ist (z. B. in einer 30-km/h-Zone), wird diese als Obergrenze verwendet. Wie aus Abb. 13.14 ersichtlich ist, sind die Geschwindigkeiten zwischen den jeweiligen beiden Grenzwerten automatisch berücksichtigt.

Für die einzelnen Geschwindigkeitsstufen auf der Straße werden in den anerkannten Regeln der Technik unterschiedliche Annahmen für Bremsverzögerungen und Reaktionszeiten getroffen. Dabei wird davon ausgegangen, dass schnellere

Fahrzeuge auch stärkere Bremsen haben, jedoch bei höheren Geschwindigkeiten eine längere Reaktionszeit vorliegt. Dadurch ist die Verteilung der Sehpunkte auf der Straße ungleichmäßig; so ergibt sich auch die Zusammenlegung der Seh- und Sichtpunkte für die Geschwindigkeiten 40 und 50 km/h.

Auch Fußgänger sind bei der Berechnung der Sichtflächen zu berücksichtigen. Nach den anerkannten Regeln der Technik sind dabei Gehgeschwindigkeiten zwischen 1,2 und 1,5 m/s anzusetzen, in besonderen Fällen (Nähe zu Seniorenheimen, Kindergärten usw.) nur 1,0 m/s. Aus Gründen der Barrierefreiheit und vor dem Hintergrund der demografischen Entwicklung empfiehlt es sich jedoch, künftig generell einen Wert von 1,0 m/s zu verwenden. Meist ergeben sich für die Fußgänger aufgrund des nicht benötigten Anhalteweges geringere Räumzeiten als für das langsamste und längste Straßenfahrzeug, sodass die erforderliche Sicht ohnehin gewährleistet ist. Eine gesonderte Berechnung wird daher meist nur bei reinen Fußwegen erforderlich.

Zur praktischen Anwendung enthalten die anerkannten Regeln der Technik umfangreiche Tabellen und elektronische Berechnungshilfen.

13.4.3 Technische Sicherung

13.4.3.1 Allgemeines und Unterscheidungsmerkmale

An vielen Bahnübergängen sind die Voraussetzungen für eine nichttechnische Sicherung nicht erfüllt. Vor allem die Verkehrsstärke auf der Straße, aber auch die Art der Bahn und des Weges, die Gleisanzahl, fehlende Sichtflächen oder andere örtliche Verhältnisse können dazu führen, dass eine technische Sicherung erforderlich wird.

Aufgrund der hohen Komplexität technisch gesicherter Bahnübergänge sind mehrere Unterscheidungskriterien zu betrachten, auf die in den nachfolgenden Abschnitten eingegangen wird. Die technische Sicherung lässt sich unterscheiden nach:

- Art der Sicherung (Abschn. 13.4.3.2),
- Art der Einschaltung (Abschn. 13.4.3.3),
- Art der Überwachung (Abschn. 13.4.3.4),
- Art der Gefahrenraumfreimeldung (Abschn. 13.4.3.5).

Unter Sicherungsart sind die Ausprägungen der technischen Einrichtungen zu verstehen, mit denen die Straßenverkehrsteilnehmer von der Annäherung eines Schienenfahrzeugs in Kenntnis gesetzt werden – also das Erscheinungsbild aus Sicht der Straße. Die Art der Einschaltung beschreibt, wodurch bahnseitig die technische Sicherung bei Annäherung eines Schienenfahrzeugs in Betrieb gesetzt wird. Mit der Überwachungsart ist die Variante der bahnseitigen Prüfung und Auswertung des Funktionszustandes gemeint, um Ausfälle oder Störungen der Bahnübergangssicherungsanlage zu offenbaren und darauf reagieren zu können. Als Art der Gefahrenraumfreimeldung wird die Lösung umschrieben, die in bestimmten vorgeschriebenen Fällen bahnseitig das Freisein des Bahnübergangsbereichs prüft, damit kein Straßenverkehrsteilnehmer eingeschlossen wird.

13.4.3.2 Sicherung für den Straßenverkehr

Arten und Einsatzkriterien

Für öffentliche Eisenbahnen unterscheidet die EBO vier Arten der technischen Bahnübergangssicherung:

- Lichtzeichen (Lz) oder Blinklichter (Bli),
- Lichtzeichen mit Halbschranken (LzH) oder Blinklichter mit Halbschranken (BliH),
- Lichtzeichen mit Schranken (LzHH oder LzV),
- Schranken (HH oder V).

Die Formulierungen verdeutlichen, dass optische Straßensignale (Lichtzeichen oder Blinklichter) als primäre Sicherungsmittel angesehen werden, die durch physische Barrieren (Halbschranken oder Schranken) ergänzt sein können.

Blinklichter sollen im Interesse eines einheitlichen Erscheinungsbildes nicht mehr neu angewendet werden und sind deshalb nur an bestehenden Bahnübergängen anzutreffen. Auch eine alleinige Sicherung durch Schranken (also ohne Lichtzeichen oder Blinklichter) kommt fast ausschließlich bei Bestandsanlagen vor, wenn die Bedienung durch einen Wärter erfolgt.

Die EBO enthält nur wenige Einsatzkriterien für die Wahl der technischen Sicherung. Daher müssen für eine differenzierte Betrachtung auch die anerkannten Regeln der Technik herangezogen werden, die sich im Detail zwischen Eisenbahnen des Bundes und nichtbundeseigenen Eisenbahnen unterscheiden (Tab. 13.5).

Regelungen für Blinklichter wurden aus Vereinfachungsgründen nicht in die Tabelle aufgenommen. Sie gelten außerdem nur für Bestandsanlagen. An diesen sind unter bestimmten Voraussetzungen auch auf mehrgleisigen Strecken Blinklichter allein zulässig, wenn eine zusätzliche Leuchtschrift „2 Züge“ auf die Sperrung für einen weiteren Zug hinweist. Neu sind solche Anlagen nicht mehr zulässig.

Lichtzeichen/Blinklichter

Bis in die 1980-er Jahre kamen in Deutschland als optische Straßensignale fast ausschließlich Blinklichter zum Einsatz. Die Deutsche Bundesbahn sowie die nichtbundeseigenen Eisenbahnen ordneten diese gemäß EBO in einer Kontrastblende über dem Andreaskreuz an. Viele dieser Anlagen bestehen noch und genießen Bestandschutz.

Bei der Deutschen Reichsbahn wurden die Blinklichter direkt im Andreaskreuz montiert. Diese Anlagen entsprechen nicht der heutigen

Tab. 13.5 Mindestforderungen der Regelwerke beim Einsatz technischer Sicherungsarten

| Eigenschaften der Kreuzungspartner | Haupt- oder Nebenbahn, mehrgleisig | Hauptbahn eingleisig | Nebenbahn, eingleisig, Eisenbahn des Bundes | Nebenbahn, eingleisig, nichtbundeseigene Bahn |
|------------------------------------|------------------------------------|----------------------|---|---|
| Starker Verkehr | LzH | LzH | LzH | Lz |
| Mäßiger Verkehr | LzH | LzH | Lz ^a | Lz |
| Schwacher Verkehr | LzH | Lz ^b | Lz ^b | Lz |

^a Nur bei höchstens 40 Zügen/Tag sowie geringem Fußgängerverkehr (sonst LzH notwendig)

^b nur bei höchstens 40 Zügen/Tag, höchstens 120 km/h Streckengeschwindigkeit sowie nur land- und forstwirtschaftlichem Verkehr oder Anliegerverkehr (sonst LzH notwendig)

EBO und dürfen deshalb nur noch befristet mit einer Ausnahmegenehmigung betrieben werden.

Im Gegensatz zu den meisten anderen Ländern finden in Deutschland heute Lichtzeichen mit der Farbfolge Gelb-Rot Anwendung. Sie sind an die Signalisierung im sonstigen Straßenverkehr angelehnt. Der einzige spezifische Vorteil gegenüber Blinklichtern besteht nach einer Studie aus dem Jahr 1980 in einem besseren Entscheidungsverhalten während der Gelbphase, da das bevorstehende Rotlicht für die Fahrer wie an einem Straßenknotenpunkt angekündigt wird [23].

Beim alleinigen Einsatz optischer Signale ist deren gute Wahrnehmbarkeit entscheidend für die Sicherheit. Die Lichtzeichen bzw. Blinklichter müssen von allen Zufahrten (also auch aus untergeordneten Seitenwegen) erkennbar sein, wofür ggf. eigene Signalgeber notwendig werden. Während die anerkannten Regeln der Technik bislang nur eine Erkennbarkeit der Straßensignale im Anhalteweg der Straßenfahrzeuge fordern, empfiehlt es sich, über diese Mindestforderung hinauszugehen. Forschungsergebnisse aus der Straßenverkehrstechnik zeigen, dass sich Kraftfahrzeugführer etwa 8 s bis 10 s voraus orientieren [24]. Über die jeweilige Geschwindigkeit lässt sich hieraus die anzustrebende Entfernung ermitteln, aus der die Lichtzeichen bzw. Blinklichter erkennbar sein sollten.

Lichtzeichen/Blinklichter mit Halbschranken

In den meisten Fällen müssen oder sollten die Lichtzeichen oder Blinklichter durch Halbschranken ergänzt werden. Die physische Barriere erhöht die Sperrwirkung. Dies ist z. B. an mehrgleisigen Strecken wichtig, um einem fahrlässigen Verhalten von Straßenverkehrsteilneh-

mern nach der Vorbeifahrt eines Zuges vorzubeugen, da sich ein zweiter Zug aus der Gegenrichtung nähern kann.

Halbschranken sind Zusatzeinrichtungen zu den Lichtzeichen oder Blinklichtern und werden ausschließlich in Kombination mit ihnen angewendet. Die Sperrung beschränkt sich dabei auf die Zufahrtsseite der Straße und muss so beschaffen sein, dass der Bahnübergang jederzeit verlassen werden kann. Dadurch können keine Fahrzeuge eingeschlossen werden, weshalb – anders als bei Schranken – keine Freimeldung des Gefahrenraums notwendig ist (vgl. Abschn. 13.4.3.5).

Sind an Bahnübergängen mit Halbschranken Fuß- oder Radwege vorhanden, müssen diese in die Sicherung einbezogen werden. Hierfür gibt es spezielle Fußwegschranken (in Abb. 13.15 links). Je nach Abstand zwischen Fußweg und Straße kann hierfür in eine Richtung auch die Halbschranke der Straße mitgenutzt werden.

Die Wirkung von Halbschranken lässt sich durch straßenbauliche Maßnahmen erhöhen. Durch eine bauliche Trennung der Richtungsfahrbahnteile mittels Fahrbahnteilern (Mittelinseln) über eine ausreichende Länge vor dem Bahnübergang kann das Umfahren der Halbschranken weitgehend unterbunden werden.

Schranken

Die höchste Wirksamkeit der Bahnübergangssicherung erzielt man mit Schranken über die gesamte Straßenbreite. Damit wird ein Umfahren der Halbschranken unterbunden, das einen Teil der Zusammenpralle an Bahnübergängen verursacht. Je nach abzusperrender Breite können hierfür ein- oder doppelschlägige Schranken ver-

Abb. 13.15 Bahnübergang mit Halbschranken und Fußwegschranken



wendet werden, in letzterem Fall wird der Vollabschluss im Prinzip durch vier Halbschrankenbäume realisiert.

Beim Vollabschluss durch Schranken ist vor der Fahrt eines Schienenfahrzeugs zu prüfen, dass kein Straßenverkehrsteilnehmer eingeschlossen wurde (vgl. Abschn. 13.4.3.5). Dies wiederum bedingt, dass die Züge zum Zeitpunkt der Freiprüfung eine ausreichende Entfernung zum Bahnübergang haben, um ggf. noch angehalten werden zu können. Demzufolge muss die Sicherung wesentlich früher aktiviert werden.

Somit erhöht ein Vollabschluss zwar die Sicherheit, führt jedoch auch zu einer längeren Sperrzeit des Bahnübergangs, was die Wartezeiten für die Straßenverkehrsteilnehmer beträchtlich erhöht und die Leistungsfähigkeit der Straße senkt. Lange Wartezeiten können sich wiederum negativ auf das Verhalten nichtmotorisierter Straßenverkehrsteilnehmer auswirken.

Sofern die Straße vor dem Bahnübergang von der Bedienstelle nicht eingesehen werden kann oder es sich um eine vollautomatische Bahnübergangsanlage handelt, sind Schranken nur in Verbindung mit Lichtzeichen zulässig. Dadurch wird sichergestellt, dass keine Straßenverkehrsteilnehmer mit den sich schließenden Schranken kollidieren. Man spricht hierbei vom Abstimmen des Schließens auf den Straßenverkehr.

13.4.3.3 Einschaltung Arten und Einsatzkriterien

Um die technische Sicherung eines Bahnübergangs rechtzeitig einzuschalten, gibt es verschiedene Lösungen. Folgende Arten lassen sich unterscheiden:

- fahrzeugbewirkte Einschaltung,
- fahrstraßenbewirkte Einschaltung,
- bedienerbewirkte Einschaltung,
- Anrufschanke als Sonderfall.

Die Entscheidung richtet sich vor allem nach dem Standort des Bahnübergangs und den betrieblichen Randbedingungen, die in den nachfolgenden Abschnitten erläutert werden.

Fahrzeugbewirkte Einschaltung

Bahnübergänge auf der freien Strecke werden meist fahrzeugbewirkt eingeschaltet. Als technische Mittel verwendet man dabei Radsensoren, Schienenkontakte oder Fahrzeugsensoren (s. Abschn. 10.2.2). Dabei ist eine Richtungs-erkennung notwendig. Wird ein zum Bahnübergang fahrendes Fahrzeug erkannt, schaltet sich die technische Sicherung ein.

In welcher Entfernung vom Bahnübergang die Einschaltensensoren platziert werden, hängt von zahlreichen Randbedingungen ab. Hierzu gehören vor allem die Überwachungsart (s. Abschn. 13.4.3.4), die Höchstgeschwindigkeit der Schienenfahrzeuge und die Räumzeit des

Straßenverkehrs. In jedem Falle muss dabei der in Abschn. 13.4.1.4 erläuterte fahrdynamische Grundsatz erfüllt werden.

Fahrstraßenbewirkte Einschaltung

Befindet sich vor dem Bahnübergang ein Hauptsignal, kann der Bahnübergang nicht ohne Weiteres zugbewirkt eingeschaltet werden, denn bei einem Halt des Zuges vor dem Hauptsignal wäre der Bahnübergang unnötig gesperrt. Bei Gleisverzweigungen sind zudem verschiedene Fahrwege der Züge möglich, die bei der Einschaltung zu berücksichtigen sind.

Das Einschalten erfolgt in solchen Fällen über das Stellwerk mit dem Einstellen einer Fahrstraße, die den Bahnübergang berührt. Dementsprechend findet sich diese Einschaltart vor allem in Bahnhofsbereichen. Damit wird der Bahnübergang nur für die Fahrten eingeschaltet, die ihn tatsächlich benötigen (vgl. Abschn. 10.4.2.12). Je nach betrieblichen Anforderungen kann im Gleis ein Annäherungskontakt für eine zeitgerechte Einschaltung des Bahnübergangs angeordnet werden; der unmittelbare Einschaltbefehl kommt jedoch auch in diesem Fall vom Stellwerk.

Bedienerbewirkte Einschaltung

Auch die manuelle Einschaltung der technischen Sicherung ist möglich. Sinnvoll und möglich ist diese Lösung vor allem an Haltepunkten, wenn dort sämtliche Züge halten. Vor der Abfahrt schaltet das Zugpersonal den Bahnübergang z. B. durch Schlüsseltaster oder Infrarotsender ein. Dadurch bleiben die Sperrzeiten kurz und Reisende können den Übergang bis kurz vor der Abfahrt benutzen.

Auch die noch vereinzelt vorzufindenden klassischen Schrankenposten zählen zur bedienerbewirkten Einschaltung, da der Schließvorgang hier vom Schrankenwärter eingeleitet wird.

Sonderfall: Anrufschränke

Eine besondere Form der technischen Sicherung bilden die sog. Anrufschränken, die in der Grundstellung geschlossen sind. Nur bei Bedarf werden sie für den Straßenverkehr geöffnet. Dafür besteht eine Sprechverbindung mit dem zustän-

digen Fahrdienstleiter (s. hierzu Abschn. 17.5). Möchte ein Straßenverkehrsteilnehmer den Bahnübergang queren, betätigt er die Anforderungstaste. Daraufhin prüft der Fahrdienstleiter, ob sich Züge auf der Strecke befinden und öffnet dann die Schranken oder teilt dem Benutzer mit, dass er warten muss. Über die Verbindung wird auch das Verlassen des Bahnübergangs durch die Straßenfahrzeuge überwacht, indem der Fahrdienstleiter die Fahrgeräusche mithört sowie vor dem Schließen eine warnende Durchsage vornimmt.

Anrufschranken werden angewendet, wenn an einem Bahnübergang weniger Straßenverkehr als Schienenverkehr vorliegt, aber eine nichttechnische Sicherung nicht ausreicht. Neben weiteren, historisch bedingten Gründen für die Errichtung von Anrufschranken wird gegenüber einer in Grundstellung geöffneten Anlage die Zahl der Öffnungs- und Schließvorgänge minimiert, was den Verschleiß und damit den Instandhaltungsaufwand senkt.

Neue Anrufschranken in der beschriebenen Form werden nur in Ausnahmefällen errichtet. Es gibt jedoch Bestrebungen, die Anrufschranken zu automatisieren, sodass ihre Funktionen (Entgegennehmen der Anforderung, Prüfen der Voraussetzungen, Öffnen, Schließen, Gefahrenraumfreimeldung freimelden) komplett durch technische Einrichtungen übernommen werden. Ein Ansatz hierfür wird in [25] beschrieben.

13.4.3.4 Überwachung

Arten und Einsatzkriterien

Die Überwachung des Funktionszustandes technischer Bahnübergangssicherungsanlagen lässt sich in drei grundsätzliche Technologien mit mehreren Ausprägungen einteilen:

- Überwachung der Einschaltung auf technischem Wege:
 - Überwachungssignale (ÜS),
 - Hauptsignaldeckung (Hp),
- Überwachung der Einschaltbereitschaft auf technischem Wege:
 - Fernüberwachung (Fü),
 - Überwachungssignale mit optimierter Einschaltung (ÜS_{OE}),

- Bedienerüberwachung (Bed):
 - Bedienerüberwachung ohne Bestätigung der Sicherung,
 - Bedienerüberwachung mit Bestätigung der Sicherung.

Bei Überwachung der Einschaltung wird zunächst die erfolgte Sicherung des Bahnübergangs (Aufleuchten des Rotlichts an den Lichtzeichen, ggf. Schließen der Schranken) geprüft. Erst dann darf ein Schienenfahrzeug den Bahnübergang befahren. Ausfälle der technischen Sicherung, wie sie bereits bei Ausfall des Rotlichts an einem einzigen Lichtzeichen vorliegen, werden durch Anhalten bzw. Zurückhalten der Schienenfahrzeuge kompensiert.

Die Überwachung der Einschaltbereitschaft folgt einer völlig anderen Sicherheitsphilosophie. Sie basiert darauf, gefährliche Ausfälle durch eine hochverfügbare und damit sichere Systemgestaltung praktisch auszuschließen. Dies wird unter anderem durch einen zweikanaligen Aufbau der Anlage (Redundanz) erreicht. Eine ständige Prüfung und Meldung des Anlagenzustandes sorgt dafür, dass ungefährliche Ausfälle einzelner Komponenten offenbart und behoben werden, sodass die Redundanz wiederhergestellt wird. Somit wird nur die Bereitschaft der Anlage überwacht. Hierdurch kann die Einschaltung zu einem so späten Zeitpunkt erfolgen, zu dem Schienenfahrzeuge nicht mehr vor dem Bahnübergang angehalten werden könnten, was sehr kurze Sperrzeiten erlaubt.

Bei klassischen Schrankenposten oder einfachen Betriebsverhältnissen wird auch eine Überwachung durch den Bediener angewendet. Abhängig davon, ob eine Bestätigung der Sicherung erfolgt und somit ein Zurückhalten von Schienenfahrzeugen im Versagensfall möglich ist, kann man diese Überwachung hinsichtlich ihres Grundprinzips mit den beiden vorgenannten technischen Überwachungsarten vergleichen.

Die Wahl der anzuwendenden Überwachungsart richtet sich unter anderem nach den bereits auf der Strecke vorhandenen Überwachungsarten, den Standorten von Signalen und schließlich auch nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten. Diese Aspekte werden in den folgenden Abschnitten konkretisiert.

Überwachungssignale

Überwachungssignale werden meist auf der freien Strecke angewendet und stehen im Regelvorsignalabstand vor dem Bahnübergang. Nach erfolgter Einschaltung des Bahnübergangs zeigt das Signal – je nach technischer Ausprägung, die von verschiedenen Faktoren abhängt – weißes Stand- oder Blinklicht. Damit wird dem Triebfahrzeugführer erlaubt, den Bahnübergang zu befahren.

Bleibt das Überwachungssignal dunkel, ist der Bahnübergang nicht ordnungsgemäß gesichert. Dann muss der Triebfahrzeugführer vor dem Übergang anhalten und ihn ersatzweise sichern (vgl. Abschn. 13.4.3.7).

Werden die Überwachungssignale mit Komponenten der Zugbeeinflussung verknüpft, kann sich ein mögliches Übersehen oder Missachten des nicht leuchtenden Überwachungssignals durch den Triebfahrzeugführer nicht gefährlich auswirken. I. d. R. verwendet man 1000-Hz-Magnete der punktförmigen Zugbeeinflussung, die bei gestörter Bahnübergangssicherungsanlage vom Triebfahrzeugführer eine Wachsamkeitsbestätigung verlangen und anschließend die Bremsfahrt überwachen (vgl. Abschn. 10.8.3).

Der Vorteil dieser Überwachungsart besteht in der autarken Betriebsweise, die keine Verbindungen zur Stellwerkstechnik bzw. zu benachbarten Bahnhöfen erfordert. Dadurch ist der Verkabelungsaufwand gering. Nachteil ist die notwendige Aufstellung zusätzlicher Signale. Außerdem ist die Zeitdauer zwischen der Einschaltung der Bahnübergangssicherung und der Ankunft des Zuges größer als durch die Räumzeit der Straßenverkehrsteilnehmer eigentlich erforderlich, da der Zug nach Vorbeifahrt am Überwachungssignal erst noch den Regelvorsignalabstand zurücklegen muss.

Bei einfachen Betriebsverhältnissen kann das Überwachungssignal auch direkt vor dem Bahnübergang aufgestellt werden, wenn es vom Triebfahrzeugführer im Bremswegabstand erkennbar ist oder wenn eine bedienerbewirkte Einschaltung durch das Zugpersonal vorliegt (Abschn. 13.4.3.3). Damit werden Kabellängen gespart, was eine erhebliche Kostenreduzierung ermöglicht.

Hauptsignaldeckung

Befindet sich zwischen dem Ort an der Eisenbahnstrecke, an dem die Einschaltung des Bahnübergangs nach den theoretischen Berechnungen erfolgen muss, und dem Bahnübergang bereits ein Hauptsignal, wird dieses zur Überwachung herangezogen.

Mit der Hauptsignaldeckung wird vor allem die Abhängigkeit zu Fahrstraßen ermöglicht, außerdem wird eine Häufung von Signalen vermieden. Dementsprechend kommt diese Überwachungsart vor allem bei fahrstraßenbewirkter Einschaltung im Bereich von Bahnhöfen vor (s. Abschn. 13.4.3.3). Hierfür ist die Einbindung des Bahnübergangs in die Stellwerkstechnik erforderlich. Die erfolgte Sicherung des Bahnübergangs ist dann Voraussetzung für die Fahrtstellung des Hauptsignals (vgl. Abschn. 10.4.2.12).

Meldet der Bahnübergang keine ordnungsgemäße Sicherung, verbleibt das Hauptsignal in Haltstellung. Im Gegensatz zu Überwachungssignalen ist für den Triebfahrzeugführer der Zusammenhang zwischen Haltstellung des Signals und der Störung des Bahnübergangs hier nicht erkennbar, da das Signal auch wegen einer noch nicht eingestellten Fahrstraße oder wegen eines besetzten Blockabschnitts Halt zeigen kann. Deshalb muss der zuständige Fahrdienstleiter, bei dem sich auch Bedien- und Überwachungseinrichtungen befinden, im Störfall die Vorbeifahrt am Halt zeigenden Signal und anschließende ersatzweise Sicherung des Bahnübergangs durch schriftlichen Befehl anordnen.

Unmittelbare Vorteile ergeben sich aus dieser Überwachungsart nicht. Nachteile sind die aufwändige Einbindung in die Stellwerkstechnik, die Belastung des Fahrdienstleiters bei Störungen und vor allem die langen Sperrzeiten. Diese resultieren daraus, dass eine Einschaltung bereits vor Erreichen des Vorsignals erfolgen muss, um eine behinderungsfreie Fahrt zu gewährleisten (vgl. Abschn. 13.1.5.6). In Verbindung mit dem außerdem zu berücksichtigenden Abstand des Hauptsignals vom Bahnübergang und der fahrstraßenbewirkten Einschaltung weisen Bahnübergänge mit dieser Überwachungsart die längsten Sperrzeiten auf.

Fernüberwachung

Bei der Überwachungsart Fernüberwachung wird nicht die Einschaltung selbst, sondern die Bereitschaft der Anlage überwacht. Ein gefährliches Versagen der Technik wird durch hochverfügbare und damit sichere Systemgestaltung verhindert. Die Stromversorgung und weitere wichtige Anlagenkomponenten sind redundant ausgeführt. Wegen der hohen Verfügbarkeit der Anlage kann auf Signale für den Triebfahrzeugführer verzichtet werden, da gefährliche Ausfälle praktisch ausgeschlossen sind.

Die eigentliche Fernüberwachungseinrichtung dient vor allem der Offenbarung von Fehlern, damit zeitnah der Instandhaltungsdienst gerufen werden kann. Entsprechende Anzeigeeinrichtungen mit akustischen Meldern werden beim zuständigen Fahrdienstleiter angeordnet. Hierzu wird je nach Stellwerksbauform ein eigenes Überwachungspult aufgestellt oder die Überwachungseinrichtungen in die Bedienoberfläche integriert.

Der größte Vorteil dieser Überwachungsart besteht in den kurzen Sperrzeiten, da sich die Einschaltung nur an den Räumzeiten für den Straßenverkehr orientiert und somit zum spätest möglichen Zeitpunkt erfolgen kann. Außerdem sind keine Signale an der Strecke erforderlich. Nachteilig ist hingegen die notwendige Verbindung zum Arbeitsplatz des zuständigen Fahrdienstleiters sowie dessen Arbeitsbelastung bei Unregelmäßigkeiten, was insbesondere bei großen Zuständigkeitsbereichen relevant ist.

Überwachungssignal mit optimierter Einschaltung

Da fernüberwachte Bahnübergänge die Kapazitäten der Fahrdienstleiter beanspruchen und Verbindungen zu den jeweiligen Arbeitsplätzen erfordern, andererseits jedoch die kurzen Sperrzeiten der Überwachungsart Fernüberwachung wünschenswert sind, wurde eine neue Überwachungsart entwickelt. Sie stellt eine Mischform aus Fernüberwachung und Überwachungssignalen dar. Der Begriff „Überwachungssignal mit optimierter Einschaltung“ betont die günstige Lage des Einschaltpunktes für eine möglichst kurze Sperrzeit.

Prinzipiell wird auch hier die Einschaltbereitschaft überwacht, nicht die Einschaltung selbst. Der Unterschied zur Fernüberwachung besteht jedoch darin, dass der Anlagenstatus nicht dem zuständigen Fahrdienstleiter angezeigt wird, sondern dem Triebfahrzeugführer mit Hilfe eines Überwachungssignals. Dieses muss – wie ein herkömmliches Überwachungssignal auch – im Bremswegabstand vor dem Bahnübergang stehen, damit der Triebfahrzeugführer bei Ausfällen rechtzeitig anhalten kann. In seiner Grundstellung erlaubt es jedoch – anders als herkömmliche Überwachungssignale – das Befahren des Bahnübergangs. Der Einschaltpunkt wird i. d. R. erst hinter dem Überwachungssignal angeordnet. Wie bei fernüberwachten Bahnübergängen muss die Technik deshalb auch hier hochverfügbar und damit sicher ausgelegt sein, sodass ein Versagen der Einschaltung ausgeschlossen ist.

Weitere Einzelheiten zu dieser erst wenige Jahre alten Überwachungsart enthält [26].

Bedienerüberwachung ohne Bestätigung der Sicherung

Die älteste Überwachungsart von Bahnübergängen ist die Bedienerüberwachung ohne Bestätigung der erfolgten Sicherung. Bei den Schrankenposten auf der freien Strecke wurde ursprünglich nur mit Hilfe des Fahrplans und der Ausschau des Schrankenwärters auf die Strecke der geeignete Zeitpunkt zum Schließen der Schranken gefunden, später mit Glockenzeichen oder dem Mithören von Zugmeldungen (sog. „Frankfurter Verfahren“ der ehemaligen Deutschen Bundesbahn). Eine Fehlhandlung oder die plötzliche Dienstunfähigkeit des Schrankenwärters nach der Abfahrt des Zuges auf der benachbarten Zugmeldestelle und vor dem Schließen der Schranken kann sich hier unmittelbar gefährlich auswirken, da das Versagen nicht offenbart wird und deshalb die Schienenfahrzeuge auf einen ungesicherten Bahnübergang treffen.

Auch heute wird diese Form der Überwachung noch angewendet, obwohl sie in Fachkreisen aufgrund von Sicherheitsbedenken umstritten ist und ein Versagen von Schrankenwärters schon mehrfach zu Unfällen geführt hat. An vielen dieser Übergänge wurden deshalb zumindest

technische Einrichtungen ergänzt, die entweder an das Schließen der Schranken erinnern (sog. Anrückmelder) oder – insbesondere auf zweigleisigen Strecken – ein vorzeitiges Öffnen verhindern, bevor alle Züge den Bahnübergang verlassen haben (sog. Sperr- und Meldegeräte).

Einziger Vorteil dieser Überwachungsart sind die gegenüber der im folgenden Abschnitt dargestellten Variante kürzeren Sperrzeiten. Diesen steht jedoch der gravierende Nachteil der geringen Sicherheit durch die starke Abhängigkeit vom korrekten menschlichen Verhalten gegenüber.

Bedienerüberwachung mit Bestätigung der Sicherung

Eine höhere Sicherheit als das im vorherigen Abschnitt beschriebene Verfahren bietet die Bedienerüberwachung mit Bestätigung der Sicherung. Auch dieses Verfahren findet sich vorrangig bei Bahnübergängen auf der freien Strecke. Der Unterschied besteht jedoch darin, dass der Schrankenwärter die erfolgte Sicherung des Bahnübergangs an die benachbarte Zugmeldestelle meldet, bevor ein Zug dort abfahren darf (sog. „Leipziger Verfahren“ der ehemaligen Deutschen Reichsbahn). Dadurch wird ein Versagen oder eine Dienstunfähigkeit des Schrankenwärters rechtzeitig offenbart und kann sich nicht gefährlich auswirken. Auf zweigleisigen Strecken verbleibt allerdings die Gefährdungsmöglichkeit durch ein vorzeitiges Öffnen der Schranken wegen Vergessens des Gegenzuges, wogegen wiederum technische Einrichtungen unterstützend wirken können.

Dem Vorteil einer höheren Sicherheit dieses Verfahrens gegenüber der Variante ohne Bestätigung der Sicherung steht der Nachteil deutlich längerer Sperrzeiten gegenüber, die je nach Entfernung zur benachbarten Zugmeldestelle Werte von 10 min und mehr erreichen können.

Bei besonders einfachen Verhältnissen, wie sie gelegentlich bei nichtöffentlichen Eisenbahnen vorliegen, kann diese Überwachungsart auch in Verbindung mit einem grundsätzlichen Halt der Schienenfahrzeuge vor dem Bahnübergang und Weiterfahrt nach Sicherung angewendet werden. Dabei erfolgen Bedienung und Überwachung

nicht durch einen gesonderten Schrankenwärter, sondern durch den Triebfahrzeugführer oder das Rangierpersonal. Auf ein Überwachungssignal wird hier verzichtet; stattdessen wird die direkte Sicht auf die Sicherungseinrichtungen des Bahnübergangs als ausreichend angesehen. Alternativ kann in diesen Fällen eine Überwachungs Lampe direkt an der Bedieneinrichtung die erfolgte Einschaltung anzeigen.

13.4.3.5 Gefahrenraumfreimeldung

Arten und Einsatzkriterien

Eine Freimeldung des Gefahrenraums zwischen den Schranken wird mit wenigen Ausnahmen in § 11 der EBO bei Vollabschluss gefordert, um einem Einschließen von Straßenverkehrsteilnehmern vorzubeugen [2]:

Bahnübergänge mit Schranken – ausgenommen Anrufschranken und Schranken an Fuß- und Radwegen – müssen von der Bedienungsstelle aus mittelbar oder unmittelbar eingesehen werden können. Dies ist nicht erforderlich, wenn das Schließen der Schranken durch Lichtzeichen auf den Straßenverkehr abgestimmt und das Freisein des Bahnüberganges durch technische Einrichtungen festgestellt wird.

Um das Freisein des Gefahrenraums vor der Fahrt eines Schienenfahrzeugs sicherzustellen, gibt es demnach drei verschiedene Möglichkeiten:

- unmittelbare Sicht des Bedieners,
- mittelbare Sicht des Bedieners,
- automatische Freimeldung durch Technik.

Die Entscheidung richtet sich im Wesentlichen nach der Besetzung von Betriebsstellen und der Arbeitsbelastung des Personals.

Unmittelbare Sicht des Bedieners

Befindet sich der Bahnübergang im Sichtbereich einer besetzten Betriebsstelle, kann ein Bahnmitarbeiter die Überprüfung des Gefahrenraums direkt vornehmen. Dies ist die älteste Form der Gefahrenraumfreimeldung, die noch heute bei Bedienerüberwachung (s. Abschn. 13.4.3.4) eingesetzt wird.

Sofern am Bahnübergang keine Lichtzeichen vorhanden sind, muss auch das Schließen der Schranken durch den Bediener beaufsichtigt und so durchgeführt werden, dass Kollisionen von Straßenverkehrsteilnehmern mit Schrankenbau-

men vermieden werden (vgl. Abschn. 13.4.3.2). Damit sind Schließen und Freimelden als eine Handlung zu betrachten. Bei vorhandenen Lichtzeichen beschränkt sich die Aufgabe auf die eigentliche Freimeldung nach dem Schließen der Schranken.

Vorteil ist die einfache Umsetzbarkeit des Verfahrens ohne technischen Aufwand. Nachteile sind hingegen der Personalaufwand und das mögliche Versagen des Menschen.

Mittelbare Sicht des Bedieners

Um den Personalaufwand für die Freimeldung eines einzelnen Bahnübergangs zu senken, lässt sich diese Aufgabe für mehrere Übergänge bei einem Mitarbeiter anordnen und damit zentralisieren. Dies ist eine Voraussetzung, um z. B. die Bedienung eines Bahnhofs in einem Stellwerk zu konzentrieren. Dafür wird eine Bildübertragung mittels Videotechnik benötigt, um die nicht direkt einsehbaren Bereiche freiprüfen zu können (s. Abschn. 17.9). Die sicherheitsrelevante Entscheidung trifft jedoch letztlich der Mensch aufgrund der angezeigten Bilder; die Technik dient hier lediglich der Informationsübertragung. Daher spricht man von mittelbarer Freimeldung durch Mitarbeiter.

Als Vorteil kann der geringere Personalaufwand betrachtet werden. Andererseits sind technische Einrichtungen notwendig, ohne dass hierdurch die Sicherheit erhöht wird. Es verbleibt auch hier die Gefahr menschlicher Fehlhandlungen bei der Freimeldung.

Automatische Freimeldung durch Technik

Moderne Sensortechniken wie Radarscanner ermöglichen die automatische Freimeldung des Gefahrenraums. Nach dem Schließen der Schranken tastet das Radar den Gefahrenraum ab (s. Abschn. 10.2.2.3). Erst wenn sichergestellt ist, dass kein Straßenverkehrsteilnehmer eingeschlossen wurde, gibt die Technik den Bahnübergang für Schienenfahrzeuge frei.

Eine automatische Freimeldung bedingt, dass die Überwachung des Bahnübergangs durch Überwachungssignale oder Hauptsignaldeckung erfolgt (s. Abschn. 13.4.3.4), damit Schienenfahrzeuge bei Besetzung des Gefahrenraums

rechtzeitig angehalten werden können. Ohne diese Rückwirkung auf Fahrten wäre die Freimeldung zwecklos.

Dem Vorteil einer personalfreien und damit auch äußerst zuverlässigen Freiprüfung steht der Nachteil der zunächst hohen Kosten für die technischen Einrichtungen gegenüber. Bei langfristiger Betrachtung kann die automatische Gefahrenraumfreimeldung jedoch als optimal angesehen werden.

Bereits in der Vergangenheit wurden auch andere Techniken als Radarscanner getestet, erwiesen sich jedoch bisher als nicht praxistauglich. Zu aktuellen Versuchen einer Freimeldung mit Hilfe optischer Systeme wird auf [25] verwiesen.

13.4.3.6 Kombinationen

Die in Abschn. 13.4.3.2 bis 13.4.3.5 erläuterten Arten der Sicherung, Einschaltung, Überwachung und Gefahrenraumfreimeldung sind für die praktische Anwendung stets im Zusammenhang zu sehen. Nicht alle Kombinationen sind möglich oder sinnvoll; manche Kombinationen kommen auch aufgrund der historischen Entwicklung oder wegen technischer Zwänge in der Praxis nicht vor. In Tab. 13.6 sind die Kombinationsmöglichkeiten dargestellt, wobei auf die Einarbeitung des Sonderfalls der Anrufschränke verzichtet wurde. Ebenso sind Blinklichter nicht gesondert erwähnt, da sich hieraus für Tab. 13.6 keine Unterschiede zu Lichtzeichen ergeben.

Erläuterungen zur Tabelle:

1. In der Praxis und in den Regelwerken der Eisenbahnen des Bundes werden diese Bahnübergänge als „zuggesteuerte Anlagen“ bezeichnet.
2. Erfordert eine automatisch wirkende Gefahrenraumfreimeldung.
3. Der Zulassungsprozess für den Einsatz von Überwachungssignalen bei Bahnübergängen mit Vollabschluss und Gefahrenraumfreimeldung wurde erst kürzlich abgeschlossen. Deshalb kommt diese Kombination in der Praxis bisher kaum vor.
4. Bei fahrzeug- oder fahrstraßenbewirkter Einschaltung muss das Schließen der Schranken durch Lichtzeichen auf den Straßenverkehr abgestimmt werden, da der Bediener keinen Einfluss auf den Schließvorgang hat.
5. Die Hauptsignaldeckung erfordert eine Abhängigkeit zu Fahrstraßen, damit bei einem Halt vor dem Signal keine Einschaltung erfolgt. Bei einer Einschaltung durch Zuglenkung oder Annäherungskontakte werden die Abläufe zwar zunächst vom Schienenfahrzeug angestoßen, der eigentliche Einschaltbefehl an den Bahnübergang kommt jedoch vom Stellwerk. Damit liegt eine fahrstraßenbewirkte Einschaltung vor.
6. Die wegen des Vollabschlusses erforderliche Gefahrenraumfreimeldung benötigt eine Rückwirkungsmöglichkeit auf Zugfahrten nach Einschaltung, was bei Überwachung der Einschaltbereitschaft nicht möglich ist.
7. Die fahrzeugbewirkte Einschaltung erfolgt i. d. R. zu einem Zeitpunkt, zu dem der überwachende Mitarbeiter das Schienenfahrzeug nicht mehr zurückhalten kann.
8. Kommt bei einfachen Verhältnissen auf Nebenbahnen vor, wenn zwar Fahrstraßen vorhanden sind, jedoch keine Hauptsignale.
9. In der Praxis und in den Regelwerken der Eisenbahnen des Bundes werden diese Bahnübergänge als „signalgesteuerte Anlagen“ bezeichnet.
10. Diese Kombination ist nicht üblich, aber theoretisch möglich. Bei der praktisch vorkommenden fahrstraßenabhängigen Wirksamschaltung der Einschaltensensoren erfolgt die eigentliche Einschaltung durch das Befahren der Sensoren, also fahrzeugbewirkt.
11. Erfordert eine Freimeldung des Gefahrenraums durch Mitarbeiter.
12. Kommt bei einfachen Verhältnissen vor, wenn ein Bahnübergang hinter einem Haltepunkt liegt, an dem alle Züge halten und die Einschaltung vor der Weiterfahrt durch das Zugpersonal erfolgt. Ebenso ist diese Kombination in Rangierbereichen sinnvoll.
13. In der Praxis und in den Regelwerken der Eisenbahnen des Bundes werden diese Bahnübergänge als „wärterbediente Anlagen“ bezeichnet, in diesem Fall mit Signalabhängigkeit.

Tab. 13.6 Kombinationen von Sicherungs-, Einschalt- und Überwachungsarten

| Einschaltung und Überwachung | | Sicherung | | | |
|------------------------------|------|---------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------------|
| | | Lz | LzH | LzHH, LzV | HH, V |
| fahrzeugbewirkt | ÜS | üblich (1.) | üblich (1.) | möglich (2., 3.) | nicht möglich (4.) |
| | Hp | nicht möglich (5.) | nicht möglich (5.) | nicht möglich (5.) | nicht möglich (4., 5.) |
| | Fü | üblich (1.) | üblich (1.) | nicht möglich (6.) | nicht möglich (4., 6.) |
| | ÜSoE | üblich (1.) | üblich (1.) | nicht möglich (6.) | nicht möglich (4., 6.) |
| | Bed | nicht möglich (7.) | nicht möglich (7.) | nicht möglich (7.) | nicht möglich (4., 7.) |
| fahrstraßenbewirkt | ÜS | möglich (8.) | möglich (8.) | möglich (2., 8.) | nicht möglich (4.) |
| | Hp | üblich (9.) | üblich (9.) | üblich (9.) | nicht möglich (4.) |
| | Fü | möglich (10.) | möglich (10.) | nicht möglich (6.) | nicht möglich (4., 6.) |
| | ÜSoE | möglich (10.) | möglich (10.) | nicht möglich (6.) | nicht möglich (4., 6.) |
| | Bed | möglich (8.) | möglich (8.) | möglich (8., 11.) | möglich (8., 11.) |
| bedienerbewirkt | ÜS | üblich (12.) | üblich (12.) | möglich (2. oder 11.) | möglich (11.) |
| | Hp | üblich (13.) | üblich (13.) | üblich (11., 13.) | üblich (11., 13.) |
| | Fü | nicht möglich (14.) | nicht möglich (14.) | nicht möglich (14.) | nicht möglich (4., 6., 14.) |
| | ÜSoE | nicht möglich (14.) | nicht möglich (14.) | nicht möglich (14.) | nicht möglich (4., 6., 14.) |
| | Bed | üblich (15.) | üblich (15.) | üblich (11., 15.) | üblich (11., 15.) |

14. Die Überwachung der Einschaltbereitschaft beruht auf einer hochverfügbaren und damit sicheren Einschaltung, die durch Menschen nicht gewährleistet werden kann.
15. In der Praxis und in den Regelwerken der Eisenbahnen des Bundes werden diese Bahnübergänge als „wärterbediente Anlagen“ bezeichnet, in diesem Fall ohne Signalabhängigkeit.

13.4.3.7 Instandhaltung und Störungsmanagement

Instandhaltung

Ein zuverlässiges Instandhaltungs- und Störungsmanagement ist für eine hohe Verfügbarkeit der technischen Sicherung unabdingbar und somit ein entscheidender Baustein der Sicherheit. Die Anlagen des Bahnübergangs müssen vom Fach-

personal in regelmäßigen Abständen vorbeugend geprüft werden. Hierzu gehört z. B. die Batterieanlage zur Notstromversorgung, die einen Weiterbetrieb bei Netzausfall ermöglicht. Ebenso müssen die Außenanlagen wie Einschaltpunkte, Lichtzeichen und Schrankenantriebe auf ihren Zustand geprüft und gegebenenfalls repariert oder justiert werden.

Im Bereich der Instandhaltung unterscheidet man [27]:

- Inspektion (Feststellung und Beurteilung des Ist-Zustandes),
- Wartung (Bewahrung des Soll-Zustandes),
- Instandsetzung (Wiederherstellung des Soll-Zustandes).

Die Häufigkeit der Inspektionen richtet sich nach der Art der Anlage und ist für die einzelnen Komponenten in den anerkannten Regeln der Technik festgelegt (z. B. [13, 27]). Während Batterieanlagen je nach Bauart teilweise alle zwei Monate zu prüfen sind, müssen die Inspektionen bei vielen anderen Anlagenteilen halbjährlich oder jährlich durchgeführt werden. Wartungsfristen sind ebenfalls für die einzelnen Komponenten vorgeschrieben und richten sich unter anderem nach den Vorgaben der Hersteller.

Um Ausfälle im laufenden Betrieb zügig durch Instandsetzung zu beseitigen, ermöglichen moderne Kommunikationswege die direkte Benachrichtigung des Instandhaltungsdienstes. Durch Ferndiagnose kann sich der Instandhalter über die Art der Störung informieren und entsprechende Ersatzteile und Werkzeuge mit zum Einsatzort nehmen. Diese nicht unmittelbar sicherheitsrelevante Ferndiagnose ist nicht zu verwechseln mit der Fernüberwachung beim Fahrdienstleiter, die der betrieblichen Offenbarung von Ausfällen dient (vgl. Abschn. 13.4.3.4).

Maßnahmen bei Ausfall der technischen Sicherung

Trotz regelmäßiger Wartung und hoher Zuverlässigkeit der Technik können Ausfälle nicht vollständig ausgeschlossen werden. Sie müssen sich jedoch offenbaren und stets zur sicheren Seite auswirken, da sich die Straßenverkehrsteilnehmer auf die Technik verlassen. Deshalb haben Schienenfahrzeuge bei Ausfall der technischen

Sicherung zunächst vor dem Bahnübergang anzuhalten. Je nach Überwachungsart wird dies durch die Anzeige der Überwachungssignale oder durch betriebliche Anweisung des Fahrdienstleiters erreicht.

Der Triebfahrzeugführer muss nach dem Anhalten zunächst akustische Signale abgeben und darf den Bahnübergang nur mit Schrittgeschwindigkeit befahren. Damit ist es den Verkehrsteilnehmern möglich, das Schienenfahrzeug trotz der ausgefallenen technischen Sicherung – also bei dunklen Lichtzeichen bzw. offenen Schranken – wahrzunehmen. Durch das Vorhandensein der Andreaskreuze besteht der Vorrang der Schienenfahrzeuge weiter (vgl. Abschn. 13.2.2.1), so dass ein Überqueren mit verminderter Geschwindigkeit nach dem Anhalten auch rechtlich unproblematisch ist.

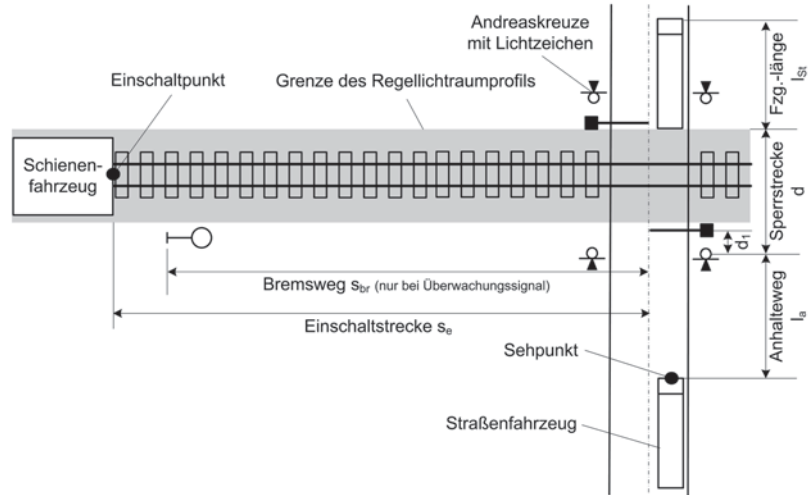
Oft verfügen die Anlagen über eine sog. Hilfseinschaltung direkt am Bahnübergang. Sofern einzelne Komponenten, vor allem die Straßensignale, noch funktionsfähig sind, können diese trotz Ausfall anderer Anlagenteile vom Triebfahrzeugführer angeschaltet werden und erleichtern damit das Überqueren der Straße.

13.4.3.8 Berechnungsverfahren

Die Berechnung der Strecken und Zeiten der technischen Sicherung beruht auf dem gleichen Prinzip wie bei der nichttechnischen Sicherung. Als Mindestforderung ist daher stets die Räumzeit des langsamsten und längsten Straßenverkehrsteilnehmers zu berücksichtigen. Zusätzlich müssen die Einflüsse der technischen Sicherungsanlagen und ihrer unterschiedlichen Ausprägungen beachtet werden, wodurch sich ein sehr komplexer Berechnungsablauf ergibt. So ist unter anderem sicherzustellen, dass kein Straßenverkehrsteilnehmer mit einem Schrankenbaum kollidiert und dass die Schienenfahrzeuge erst nach vollständigem Schließen der Halbschranken bzw. Schranken am Bahnübergang eintreffen.

Im Rahmen der Berechnung einer technischen Bahnübergangssicherung sollen insbesondere die Lage der Einschaltpunkte sowie die Zeitpunkte für das Einschalten der Lichtzeichen und das Schließen der Halbschranken bzw. Schranken ermittelt werden. Die hierfür benötigten

Abb. 13.16 Begriffe zur Einschaltstreckenberechnung



Begriffe sind in Abb. 13.16 dargestellt (bezieht sich auf eine Sicherung durch Lichtzeichen mit Halbschranken bei Überwachung durch Überwachungssignale oder Fernüberwachung).

Abbildung. 13.17 zeigt den prinzipiellen Berechnungsablauf für den o. g. Einsatzfall. Der erste Block „Räumung durch den Straßenverkehr“ stimmt mit der Berechnung der nichttechnischen Sicherung überein und beinhaltet die Grundforderung, dass ein Schienenfahrzeug erst nach Räumung des Bahnübergangs durch den langsamsten und längsten Straßenverkehrsteilnehmer eintreffen darf.

Der zweite Block „Technische Abläufe der Bahnübergangssicherung“ berücksichtigt das gefahrlose Passieren der Schrankenbäume durch die Straßenverkehrsteilnehmer sowie einen hinreichend großen Zeitabstand zwischen dem Schrankenschließen und der Ankunft des Schienenfahrzeugs.

Der dritte Block „Standort Überwachungssignal“ wird nur bei der entsprechenden Überwachungsart benötigt. Er resultiert aus der Forderung, dass das im Bremsweg aufgestellte Überwachungssignal erst nach Anschließung der roten Lichtzeichen aufleuchten darf und noch vom Triebfahrzeugführer wahrgenommen werden muss.

Maßgebend für die Lage des Einschaltpunktes wird letztlich das Maximum der einzeln berechneten Mindestwerte für die Einschaltstrecke.

Die anzusetzenden Annahmen für die einzelnen Werte ergeben sich aus den anerkannten Regeln der Technik. Diese beinhalten auch elektronische Berechnungshilfen.

13.5 Bahnübergangssicherung als Gemeinschaftsaufgabe

13.5.1 Wechselwirkungen

Die Zuständigkeiten sind zwischen den Kreuzungspartnern aufgeteilt (s. Abschn. 13.2.3.2). Die Sicherheit an Bahnübergängen hängt jedoch maßgeblich davon ab, wie Straße und Schiene zusammenwirken, denn es gibt zahlreiche Wechselwirkungen. Verkehrsablauf und Verkehrsregelung im Umfeld müssen mit den Sicherungsmaßnahmen abgestimmt sein.

So sind alle zugelassenen Straßenfahrzeuge hinsichtlich Länge, Breite, Höhe, Bodenfreiheit und Geschwindigkeit vor, auf und hinter dem Bahnübergang zu berücksichtigen. Um das Befahren und Räumen zu ermöglichen, ist unter anderem die Fahrbahnbreite zu betrachten. Die Fahrbahn muss so breit sein, dass es nicht zu Konfliktsituationen kommt. Für den Begegnungsfall ist i. d. R. eine Mindestfahrbahnbreite von 5,50 m herzustellen. In Kurvenbereichen und an Einmündungen müssen dabei auch die geometrischen Anforderungen großer Fahrzeuge (sog.

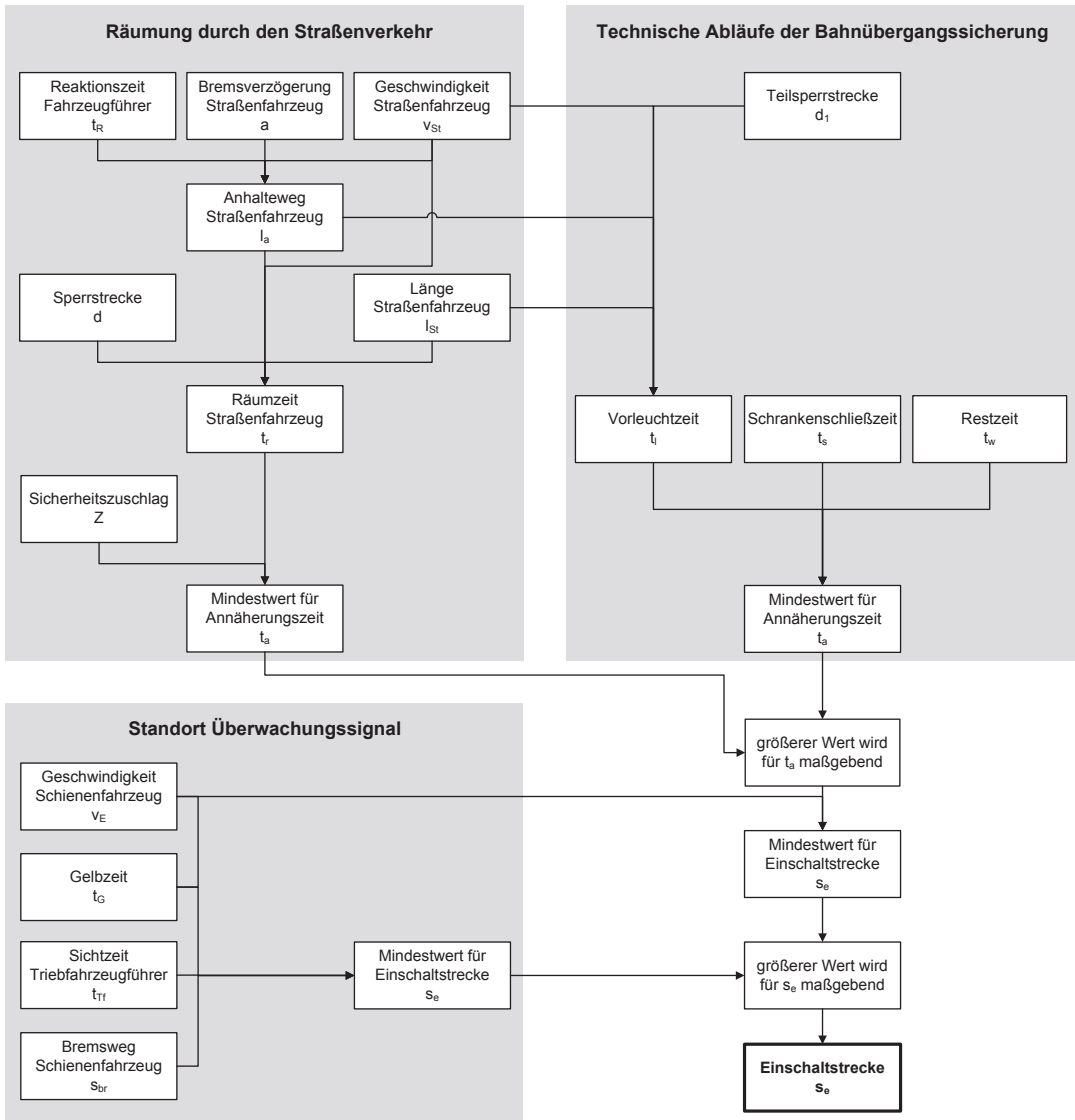


Abb. 13.17 Ablauf der Einschaltstreckenberechnung

Schleppkurven) berücksichtigt werden, damit sie behinderungsfrei abbiegen können.

Von wesentlicher Bedeutung sind die Verkehrsbeziehungen im Umfeld, wenn Fahrzeuge hinter dem Bahnübergang wartepflichtig sind und ein Rückstau entstehen kann bzw. wenn der übergeordnete Verkehr erst nach Befahren des Bahnübergangs wahrnehmbar ist. Die Verkehrsregelung muss so gestaltet werden, dass Fahrzeuge entweder von vornherein nicht verkehrsbedingt auf dem Bahnübergang anhalten müssen

oder ihn bei Annäherung eines Schienenfahrzeugs rechtzeitig räumen können.

13.5.2 Beschilderung und Markierung

13.5.2.1 Ankündigung

Um die Aufmerksamkeit der Straßenverkehrsteilnehmer zu erhöhen, müssen Bahnübergänge durch Gefahrzeichen angekündigt werden. Oftmals finden sich zusätzlich Baken. Sie werden

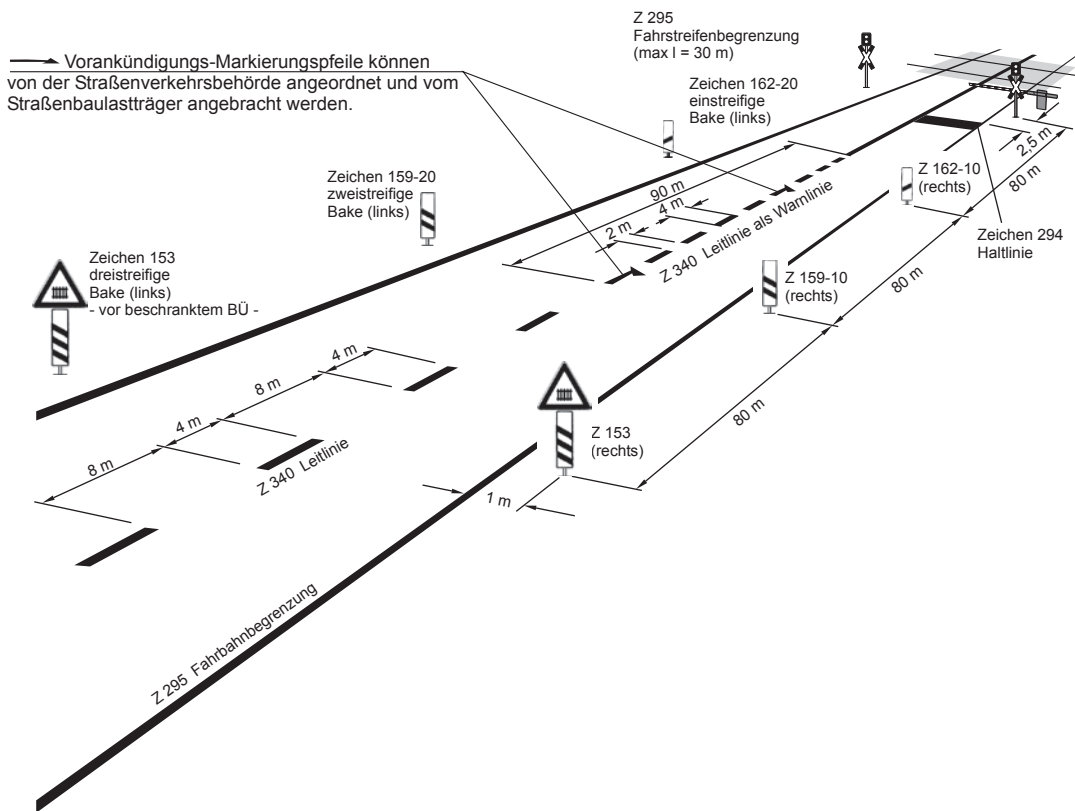


Abb. 13.18 Straßenseitige Ankündigung eines Bahnübergangs (Beispiel)

i. d. R. in Entfernungen von 240, 160 und 80 m aufgestellt. Am Bahnübergang selbst kennzeichnen die Andreaskreuze den Vorrang der Schienenfahrzeuge.

Der Umfang der Ankündigung richtet sich unter anderem nach der Verkehrsbedeutung der Straße und ist in der VwV-StVO geregelt. So bildet die in Abb. 13.18 dargestellte Ankündigung den Regelfall außerhalb geschlossener Ortschaften. Innerorts sowie an Straßen und Wegen mit untergeordneter Bedeutung und geringen Geschwindigkeiten sind meist weniger Verkehrszeichen zur Ankündigung ausreichend. Ein vollständiger Verzicht auf ankündigende Verkehrszeichen kommt allenfalls auf schwach befahrenen Feld- und Waldwegen infrage, wenn der Bahnübergang ausreichend erkennbar ist. Für die Aufstellung ist der Straßenbausträger zuständig (vgl. Abschn. 13.2.3.2), wobei die Straßenverkehrsbehörde die Beschilderung anordnen muss.

13.5.2.2 Weitere Verkehrszeichen

Neben den ankündigenden Verkehrszeichen sind oftmals auch Geschwindigkeitsbeschränkungen erforderlich, wenn die Sichtflächen für die sonst auf der Straße gefahrene Höchstgeschwindigkeit nicht ausreichen (Abschn. 13.4.2.2). Diese sind i. d. R. mit den Gefahrzeichen zu kombinieren, damit die Geschwindigkeitsbeschränkung gemäß StVO hinter dem Bahnübergang endet, ohne dass es hierfür weiterer Verkehrszeichen bedarf.

13.5.3 Freihaltung der Aufstelllänge

13.5.3.1 Begriff und Problembeschreibung

Mit dem Begriff der Aufstelllänge wird der Straßenbereich hinter dem Bahnübergang beschrieben, den das längste zugelassene Straßenfahrzeug zum Aufstellen benötigt, nachdem es den Gefahrenbereich vollständig verlassen hat. Teil-

weise wird hierfür auch der Begriff der Räumstrecke verwendet, der jedoch zu Verwechslungen mit dem bei der Berechnung der Räumzeit ebenfalls verwendeten Begriff der Räumstrecke führen kann.

Die Aufstelllänge ist insbesondere im Zusammenhang mit benachbarten Straßenverkehrsanlagen von Bedeutung. Aufgrund der Verkehrsregelung oder baulicher Gegebenheiten kann eine Wartepflicht der vom Bahnübergang kommenden Straßenverkehrsteilnehmer bestehen (Abb. 13.19). Ist dabei keine ausreichende Aufstelllänge vorhanden, kann eine ungünstige Verkehrslage bewirken, dass ein Straßenverkehrsteilnehmer trotz regelkonformen Verhaltens auf dem Bahnübergang anhalten muss und daraus eine Gefährdungssituation entsteht.

In der Regel wird für die Aufstelllänge eine Strecke von 25 m angesetzt. Dieser Wert ergibt sich aus der größten ohne Sondergenehmigung zugelassenen Fahrzeuglänge (rund 20 m) zuzüglich eines Sicherheitszuschlags für Ungenauigkeiten. Sofern die örtlich zugelassene Fahrzeuglänge durch Verkehrszeichen beschränkt ist, kann im Einzelfall eine kleinere Aufstelllänge ausreichen.

13.5.3.2 Bauliche Lösungen

Eine Vermeidung problematischer Verkehrsanlagen innerhalb der Aufstelllänge von Bahnübergängen ist die wirksamste Maßnahme. In den meisten Fällen handelt es sich jedoch um Bestandsanlagen, deren verkehrliches Umfeld sich seit der Errichtung weiterentwickelt hat. Dennoch sollte geprüft werden, ob sich die Situation durch bauliche Veränderungen verbessern lässt. Dafür kommen z. B. infrage:

- Verlegung von Einmündungen oder Einfahrten,
- Verbreiterung der Fahrbahn,
- Herstellung von Schleppkurven,
- Begradigung des Höhenprofils.

13.5.3.3 Technische Lösungen

Insbesondere im innerstädtischen Bereich lassen sich problematische Verkehrsanlagen im Bereich der Aufstelllänge oftmals nicht vermeiden oder verlegen. Dort sind die Bahnübergänge jedoch

aufgrund der Verkehrsstärken meist technisch gesichert, so dass auch Lösungen unter Einbeziehung der Technik gefunden werden können.

Um den Verkehrsablauf zwischen technisch gesicherten Bahnübergängen und benachbarten Kreuzungen oder ähnlichen Verkehrsanlagen aufeinander abzustimmen, gibt es zwei spezielle technische Lösungen. Beide sorgen dafür, dass der Bahnübergangsbereich rechtzeitig geräumt werden kann:

- vorgeschaltete Lichtzeichen,
- BÜSTRA-Anlagen.

Vorgeschaltete Lichtzeichen werden immer dann notwendig, wenn die Gefahr besteht, dass ein technisch gesicherter Bahnübergang verkehrsbedingt nicht rechtzeitig geräumt werden kann und die Vorfahrtregelung auf der Straße nur durch Verkehrszeichen erfolgt. Ein typischer Anwendungsfall ist die Einmündung einer untergeordneten Straße unmittelbar hinter dem Bahnübergang (Abb. 13.20). Damit Fahrzeuge von der wartepflichtigen Straße den Bahnübergang verlassen können, bevor sich ein Schienenfahrzeug nähert, halten vorgeschaltete Lichtzeichen den Verkehrsstrom auf der Hauptstraße an. Dadurch kann der Bahnübergang zügig geräumt werden.

Im Grundzustand sind sowohl die Lichtzeichen am Bahnübergang als auch die vorgeschalteten Lichtzeichen an der übergeordneten Straße dunkel. Nähert sich ein Schienenfahrzeug, werden zunächst die übergeordneten Verkehrsströme angehalten. Somit kann der Verkehr vom Bahnübergang abfließen. Nach Ablauf der berechneten Räumzeit werden die vorgeschalteten Lichtzeichen wieder ausgeschaltet, während die eigentlichen Sicherungseinrichtungen am Bahnübergang bereits arbeiten. Damit endet die Beeinflussung des übergeordneten Verkehrsstroms, der nun unbehindert fließen kann.

BÜSTRA-Anlagen dienen einem ähnlichen Zweck. Die Abkürzung steht für „Abhängigkeit zwischen der technischen Sicherung von Bahnübergängen und der Verkehrsregelung an benachbarten Straßenkreuzungen und Einmündungen“. Man setzt sie ein, wenn der benachbarte Straßenknotenpunkt bereits mit einer Lichtsignalanlage ausgerüstet ist (Abb. 13.21). Dann muss die Steuerung der Lichtsignalanlage mit der Steue-

Abb. 13.19 Problematische Verkehrssituationen in der Aufstelllänge (Grafik: Klaus Wester)

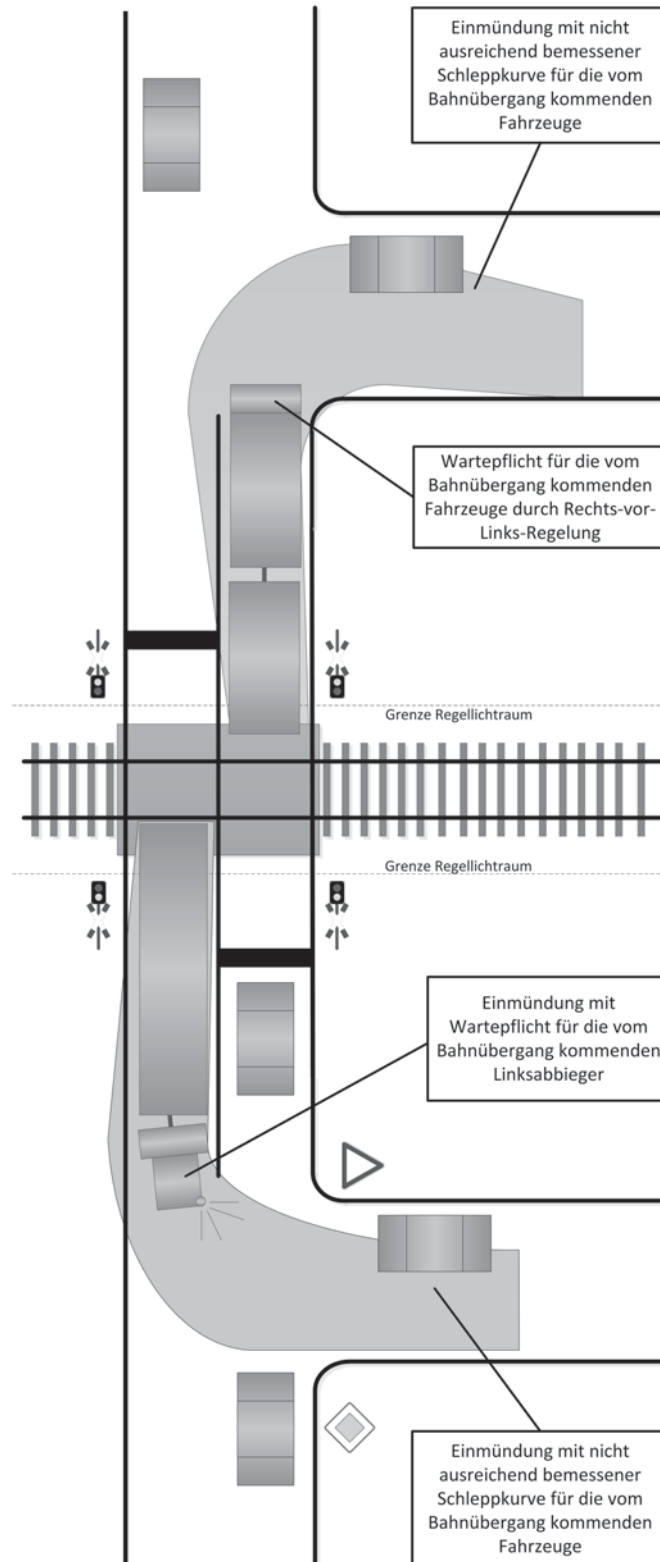


Abb. 13.20 Einsatzbeispiel vorgeschalteter Lichtzeichen (Grafik: Ingrid Zimmermann)

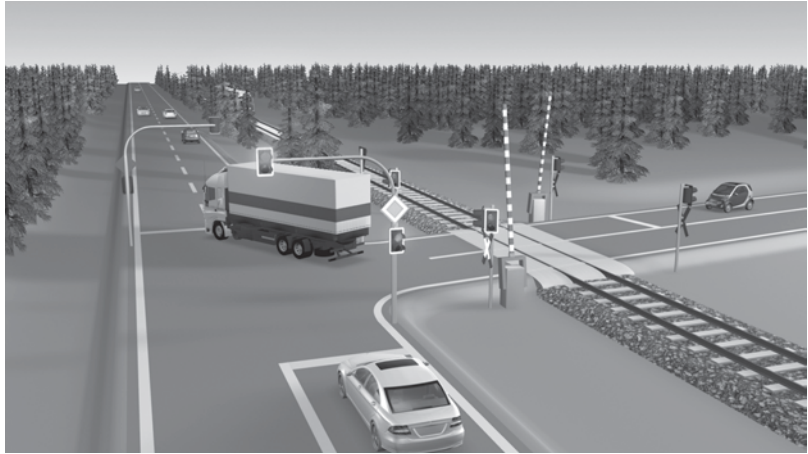
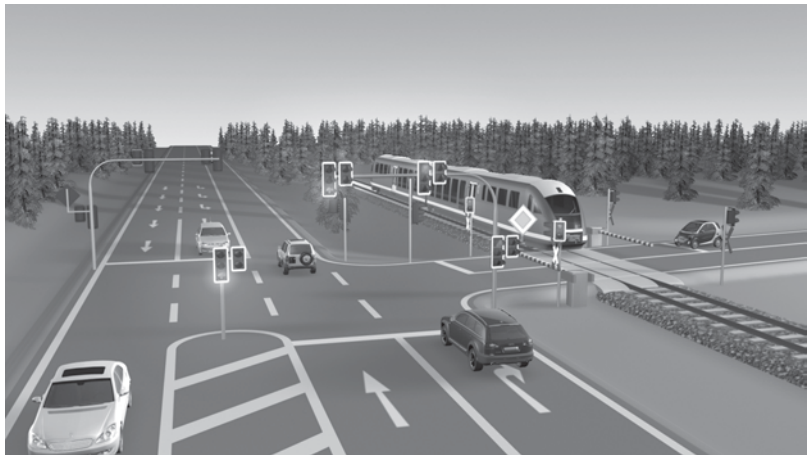


Abb. 13.21 Einsatzbeispiel einer BÜSTRA-Anlage (Grafik: Ingrid Zimmermann)



nung des Bahnübergangs koordiniert werden, um gegenseitige Behinderungen oder Gefährdungen auszuschließen.

Im Grundzustand, also ohne Annäherung eines Schienenfahrzeugs, regelt die Lichtsignalanlage den Straßenverkehr unbeeinflusst vom Bahnübergang. Die Sicherungsanlage des Bahnübergangs ist ausgeschaltet. Halten Straßenfahrzeuge auf dem Bahnübergang an, ist dies zwar regelwidrig, aber unkritisch.

Nähert sich ein Schienenfahrzeug, werden zunächst die übergeordneten Verkehrsströme durch Rot angehalten. Dem Verkehr zwischen Bahnübergang und Straßenknotenpunkt wird durch Grün das zügige Räumen ermöglicht. Nach Schließen der Schranken bleiben die Zufahrten zum Bahnübergang durch Rot gesperrt. Alle anderen Teile der Lichtsignalanlage können

nun weiterarbeiten und den vom Bahnübergang unabhängigen Verkehrsströmen die Weiterfahrt ermöglichen.

Hat das Schienenfahrzeug den Bahnübergang geräumt und die Sicherung wieder ausgeschaltet, endet auch die Beeinflussung der benachbarten Lichtsignalanlage. Es ist jedoch möglich, dem am stärksten behinderten Verkehrsstrom nun eine längere Grünzeit einzuräumen, um den Rückstau zügig abzubauen.

Bei Ausfall der Lichtsignalanlage tritt eine Notsignalisierung durch zusätzliche Signalgeber in Betrieb (in Abb. 13.21 jeweils rechts neben den dreifeldigen Signalgebern zu erkennen), die dann wie vorgeschaltete Lichtzeichen funktionieren.

Damit vorgeschaltete Lichtzeichen und BÜSTRA-Anlagen ihren Zweck sicher erfüllen, müssen die Verantwortlichen für Projektierung,

Errichtung und Instandhaltung auf Seiten von Straße und Bahn eng zusammenarbeiten. Kenntnisse über das jeweilige andere Teilsystem und die Zusammenhänge zwischen den Systemen sind dabei unerlässlich.

13.5.3.4 Verkehrsregelnde Maßnahmen

Ist weder eine bauliche noch eine technische Lösung möglich oder wäre eine solche Lösung aufgrund der örtlichen Verhältnisse unverhältnismäßig, verbleibt die Möglichkeit verkehrsregelnder Maßnahmen zur Freihaltung der Aufstelllänge. Sie werden von der jeweils zuständigen Straßenverkehrsbehörde mit Hilfe von Verkehrszeichen angeordnet, da dies nicht in den Zuständigkeitsbereich des Bahnbetreibers fällt (vgl. Abschn. 13.2.3.2).

Häufig angewendete verkehrsregelnde Maßnahmen an Bahnübergängen sind:

- vorgeschriebene Fahrtrichtung (Abbiegeverbote),
- abknickende Vorfahrt,
- Verbot für bestimmte Fahrzeugarten,
- Gegenverkehrsregelungen.

Allerdings ist die Akzeptanz solcher Maßnahmen durch die Straßenverkehrsteilnehmer und damit die Wirksamkeit oftmals gering, wenn durch die Regelungen langjährig gewachsene Verkehrsbeziehungen verboten oder eingeschränkt werden sollen. Bei Einfahrten in gewerblich genutzte Grundstücke oder mit Versorgungsverkehr (Müllabfuhr, Post usw.) sind Verkehrsbeschränkungen kaum umsetzbar, wenn keine alternativen Zufahrtsmöglichkeiten bestehen.

Ein völliger Verzicht auf Maßnahmen zur Freihaltung der Aufstelllänge kommt allenfalls dann infrage, wenn die Verhältnisse sehr übersichtlich sind und gleichzeitig die Verkehrsstärke auf der Straße so gering ist, dass die Begegnungswahrscheinlichkeit zwischen Straßenfahrzeugen vernachlässigt werden kann.

13.5.4 Verkehrsschau an Bahnübergängen

Um die Sicherheit kontinuierlich zu überwachen, sind in Deutschland Bahnübergangsschauen vor-

geschrieben. Jeder Bahnübergang einschließlich seines Umfeldes muss regelmäßig gemeinsam von den Verantwortlichen der Straße und der Bahn begutachtet werden, unabhängig von den bahnseitigen Inspektionen (Abschn. 13.4.3.7). Dabei werden z. B. die Beschilderung und der bauliche Zustand überprüft. Bei Mängeln treffen die Beteiligten verbindliche Anordnungen über deren Beseitigung.

Nach den gegenwärtigen Regelungen der VwV-StVO sind Bahnübergangsschauen alle zwei Jahre durchzuführen. Einzelne Bundesländer haben hierzu jedoch abweichende Festlegungen mit Zeitabständen von bis zu vier Jahren getroffen.

Die Einladung erfolgt durch die jeweils zuständige Straßenverkehrsbehörde. An einer Bahnübergangsschau sind i. d. R. beteiligt:

- Bahnbetreiber,
- Aufsichtsbehörde der Bahn,
- Straßenbaulasträger,
- Straßenverkehrsbehörde,
- Gemeinde,
- Polizei (Landes- und ggf. Bundespolizei).

Als Hilfsmittel für eine systematische Beurteilung im Rahmen von Verkehrsschauen hat eine Arbeitsgruppe im Bund-Länder-Fachausschuss zur StVO den „Leitfaden zur Durchführung von Bahnübergangsschauen“ herausgegeben (Abschn. 13.2.3.4).

13.5.5 Auflassung und Beseitigung

13.5.5.1 Mögliche Maßnahmen

Die wirksamste Maßnahme zur Erhöhung der Sicherheit ist die Beseitigung von Bahnübergängen. Der Bau von Überführungen erfordert jedoch einen erheblichen finanziellen und zeitlichen Aufwand und ist aufgrund der Örtlichkeit (z. B. bei dichter Bebauung innerhalb von Ortschaften) oftmals nicht realisierbar.

Bahnübergänge mit untergeordneter Bedeutung können unter Umständen ersatzlos geschlossen werden, wenn in der Nähe andere Querungsstellen vorhanden sind. Dies kann z. B. bei landwirtschaftlich genutzten Feldwegen der Fall sein, wenn deren Anliegern ein Umweg zugemu-

tet werden kann. Ein Sicherheitsgewinn ergibt sich aus einer solchen Verkehrsverlagerung jedoch nur, wenn an dem verbleibenden Bahnübergang eine höherwertige Sicherungsart vorliegt.

Oftmals sind kombinierte Lösungen sinnvoll, wenn Bahnübergänge beseitigt werden sollen. So kann für Fußgänger und Radfahrer eine Unterführung an gleicher Stelle errichtet werden, während Kraftfahrzeuge zu bereits vorhandenen Bahnübergängen oder Überführungen in der Umgebung geleitet werden.

13.5.5.2 Verfahren bei Streckenstilllegungen

Werden Bahnübergänge nach der Einstellung des Zugverkehrs auf einer Eisenbahnstrecke nicht mehr benötigt, so sollen auch die Sicherungsanlagen beseitigt oder zumindest unkenntlich gemacht werden. Andernfalls besteht die Gefahr, dass die Straßenverkehrsteilnehmer die Sicherungsanlagen auch an anderen Bahnübergängen an noch betriebenen Strecken nicht mehr ausreichend ernst nehmen.

Bei der konkreten Entscheidung ist zu prüfen, welchen Status die Eisenbahnstrecke hat:

- stillgelegt oder
- entwidmet.

Während entwidmete Strecken von ihrer Zweckbestimmung als Bahnanlage endgültig entbunden sind, kann es bei nur stillgelegten Strecken mittelfristig zur Wiederaufnahme des Bahnbetriebs kommen. Dadurch ist bei entwidmeten Strecken die Beseitigung des gesamten Bahnübergangs möglich (und für einen unbehinderten Verkehrsfluss oft erforderlich), während bei stillgelegten Strecken unter Umständen nur Verkehrszeichen und Schrankenbäume abgebaut oder verdeckt werden sollten.

Literatur

1. Theeg G, Svalov D, Schöne E (2009) Level crossings. Railway signalling and interlocking – international compendium. Hamburg
2. Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung vom 8. Mai 1967 (BGBl. 1967 II S1563), zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 25. Juli 2012 (BGBl. I S 1703)
3. DB Netz AG (Hrsg) (2004) Modul 413.0502 Reisedensicherung auf höhengleichen Übergängen betrieblich planen, gültig ab 01.07.2004. Frankfurt/Main
4. Bau- und Betriebsordnung für Anschlussbahnen vom 13. Mai 1982 (Sonderdruck Nr. 1080 des GBl. der DDR), Fortgeltung gemäß Einigungsvertrag Anlage 11 Kapitel XI Sachgebiet A Abschnitt III Nr. 2
5. Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung für Anschlussbahnen vom 3. März 1983 (Bayerisches GVBl 1983, S 159)
6. Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e. V. (Hrsg) (2004) VDV-Schrift 362 Bahnüberwege in abgeschlossenen Werksbereichen, Stand 03/2004. Köln
7. Eisenbahnkreuzungsgesetz vom 21. März 1971 (BGBl. I S337), zuletzt geändert durch Artikel 281 der Verordnung vom 31. Oktober 2006 (BGBl. I S2407)
8. Straßenverkehrs-Ordnung vom 16. November 1970 (BGBl. I S1565), zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 1. Dezember 2010 (BGBl. I S1737)
9. Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Straßenverkehrs-Ordnung vom 26. Januar 2001 (BAnz. S1419, 5206), zuletzt geändert am 17. Juli 2009 (BAnz. Nr. 110 vom 29. Juli 2009, S2598)
10. Unterausschuss „Verkehrssicherheit an Bahnübergängen“ des Bund-Länder-Fachausschusses Straßenverkehrs-Ordnung/Ordnungswidrigkeiten (Hrsg) (2003) Leitfaden zur Durchführung von Bahnübergangsschauen. Mainz
11. DB Netz AG (Hrsg) (2008) Richtlinie 815 Bahnübergänge planen und instand halten, gültig ab 01.11.2008. Frankfurt/Main
12. DB Netz AG (Hrsg) (2004) Richtliniengruppe 819.12 LST Anlagen planen – Technische Bahnübergangssicherungsanlagen, gültig ab 01.03.2004. Frankfurt/Main
13. Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e. V. (Hrsg) (2001) Vorschrift für die Sicherung der Bahnübergänge bei nichtbundeseigenen Eisenbahnen. Köln
14. Schöne E (2011) Auf dem Weg zu einem gemeinsamen Regelwerk für Bahnübergänge. Der Eisenbahningenieur 62(11):37–38
15. Fiedler J, Scherz W (Hrsg) (2012) Bahnwesen – Planung, Bau und Betrieb von Eisenbahnen, S-, U-, Stadt- und Straßenbahnen, 6 Aufl. Köln
16. Elberg R (2000) Der Bahnübergang als Teil der Fahrbahn von Schiene und Straße. Der Eisenbahningenieur 51(3):5–10
17. Gmundner F (Hrsg) (2010) Bodan international, Produktinformations-CD. Gmunden
18. Kraiburg E (Hrsg) (2007) Strail-Dokumentation – Straße trifft Schiene, Produktinformations-CD. Tittmoning
19. Tietz K, Köppel M (2011) Der Bahnübergang – ein neuralgischer Kreuzungspunkt. Der Eisenbahningenieur 62(11):23–36
20. Speck G (2011) Sicherung von Bahnübergängen durch hörbare Signale. Der Eisenbahningenieur 62(11):39–42
21. Schöne E, Hoefert C (2012) Umlaufsperrern im Spannungsfeld zwischen Sicherheit und Barrierefreiheit. Der Eisenbahningenieur 63(11):34–40

22. Alldieck U (2010) Technisches Hilfsmittel entlastet Bahnübergangsposten. *Der Eisenbahningenieur* 61(8):41–43
23. Erke H, Wimber P (1980) Wirksamkeit von Lichtsignalanlagen zur Sicherung von Bahnübergängen – Bericht zum Forschungsprojekt 7437 der Bundesanstalt für Straßenwesen. Köln
24. Lippold C et al (2007) Orientierungssichtweite – Definition und Beurteilung (Schriftenreihe „Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik“, Heft 977). Bonn
25. Pelz M, Eickmann C, Lemmer K (2008) Innovative Sicherungstechnik mit optischen Systemen. *Der Eisenbahningenieur* 59(8):11–14
26. Bielefeld T (2006) Erste Anlagen der Überwachungsart $\ddot{U}S_{OE}$ bei DB und NE – ein Erfahrungsbericht. *Signal und Draht* 98(9):28–31
27. DB Netz AG (Hrsg) (2011) Richtlinie 892 LST-Anlagen montieren und instand halten, gültig ab 01.10.2011. Berlin

Arnd Stephan und Bernd-Wolfgang Zweig

14.1 Grundlagen

14.1.1 Aufgaben und Systemstruktur

Die Energieversorgung der elektrischen Bahnen, in der Fachsprache kurz als Bahnenergieversorgung (BEV) oder Bahnstromversorgung bezeichnet, hat die Aufgabe, die elektrischen Triebfahrzeuge zuverlässig und sicher mit elektrischer Energie entsprechend den jeweils geltenden Qualitätsparametern für

- Spannungshöhe
 - Frequenz und
 - Leistungsfähigkeit
- zu versorgen. Zudem sind die Anforderungen des Fahrbetriebes hinsichtlich
- Geschwindigkeit sowie
 - Unterbrechungsfreiheit der Energieversorgung zu erfüllen.

Bahnenergieversorgungssysteme weisen gegenüber anderen elektrischen Energieversorgungssystemen folgende Besonderheiten auf:

- Die elektrischen Fahrzeuge sind zeitlich und örtlich veränderliche Verbraucher im Netz.
- Die Fahrzeuge können sowohl Verbraucher als auch Einspeiser sein.

- Die Fahrzeuge tauschen untereinander Energie über die Fahrleitung aus.
- Am Fahrzeugstandort sind große Spannungstoleranzen nach oben und unten bezüglich der Nennspannung zulässig.
- Die Lastgänge in elektrischen Bahnnetzen sind hochdynamisch.
- Infolge des Bahnbetriebs und äußerer Einwirkungen treten Kurzschlüsse deutlich häufiger als in anderen Elektroenergieversorgungsnetzen auf.
- Die Rückleitungsanlage liegt im öffentlichen Bereich und ist frei zugänglich.

Die Bahnenergieversorgung wird in folgende funktionale Teilsysteme untergliedert (Abb. 14.1):

Bahnenergieerzeugung

- Kraftwerke (fossile Wärmekraftwerke, Kernkraftwerke, Wasserkraftwerke, ggf. auch Windkraft- und Solaranlagen)
- Umformer-/Umrichterwerke

Bahnenergieübertragung

- Bahnstromleitungen inkl. Schaltwerke (nur bei zentraler BEV 16,7 Hz)
- bahneigene Kabelnetze (ggf. bei DC-Bahnen¹)

A. Stephan (✉)
TU Dresden, 01069 Dresden, Deutschland
E-Mail: arnd.stephan@tu-dresden.de

B. -W. Zweig
Balfour Beatty Rail GmbH, 63067 Offenbach/Main,
Deutschland
E-Mail: bernd-wolfgang.zweig@bbrail.com

¹ DC: Gleichstrom.

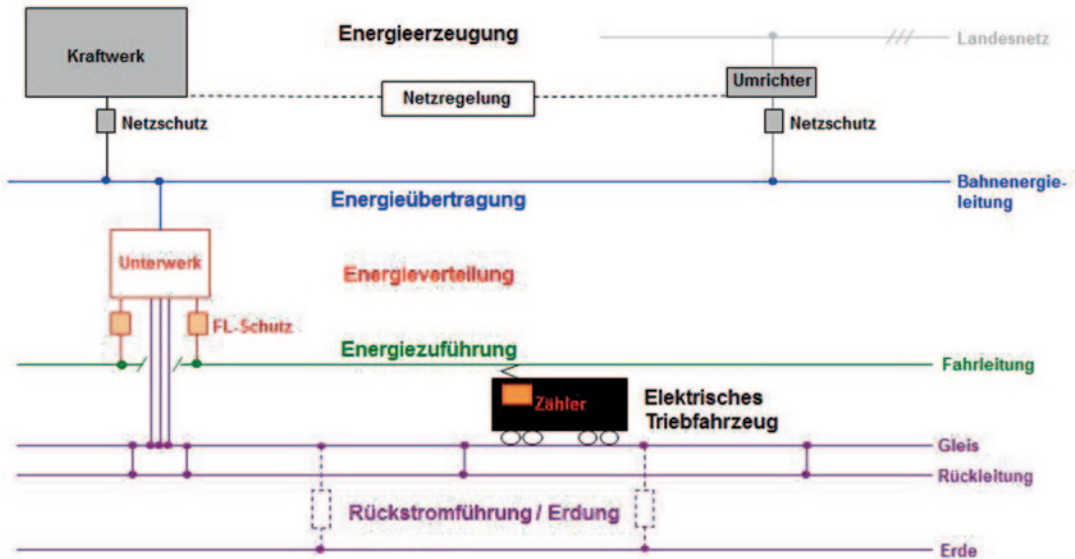


Abb. 14.1 Gesamtsystemstruktur der Bahnenergieversorgung

Bahnenergieverteilung

- Bahnspannwerke (Unterwerke für AC-Bahnen²)
- Gleichrichterunterwerke (Unterwerke für DC-Bahnen)
- Schaltposten/Kuppelstellen

Bahnenergiezuführung

- Fahrleitung (Oberleitung oder Stromschiene)

Bahnenergie Rückführung

- Gleise
- zusätzliche Rückleitungsanlagen
- Erdreich

14.1.2 Elektrifizierungswürdigkeit

Die Entscheidung zur Elektrifizierung von Bahnen wird maßgeblich von wirtschaftlichen Gesichtspunkten geprägt. Wichtigster Treiber dafür sind die hohe spezifische Leistung und der gute Wirkungsgrad des elektrischen Antriebs. Unter Berücksichtigung der im Bahnverkehr begrenzten Radsatzlasten und Fahrzeugabmessungen erlaubt die elektrische Antriebstechnik – vergli-

chen mit anderen Antriebstechnologien – die Installation deutlich höherer Traktionsleistungen in den Fahrzeugen. So haben z. B. moderne 4-achsige Elektrolokomotiven in Europa heute maximale Traktionsleistungen von ca. 6 ... 8 MW bei Radsatzfahrmassen von maximal 22 t, Diesellokomotiven mit vergleichbarer Radsatzfahrmasse und -anzahl leisten etwa nur ein Drittel davon.

Aus der hohen Leistungsfähigkeit des elektrischen Antriebs ergeben sich wesentliche betriebliche Vorteile:

- hohes Beschleunigungsvermögen über einen weiten Geschwindigkeitsbereich
- hohe erreichbare Fahrgeschwindigkeiten
- große Anhängelasten
- hohes Steigvermögen.

Für vergleichbare Traktionsaufgaben benötigt die elektrische Traktion weniger und hinsichtlich Beschaffung und Betrieb deutlich kostengünstigere Triebfahrzeuge. Aufgrund des hohen Wirkungsgrades bei der Energiewandlung im Elektroantrieb von 80 ... 90% und der Rückspeisefähigkeit beim generatorischen Bremsen ergibt sich zudem ein deutlich geringerer Fahrzeugenergiebedarf. Hinsichtlich des Fahrzeugbetriebs ist die Elektrotraktion somit grundsätzlich wirtschaftlicher. Auf Seiten der Bahninfrastruktur sind jedoch zusätzliche Aufwendungen für die Installation

² AC: Wechselstrom.

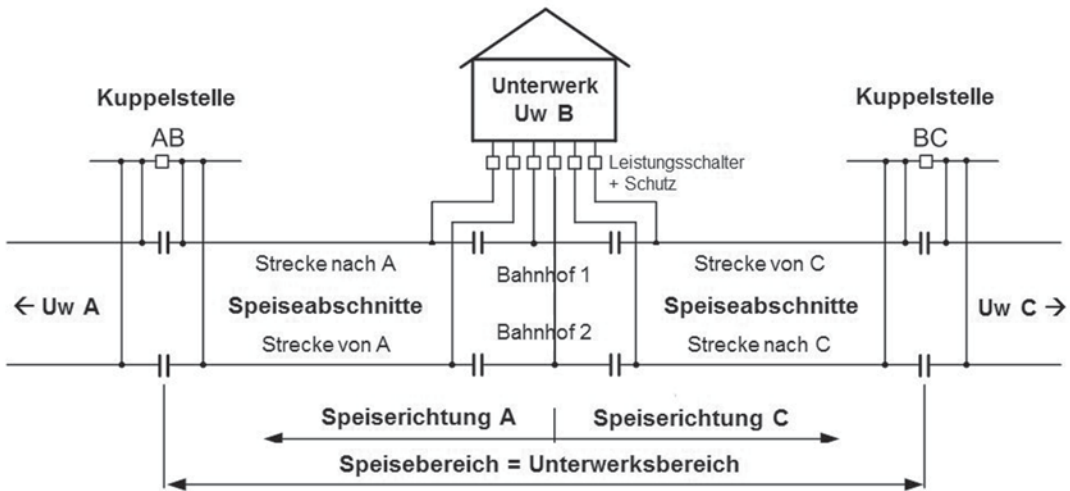


Abb. 14.2 Grundbegriffe der Speisung elektrischer Bahnen. Nach Biesenack et al. (2006)

und den Betrieb der elektrischen Bahnenergieversorgungsanlagen notwendig. Diese sind in ihrer Höhe allerdings relativ unabhängig vom Verkehrsaufkommen. Daraus ergibt sich, dass die Wirtschaftlichkeit der Elektrifizierung von Bahnen maßgeblich vom Verkehrsaufkommen (Streckenbelastung) bestimmt wird. Je höher die jährliche Streckenbelastung ist, desto eher lohnt sich die Elektrifizierung. In Mitteleuropa liegt der Grenzwert für die Elektrifizierungswürdigkeit heute bei Streckenbelastungen von 10 ... 20 Mio. Brutto-Tonnen pro Jahr (dies wären 30 ... 60 Züge à 500 t pro Tag und Richtung bzw. 2 ... 3 dieser Züge pro Stunde und Richtung). In Ländern mit signifikant geringeren Montage- und Elektroenergiekosten lohnt sich die Elektrifizierung auch schon bei geringeren Streckenbelastungen.

Weitere zwingende Gründe für die Elektrifizierung von Bahnen können – zusätzlich zur Wirtschaftlichkeit – sein:

- (lokale) Emissionsfreiheit, z. B. Metros, Stadtverkehr
- Hochgeschwindigkeitsverkehr.

14.1.3 Begriffsdefinitionen

Nachfolgend werden einige wichtige Fachbegriffe der Bahnenergieversorgung kurz eingeführt und erläutert (Abb. 14.2):

| | |
|-------------------|---|
| Bahnstromleitung | Hochspannungsfreileitung zum Transport von Bahnenergie |
| Unterwerk | Einrichtung zur Energieeinspeisung in die Fahrleitung mit Energiebezug aus einem vorgelagerten Energieversorgungsnetz (Hoch- oder Mittelspannung) |
| Schaltposten | Einrichtung zur Einspeisung in die Fahrleitung mit Energiebezug aus einem Unterwerk |
| Streckenabgang | elektrischer Abzweig im Unterwerk zur Einspeisung eines Speiseabschnitts, ausgestattet mit Leistungsschalter und Schutzgerät |
| Leistungsschalter | Trennschalter im Streckenabgang eines Unterwerks zum Zu- und Abschalten eines Speiseabschnitts der Fahrleitung unter Last |
| Schutzgerät | Einrichtung im Streckenabgang eines Unterwerks zur Fehlerstromüberwachung eines Speiseabschnitts der Fahrleitung |

| | |
|--------------------------|---|
| Speisekabel | Kabelverbindung vom Streckenabgang eines Unterwerks zum Speiseabschnitt der Fahrleitung |
| Fahrleitung | einpolige elektrische Energieleitung ausgeführt als Schleifkontakt mit definierter Lage zum Gleis |
| Speiseabschnitt | (auch: Fahrleitungsabschnitt, Sektor, Feeder): separat eingespeister und schaltbarer Abschnitt der Fahrleitungsanlage |
| Speisebereich | (auch: Unterwerksbereich): räumliche Ausdehnung aller Speiseabschnitte eines Unterwerks |
| Kuppelstelle | Einrichtung zum Verbinden einzelner Speiseabschnitte |
| Rückleitung | streckenseitige Anlagen zur Stromrückführung vom Fahrzeug zum Unterwerk |
| Rückleiteranschlusskabel | Kabelverbindung vom Gleis zur Rückleitersammelschiene im Unterwerk |

ges Drehmoment-Strom-Verhalten auf: bei konstanter Spannung ergibt sich aus dem mit der Drehzahl hyperbolisch abfallenden Drehmoment eine Begrenzung des maximalen Stroms.

Bei geringen Nennspannungen < 1.000 V, wie sie z. B. im Stadtverkehr oder bei S- und U-Bahnen mit Seitenstromschienen aus Sicherheitsgründen erforderlich sind, haben Gleichstrom-Bahnssysteme den Vorteil, dass die hohen Ströme nur ohmsche, aber keine induktiven Spannungsfälle³ in den Fahr- und Rückleitungen hervorrufen. Wechselstrombahnen mit derartig geringen Nennspannungen würden wegen der großen Ströme hohe induktive Spannungsfälle hervorrufen, häufigere Einspeisungen in die Fahrleitung erfordern und wären damit weniger wirtschaftlich. Weltweit wird deshalb bis heute ein großer Teil der elektrischen Bahnen – vor allem städtische Nahverkehrsbahnen – mit Gleichstrom betrieben. Wegen der Anforderungen an die Elektrosicherheit wird sich daran auch in Zukunft grundsätzlich nichts ändern.

Die Verwendung von Gleichstrom auch für die Fernbahnelektrifizierung hatte historisch den Nachteil, dass Gleichstrom nicht transformierbar war und daher die Spannung auf etwa 3.000 V (maximale Isolationsspannung der Erzeugermaschinen) begrenzt blieb. Dies erforderte zahlreiche Einspeisungen entlang der Strecken aus Energieversorgungsnetzen der Landesversorgung.

Anfang des 20. Jahrhunderts gab es deshalb Bemühungen vor allem in Deutschland, die guten Eigenschaften des Reihenschlussmotors als Antriebsmaschine mit den Vorteilen der Transformierbarkeit des Wechselstroms bei der Elektroenergieübertragung zu verbinden. Prinzipiell funktioniert der Reihenschlussmotor zwar auch mit Wechselspannung, aber bei Nutzung der Landes- bzw. Industriefrequenz von 50 oder 60 Hz traten dabei Probleme zutage, die zur damaligen Zeit technisch nicht lösbar waren, wie:

14.2 Bahnstromsysteme

14.2.1 Entwicklung und Verbreitung

Aufgrund der unterschiedlichen historischen und wirtschaftlichen Entwicklung in den einzelnen Ländern sowie der spezifischen technischen Anforderungen der elektrischen Bahnssysteme hat sich eine Reihe von unterschiedlichen Bahnstromsystemen etabliert.

Die ersten öffentlichen elektrischen Bahnen ab etwa 1880 waren Gleichstrombahnen (DC-Bahnen). Grund hierfür war die Verwendung der seinerzeit bereits vorhandenen Gleichstrom-Reihenschlussmaschine als Fahrmotor, bei der eine einfache Drehmoment-Drehzahl-Stellung allein über die Klemmenspannung möglich war. Die Reihenschlussmaschine weist zudem ein günsti-

³ früher auch als „Spannungsabfall“ bezeichnet.

- sehr hoher Kohlebürsten- und Kommutatorverschleiß des 50-Hz-Einphasen-Reihenschlussmotors durch starkes „Bürstenfeuer“ infolge der frequenzproportionalen transformatorischen Spannung in der kommutierenden Spule,
- unvertretbar große Werte der Spannungsunsymmetrie in den noch leistungsschwachen 50-Hz-Drehstromnetzen durch den ein- bzw. zweiphasigen Anschluss der Bahnunterwerke,
- unzulässig große induktive Beeinflussung von parallel zur elektrischen Bahn verlaufenden Leitungen.

Im Ergebnis umfangreicher Untersuchungen wurde als Kompromiss für die Bahnenergieversorgung das Einphasen-Wechselstromsystem mit der Nennspannung 15 kV und reduzierter (Sonder-) Frequenz von $50/3 \text{ Hz} = 16 \frac{2}{3} \text{ Hz}$ gewählt. Die direkte Einflussnahme der Fahrzeugantriebstechnik auf die Gestaltung der Bahnstromversorgung zeigte, dass die elektrische Bahn ein Gesamtsystem mit zahlreichen Wechselwirkungen ist. Das Sonderfrequenz-Bahnstromsystem 1 AC 15 kV $16 \frac{2}{3} \text{ Hz}$ ⁴ wurde 1912/1913 von drei deutschen Bahnverwaltungen eingeführt. Später übernahmen auch andere deutsche Länderbahnen sowie die Bahnverwaltungen von Österreich (BBÖ/ÖBB), Schweiz (SBB), Norwegen (NSB) und Schweden (SJ) dieses System. Eine geringfügige Änderung der Nennfrequenz von $16 \frac{2}{3}$ auf 16,7 Hz bei der zentralen Bahnenergieversorgung hat sich mittlerweile auch in der normativen Bezeichnung 1 AC 15 kV 16,7 Hz niedergeschlagen.

In Nordamerika wurde eine Sonderfrequenz von $50/2 \text{ Hz} = 25 \text{ Hz}$ gewählt.

In Frankreich (SNCF) wurde 1955 auf einer Tagung in Lille über erste gute Erfahrungen mit 50-Hz-Einphasenwechselstrom für die elektrische Zugförderung berichtet. Dank großer Fortschritte auf dem Gebiet der Leistungselektronik war es möglich geworden, die 50-Hz-Wechselspannung an Bord der Fahrzeuge wieder in Gleich- bzw. Mischspannung zur Speisung der

Fahrmotoren umzuwandeln, was die Anwendung dieses Systems nunmehr technisch möglich und wirtschaftlich lukrativ machte. Allerdings war zur Kompensation der dreifach höheren induktiven Spannungsfälle bei 50 Hz gegenüber $16 \frac{2}{3} \text{ Hz}$ die Wahl einer höheren Fahrleitungsspannung erforderlich, die schließlich auf 25 kV festgelegt wurde. Heute wird das Industriefrequenz-System 1 AC 25 kV 50(60) Hz weltweit bei Neuelektrifizierungen bevorzugt, weil es die geringsten Investitionen für die Bahnenergieversorgungsanlagen erfordert. Allerdings hat dieses System durch den unsymmetrischen Netzanschluss und die erforderlichen Phasentrennstellen in der Fahrleitung einige technische, energetische und bahnbetriebliche Nachteile.

Die Entwicklung von elektrischen Triebfahrzeugen mit Umrichter-gespeisten Drehstromantrieben ab den 1980-er Jahren vereinfachte die Auslegung der Fahrzeuge für mehrere Bahnstromsysteme. So wird der grenzüberschreitende Einsatz moderner elektrischer Mehrsystem-Triebfahrzeuge heute nicht mehr durch die verschiedenen Bahnstromsysteme, sondern durch abweichende Stromabnehmer-/Fahrleitungsgeometrien (siehe Abschn. 14.4), unterschiedliche Zugsicherungssysteme und/oder multinationale Zulassungsprobleme erschwert.

Die verschiedenen Bahnstromsysteme mit ihren Anwendungsbereichen sind in Tab. 14.1 dargestellt.

Tabelle 14.2 gibt einen Überblick über die in Europa genormten Nennspannungen für Bahnanwendungen einschließlich der zugelassenen Toleranzen. Hierbei fällt auf, dass bei Bahnstromsystemen im Unterschied zu öffentlichen Energieversorgungssystemen relativ große Spannungstoleranzen bezüglich der Nennspannung nach oben und unten akzeptiert werden. Dies ist einerseits der Ortsveränderung der Verbraucher (Züge) zuzuschreiben, da mit zunehmendem Abstand von der Einspeisung auch die Spannungsfälle über Fahr- und Rückleitung zunehmen. Um die Anzahl der Einspeisungen (Unterwerke) zu begrenzen, werden Spannungstoleranzen am Fahrzeugstromabnehmer bis -30% zugelassen. Zur

⁴ 1-Phasen-Wechselstrom 15 kV $16 \frac{2}{3} \text{ Hz}$.

Tab. 14.1 Bahnstromsysteme und Ihre Anwendung

| Bahnstromsystem | Nennspannung | Anwendung (Beispiele) |
|---|--------------|--|
| Gleichstrom DC | 600 V | Straßenbahnen, Trolleybus |
| | 750 V | S-, U-, Stadt-, Straßenbahnen |
| | 1,2 kV | Industriebahnen, S-Bahn |
| | 1,5 kV | Vorort-, Stadt-, Industriebahnen, Vollbahnen (F, NL) |
| | 2,4 kV | Industriebahnen |
| | 3 kV | Vollbahnen (CZ, E, I, PL, RUS, ...) |
| Einphasenwechselstrom 1 AC 16,7 Hz | 11 kV | Schmalspurbahnen (CH) |
| | 15 kV | Vollbahnen (A, CH, D, N, S) |
| Einphasenwechselstrom 1 AC 25 Hz | 12 kV | Vollbahnen (USA) |
| Einphasenwechselstrom 1 AC 50(60) Hz | 10 kV | Industriebahn |
| | 25 kV | Vollbahn (CN, F, GB, HU, RO, RUS ...) |
| | 50 kV | Spezialbahnen (CA, ZA) |

effektiven Nutzung der generatorischen Bremse ist andererseits eine ausreichende Spannungstoleranz nach oben erforderlich, damit bremsende Triebfahrzeuge Strom in die Fahrleitung zurückspeisen können. Zugelassen werden hierfür Toleranzen bis +20%. Das große zulässige Span-

nungstoleranzband bezüglich der Nennspannung stellt hohe Anforderungen an die Komponenten der Fahrzeugausrüstung.

14.2.2 Gleichstrombahnsysteme

Gleichstromsysteme sind weltweit im Nahverkehr dominierend. Bei Fernbahnen sind sie – infolge der historischen Entwicklung – ebenfalls noch weit verbreitet. Da ihre Leistungsfähigkeit aber insbesondere für den Hochgeschwindigkeitsverkehr stark eingeschränkt ist, setzen immer mehr klassische „Gleichstromländer“ beim Bau neuer (Hochgeschwindigkeits-)Strecken auf das Wechselstromsystem 1 AC 25 kV 50 Hz. Beispiele hierfür sind Spanien, Italien, die Niederlande und Russland.

Den grundsätzlichen Aufbau der Bahnenergieversorgung einer Gleichstrombahn zeigt Abb. 14.3.

Die Gleichrichter-Unterwerke beziehen ihre Energie aus Drehstromnetzen der öffentlichen 50-Hz-Energieversorgung. Im Nahverkehr sind dies meist städtische Netze der Nennspannungen 3 AC 10/20 oder 30 kV. In einzelnen Fällen betreiben die Bahnen auch eigene Mittelspannungsnetze zur Versorgung der Bahnunterwerke. Die Unterwerke verfügen eingangsseitig über eine dreipolige Mittelspannungs-Schaltanlage zur Anschaltung an die Drehstromnetze und zur internen Konfiguration der einzelnen Abzweige. Mit einem Drehstromtransformator wird die dreiphasige Eingangsspannung für die Gleich-

Tab. 14.2 Spannungen am Fahrzeugstromabnehmer nach EN 50163

| Bahnstrom-system | Niedrigste nicht-permanente Dauer-spannung $U_{\min 2}$ | Niedrigste Dauerspannung $U_{\min 1}$ | Nennspannung U_n | Höchste Dauerspannung $U_{\max 1}$ | Höchste nicht-permanente Spannung $U_{\max 2}$ |
|---------------------------------|--|--|-----------------------|---------------------------------------|---|
| Gleichstrom | | 400 V | 600 V | 720 V | 800 V |
| | | | 500 V | 750 V | 1.000 V |
| | | | 1.000 V | 1.500 V | 1.950 V |
| | | | 2.000 V | 3.000 V | 3.900 V |
| Wechselstrom (Effektivwerte) | 11.000 V | 12.000 V | 15.000 V | 17.250 V | 18.000 V |
| | 17.500 V | 19.000 V | 25.000 V | 27.500 V | 29.000 V |

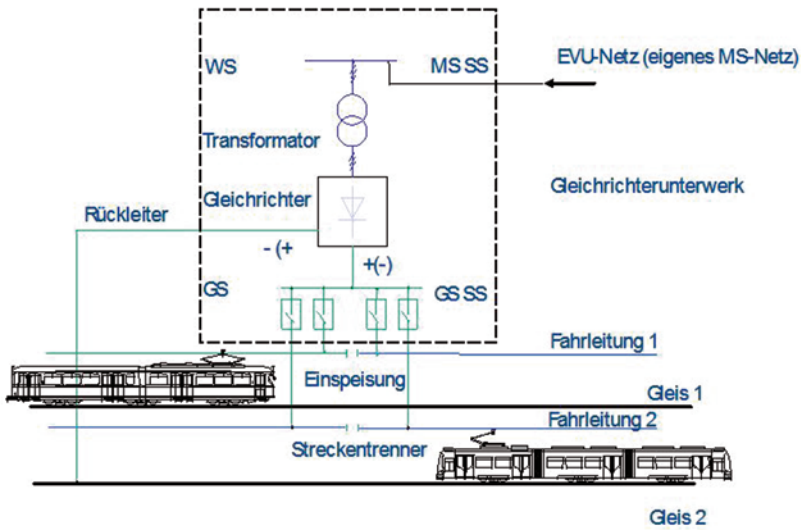


Abb. 14.3 Prinzipschaltbild der Bahnenergieversorgung mit Gleichstrom (SS Sammelschiene, WS Wechsellspannung, GS Gleichspannung, MS Mittelspannung)

richterschaltung herabgesetzt. Als Gleichrichter kommen aus Kostengründen meist ungesteuerte 6-Puls- oder 12-Puls-Diodenbrücken zur Anwendung. Seltener werden auch gesteuerte Gleichrichterschaltungen eingesetzt, um eine dynamische Spannungsnachführung im Gleichstromnetz zu ermöglichen oder um Bremsenergie von der Gleichstromseite zur Drehstromseite zurück zu speisen. Letzteres erfordert allerdings den Einsatz von sog. Umkehrstromrichtern, die bei Energieflussumkehr als dreiphasiger Wechselrichter arbeiten können.

Die Gleichspannung wird anschließend auf zwei einpolige Sammelschienensysteme für die Fahrleitung (meist positive Polarität) und die Rückleitung (meist negative Polarität) gespeist. Die (positive) Fahrleitungssammelschiene ist Bestandteil der Gleichstrom-Schaltanlage. Sie besteht aus den einzelnen Streckenabgängen, von denen die Speiseabschnitte über Leistungsschalter und Speisekabel versorgt werden. Die (negative) Rückleitungssammelschiene ist direkt und nicht schaltbar über die Rückleiteranschlusskabel mit den Gleisen verbunden. Aus Sicherheitsgründen (Ausfallredundanz) wird grundsätzlich

eine größere Anzahl Rückleiteranschlusskabel als Speisekabel verlegt.

Eine wichtige Besonderheit bei Gleichrichter-Unterwerken betrifft die Erdung und den Berührungsschutz im Unterwerk. Hintergrund dafür ist die grundsätzliche Forderung, dass die Rückleitungsanlagen von Gleichstrombahnen aus Gründen des Streustromschutzes keine leitfähige Verbindung zur Erde haben dürfen. Um einen sicheren Kurzschlusschutz für die Fahrleitungsschaltanlage im Unterwerk zu gewährleisten, müssen die (Gleichstrom-)Schaltschränke im Unterwerk dauerhaft mit der Rückleitung verbunden sein. Eine Verbindung der Schaltschränke zur Erde ist damit jedoch nicht zulässig, was der herkömmlichen Schutzphilosophie des allgemeinen Potenzialausgleichs in elektrotechnischen Betriebsräumen widerspricht. Aus diesem Grund werden die Gleichstrom-Schaltanlagen im Unterwerk isoliert gegen Erde aufgestellt und ihr Potenzial gegen Erde mit einem sog. Gerüstschlusschutz überwacht. Treten zu hohe Potentialdifferenzen zwischen Rückleitung und Bauwerkserde im Unterwerk auf, schaltet der Gerüstschlusschutz temporär Gleichstrom-Rückleitung und (Bauwerks-)

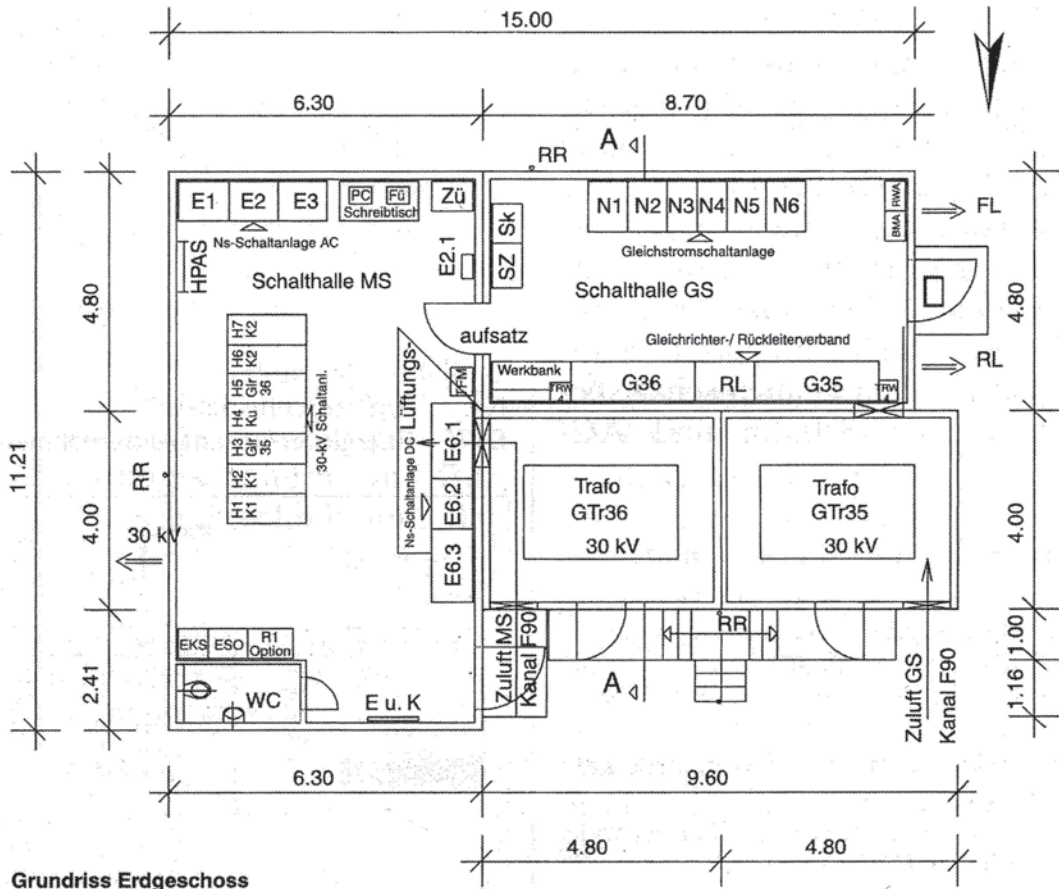


Abb. 14.4 Aufbau und Raumkonzept eines Gleichrichter-Unterwerks. Nach Biesenack et al. (2006)

Erde zusammen. Bautechnisch ergibt sich aus dieser Besonderheit, dass die Gleichspannungsschaltanlage in Gleichrichter-Unterwerken meist in einem separaten Raum untergebracht ist.

Abbildung 14.4 zeigt schematisch den Aufbau eines Gleichrichter-Unterwerks.

Da die Rückleitungsanlagen von Gleichstrombahnen (Gleise, Rückleiterverstärkung, Rückleiteranschlusskabel) wegen der Streustromproblematik isoliert gegen Erde auszuführen sind, ist eine direkte Verbindung von leitfähigen Teilen und Konstruktionen entlang der Bahn mit den Gleisen der Gleichstrombahn verboten. Zum Kurzschlusschutz bei Oberleitungsriss werden die potenziell betroffenen Konstruktionen im Oberleitungsbereich wie zum Beispiel Masten,

Geländer oder Stahlbrücken mittels Spannungsdurchschlagsicherungen an die Gleise angeschlossen. Man spricht in diesem Fall von einem „schwebenden Potenzialausgleich“ oder auch einer „offenen Erdung“. Zum Schutz vor hohen betrieblichen Potenzialanhebungen der Gleise, die an den Fahrzeugen leicht auch von Personen z. B. beim Ein- und Aussteigen abgegriffen werden können (Berührspannung), werden auf Stationen sog. Erdungskurzschließer eingesetzt, welche die Potentialdifferenzen zwischen Gleis und Erde permanent überwachen und bei Überschreitung von Grenzwerten eine temporäre Erdverbindung herstellen. Zusätzlich werden bei einigen Bahnen isolierende Bahnsteigbeläge verwendet.

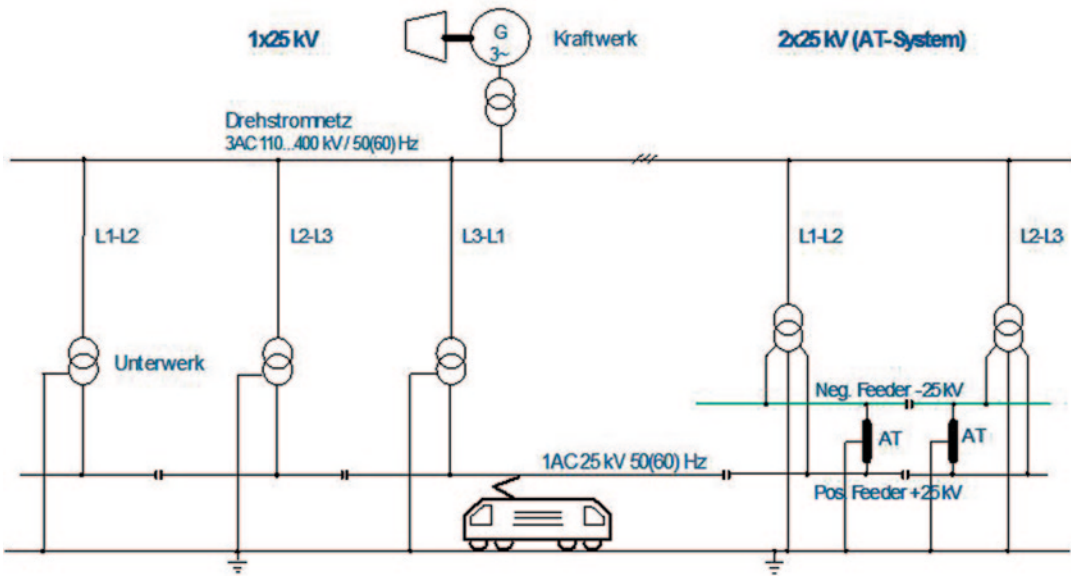


Abb. 14.5 Prinzipschaltbild der Bahnenergieversorgung mit Industriefrequenz

14.2.3 Wechselstrombahnsysteme mit Industriefrequenz

Wechselstrombahnsysteme mit der Industriefrequenz von 50 bzw. 60 Hz weisen heute im Eisenbahnbereich bezüglich der elektrifizierten Streckenlängen die größten Zuwachsraten auf. Ursache dafür ist die vergleichsweise einfache Systemstruktur für den Netzanschluss und die Bahnenergieverteilung. Dies führt zu geringeren Investitionen gegenüber anderen Bahnstromsystemen, weshalb dieses System auch meist für Neuelektrifizierungen gewählt wird.

Ein Prinzipschaltbild der Bahnenergieversorgung mit Industriefrequenz zeigt Abb. 14.5.

Die einphasige Bahnenergie wird aus Drehstrom-Landesnetzen zweipolig abgenommen. Aus Gründen der Leistungsfähigkeit werden hierfür meist Hochspannungsnetze 3 AC 110 kV oder 3 AC 220 kV genutzt. Je nach Netzform des speisenden Drehstromnetzes mit oder ohne Nullleiter (N) erfolgt der Anschluss entweder zwischen einer Phase des Drehstromnetzes und dem N-Leiter (als Strangspannung) oder zwischen 2 Phasen des Drehstromnetzes (als verkettete Spannung). Nach einer zweipoligen Hochspannungsschaltanlage wird die Phasenspannung

über einen Einphasentransformator auf das Bahnspannungsniveau herabgesetzt und über eine einpolige Mittelspannungsschaltanlage auf die einzelnen Streckenabgänge verteilt. Von diesen aus erfolgt die Einspeisung der Speiseabschnitte der Oberleitung über Leistungsschalter mit Schutzgerät und Speisekabel. Die Rückleiteranschlusskabel werden in Unterwerksnähe ans Gleis angeschlossen und schließen den Stromkreis zur Rückleitungssammelschiene im Unterwerk.

Die Rückleitungsanlage der Wechselstrombahn wird aus Gründen des Berührschutzes geerdet ausgeführt. Damit kann an allen nicht betriebsmäßig spannungsführenden leitfähigen Anlagen im Unterwerk (Schaltschränke, Einbauten, Bewehrung) der vollständige Potenzialausgleich über das Erdpotential ausgeführt werden.

Durch den ein- bzw. zweiphasigen Anschluss der Bahnenergieverteilung an die Drehstromnetze kommt es in diesen zur unsymmetrischen Belastung der drei Phasen, die als Stromunsymmetrie oder „Schieflast“ bezeichnet wird. Diese zieht infolge der daraufhin abweichenden Spannungsfälle im Drehstromnetz eine sog. Spannungsunsymmetrie nach sich, welche negative Auswirkungen auf andere an das Drehstromnetz angeschlossene dreiphasige Verbraucher hat. Deshalb fordern

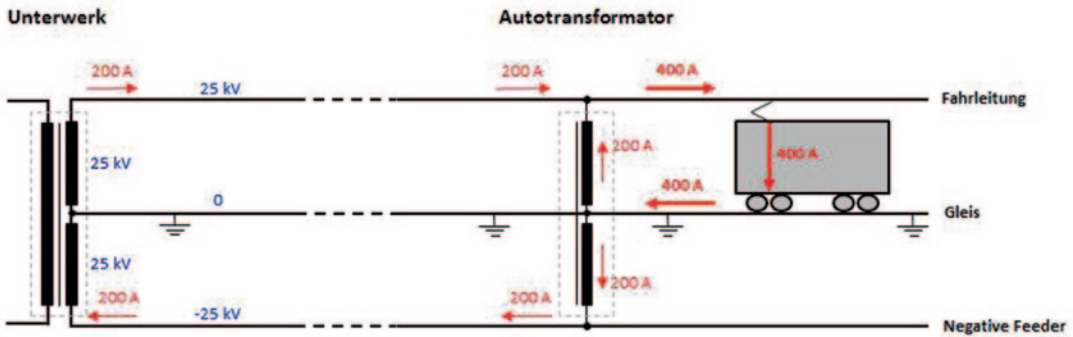


Abb. 14.6 Prinzipschaltbild des Mehrspannungssystems 1 AC 2×25 kV mit Autotransformatoren. Nach Biesenack et al. (2006)

die Netzbetreiber die Einhaltung einer maximal zulässigen Spannungsunsymmetrie u_U am Anschlusspunkt der Bahnunterwerke. Diese liegt meist zwischen 0,7 und 1% der Nennspannung und begrenzt die mögliche Anschlussleistung der Bahn in Abhängigkeit von der Leistungsfähigkeit des Drehstromnetzes. Letztere wird durch die sog. „Netzkurzschlussleistung S_k “ repräsentiert, die vom Netzbetreiber für jeden Netzpunkt entsprechend dem Schaltzustand ermittelt wird. Übersichtsmaßig kann die maximal mögliche einphasige Bahnanschlussleistung $S_{\max 1}$ über die **Beziehung**

$$S_{\max 1} = u_U \cdot S_k \quad (14.1)$$

ermittelt werden. Beträgt z. B. die Netzkurzschlussleistung im Drehstromnetz $S_k = 3.000$ MVA, so darf bei 1% zulässiger Spannungsunsymmetrie die Bahnleistung nicht größer als $S_{\max 1} = 30$ MVA sein. Bei typischen Bahnanschlussleistungen von 25 ... 40 MVA kommen drehstromseitig für den Netzanschluss somit nur Hochspannungsnetze in Frage, die über entsprechende Kurzschlussleistungen verfügen. Bei Hochleistungsbahnen mit Anschlussleistungen von 60 MVA und darüber genügen meist sogar 110-kV-Netze nicht mehr, so dass auf Drehstromnetze mit höheren Spannungen ausgewichen werden muss.

Die begrenzte unsymmetrische Bahnlast im Drehstromnetz hat auch auf der Bahnseite strukturelle und betriebliche Auswirkungen. Zur Re-

duzierung der Spannungsunsymmetrie erfolgt ein zyklisch vertauschter Anschluss der einzelnen Bahnunterwerke an die verschiedenen Leiter des Drehstromnetzes. Dies erzwingt allerdings sog. Phasentrennstellen in der Oberleitung der Bahn zwischen den aus verschiedenen Drehstromphasen versorgten Speisebereichen der Unterwerke. Die Phasentrennstellen müssen von den Zügen leistungslos durchfahren werden und sind damit sowohl betrieblich als auch energetisch nachteilig. Sie verhindern ein durchgeschaltetes Fahrleitungsnetz, was negative Konsequenzen für die Energieeffizienz hat. Gleichfalls wird die Rückspeisung von Bremsenergie unterbrochen; anders als bei Sonderfrequenzbahnen müssen die Fahrzeuge daher mit Bremswiderständen ausgerüstet werden. Die vorteilhafte zweiseitige Einspeisung wird bei Industriefrequenzbahnen i. d. R. nicht ausgeführt. Die einseitige Einspeisung begrenzt wegen der höheren Spannungsfälle in der Fahrleitung jedoch die mögliche Speiseabschnittslänge, weshalb die Unterwerksabstände bei Industriefrequenzbahnen geringer sind.

Bei leistungsfähigen Bahnen, vor allem für Hochgeschwindigkeitsstrecken, kommt seit einigen Jahren häufiger das sog. Mehrspannungssystem 1 AC 2×25 kV zur Anwendung (Abb. 14.6). Es verfügt zusätzlich zur Fahrleitung über einen zweiten spannungsführenden Leiter, der entlang der Strecke als Freileitung auf den Masten mitgeführt wird. Dieser wird als Negativ-Feeder bezeichnet und hat gegenüber der Rückleitung (Erde) das gleiche Potenzial wie die Fahrleitung,

allerdings mit entgegengesetzter Phasenlage. Auf diese Weise liegt zwischen Fahrleitung (Positiv-Feeder) und Negativ-Feeder die doppelte Spannung an. Über sog. Autotransformatoren in Sparschaltung werden beide Potenziale in regelmäßigen Abständen entlang der Strecke miteinander verbunden, wobei die Mitte der Autotransformatorwicklung auf das Schienen- bzw. Erdpotential gelegt wird. Das Durchflutungsgleichgewicht der beiden identischen, aber entgegengesetzt geschalteten Teilwicklungen (Fahrleitung – Schiene und Negativ-Feeder – Schiene) bewirkt, dass sich der in den Schienen fließende Rückstrom am nächsten Autotransformator gleichmäßig aufteilt und idealerweise jeweils zur Hälfte in die Fahrleitung und in den Negativ-Feeder fließt. Damit wird zwischen Unterwerk und Autotransformator die Fahrzeugleistung mit doppelter Spannung übertragen, was den Strom halbiert. In der Folge ergeben sich geringere Spannungsfälle und Verluste; dies trägt zur Vergrößerung der Speisebereichslänge bei. Durch räumliche Führung des Negativ-Feeders in Höhe der Fahrleitung wird außerdem eine gute Magnetfeldkompensation zwischen Hin- und Rückleitung erreicht, was den Einsatz des Mehrspannungssystems auch aus Gründen der elektromagnetischen Verträglichkeit vorteilhaft macht. Allerdings ist dieses System mit deutlich höherem Aufwand entlang der Strecke verbunden: Autotransformatoren im Abstand von im Mittel 10 ... 15 km, zweipolige Mittelspannungs-Schaltanlagen in den Unterwerken und den Autotransformator-Stationen sowie der für 25 kV gegen Erde (und 50 kV gegen Fahrleitung) isolierte Negativ-Feeder bedingen höhere Investitionen und Betriebskosten. Das grundsätzliche Problem der Unsymmetrie im Drehstromnetz wird durch das Mehrspannungssystem allerdings nicht verbessert, eher im Gegenteil: infolge der vergrößerten Speisebereichslängen mit höheren Zugzahlen nimmt die Bahnleistung weiter zu, was die Unsymmetrie noch vergrößert.

Industriefrequenzbahnen sind zwar hinsichtlich der Investitionen günstiger als Sonderfrequenzbahnen, weisen allerdings aus den dargestellten Gründen bahn- und netzbetriebliche Nachteile auf.

14.2.4 Wechselstrombahnsysteme mit Sonderfrequenz

Derartige elektrische Bahnen zeichnen sich durch eine von der Landes- bzw. Industriefrequenz abweichende Nennfrequenz aus. Gebräuchlich sind heute 16,7 oder 16 2/3 Hz in Mitteleuropa und 25 Hz in Nordamerika. Mit dem Bahnstromsystem 1 AC 15 kV 16,7 Hz werden in Europa heute über 50% der elektrischen Transportleistungen gefahren. Der weltweite Zuwachs an elektrifizierten Strecken mit Sonderfrequenz beschränkt sich allerdings auf Netzerweiterungen bei diesen Bahnen.

Grundsätzlich unterscheidet man bei den Sonderfrequenz-Bahnstromsystemen zwischen zentraler und dezentraler Bahnenergieversorgung. Bei der zentralen Bahnenergieversorgung wird die Bahnenergie mit Sonderfrequenz in großen Einheiten an zentralen Stellen (meist in Lastschwerpunkten) erzeugt und über ein bahneigenes Hochspannungsnetz (DB AG/ÖBB: 110 kV, SBB: 132 kV) verteilt.

Bei der dezentralen Bahnenergieversorgung wird die Bahnenergie durch kleinere Umformer-/Umrichtereinheiten in Unterwerken an der Strecke erzeugt und direkt in die Fahrleitung eingespeist. Die Energie wird dreiphasig aus Netzen der Landesenergieversorgung ohne Unsymmetrie entnommen. Dezentrale Systeme mit Sonderfrequenz gibt es heute in Nordostdeutschland (DB AG), in Schweden (Banverket, SJ), Norwegen (Jernbanverket, NSB) und in den USA.

Ein Prinzipschaltbild der Bahnenergieversorgung mit Sonderfrequenz zeigt Abb. 14.7. Der Systemaufbau wird im nachfolgenden Kapitel anhand der elektrischen Bahnenergieversorgung bei der Deutschen Bahn beschrieben.

14.3 Die 16,7-Hz-Bahnenergieversorgung in Deutschland

14.3.1 Gesamtstruktur

Die Eisenbahn ist in Deutschland der Elektroenergieverbraucher mit dem größten Einzelenergiebedarf. Allein der Gesamtenergiebedarf aller

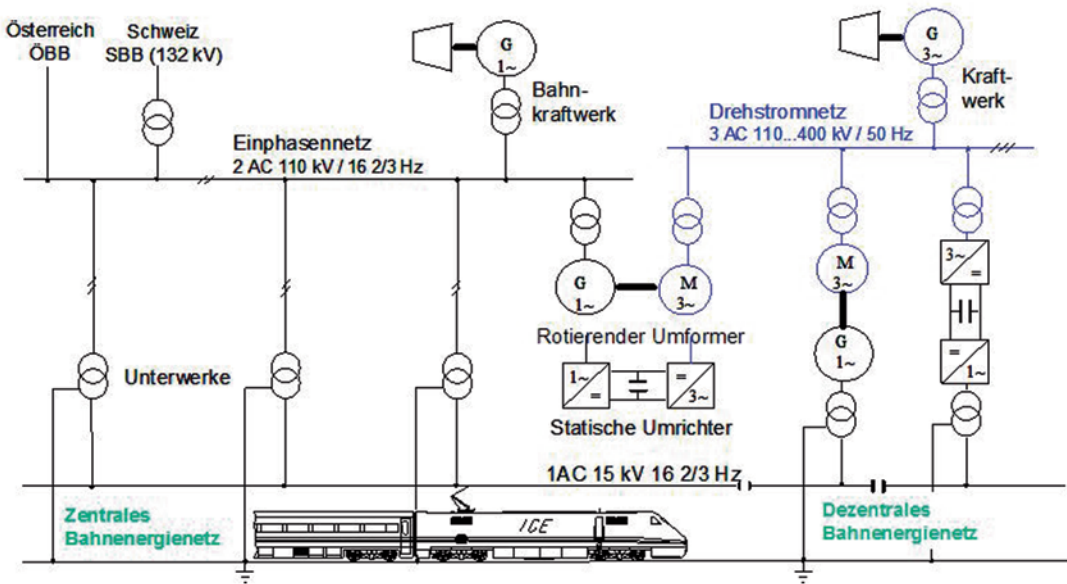


Abb. 14.7 Prinzipschaltbild der Bahnenergieversorgung mit Sonderfrequenz 16,7 Hz

Konzernunternehmen der DB AG beträgt aktuell ca. 11,3 TWh pro Jahr. Dieser gliedert sich auf in die elektrische Traktionsenergie für den Fahrbetrieb der Züge (ca. 9,6 TWh) sowie die elektrische Energie für den Betrieb der bahntechnischen und sonstigen Anlagen (z. B. Weichenheizungen 110 GWh, Zugvorheizanlagen 120 GWh, allgemeine 50-Hz-Versorgung 1470 GWh).

Circa 90% der Schienenverkehrsleistung auf den Strecken der DB Netz AG werden heute mit elektrischer Energie erbracht. In Zukunft wird dieser Anteil durch weitere Elektrifizierung und den Einsatz von Hybrid- bzw. Speicherfahrzeugen auf nichtelektrifizierten Strecken noch zunehmen. Die verlässliche Deckung des Elektroenergiebedarfs und der effiziente Einsatz dieser Energie sind zentrale Themen für die Wettbewerbs- und Zukunftsfähigkeit des Eisenbahnverkehrs in Deutschland.

Die in Deutschland verwendete und von der Landesfrequenz 50 Hz abweichende Bahnstrom-Sonderfrequenz von 16,7 Hz bzw. 16 2/3 Hz ist historisch bedingt und wurde bereits in der Anfangszeit der Streckenelektrifizierung nach 1912 gewählt, um elektrische Triebfahrzeuge mit Einphasenwechselstrom-Reihenschlussfahrmotoren technisch und wirtschaftlich vorteilhaft betreiben

zu können. Obwohl diese Anforderung heute in den Hintergrund getreten ist, hat sich die Sonderfrequenz insbesondere hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit des Energieeinkaufs, der Verfügbarkeit der Bahnstromversorgung, des Netzbetriebes, der Energieeffizienz im Fahrleitungsnetz sowie aus bahnbetrieblichen Gründen bewährt.

Zur Versorgung der elektrifizierten Eisenbahnstrecken in Deutschland betreibt die Deutsche Bahn AG ein eigenes Energieübertragungsnetz mit der Nennspannung 2 AC 110 kV 16,7 Hz. Dieses auch als „Bahnstromnetz“ bezeichnete Übertragungsnetz hat eine Netzausdehnung von ca. 7.800 km Trassenlänge und versorgt aktuell ca. 180 Bahnunterwerke. In das Bahnstromnetz speisen Kraftwerke mit 16,7-Hz-Einphasengeneratoren sowie zentrale Umformer- und Umrichterwerke verschiedener Energieversorgungsunternehmen ein. Aus dem 110-kV-Bahnstromnetz wird der überwiegende Teil der mit der Nennspannung 1 AC 15 kV 16,7 Hz elektrifizierten Eisenbahnstrecken über Einphasentransformatoren und einpolige Schaltanlagen eingespeist. Abb. 14.8 zeigt die Netzstruktur in Deutschland.

Für den Netzbetrieb mit allen Schalthandlungen, die Leistungsregelung der Erzeuger und die



Abb. 14.8 Netzstruktur des 2 AC 110 kV 16,7-Hz-Bahnstromnetzes der DB Energie. Aus: Elektrische Bahnen, Heft 3/2012

Instandhaltung des Bahnstromnetzes sowie den Energieeinkauf ist das Konzernunternehmen DB Energie GmbH zuständig.

In Netzbereichen, in denen das zentrale 2 AC-110-kV-Übertragungsnetz aus historischen Gründen nicht vorhanden ist (vorrangig in Nordostdeutschland), werden die Fahrleitungsanlagen über rotierende Umformer oder leistungselektronische Umrichter mit Sonderfrequenz 16 2/3 Hz dezentral aus 50-Hz-Drehstromnetzen der Landesenergieversorgung gespeist. Die über rotierende Umformer dezentral gespeisten Strecken lassen sich wegen des starren Frequenzverhältnisses von 3:1 zum 50-Hz-Landesnetz nicht mit den zentral gespeisten Strecken zusammenschalten. Insofern existieren heute in Deutschland noch zwei getrennte Netzbereiche, deren Fahrleitungsanlagen intern jeweils vollständig elektrisch durchgekuppelt betrieben werden können. Nach dem zukünftig angestrebten Ersatz aller rotierenden Umformer durch Umrichter im dezentralen Netz wird eine Zusammenschaltung des gesamten 16,7-Hz-Fahrleitungsnetzes der DB Netz AG möglich.

14.3.2 Teilsysteme

14.3.2.1 Bahnenergieerzeugung 16,7 Hz

Die gesamte installierte Erzeugerleistung für Bahnstrom mit Sonderfrequenz beträgt ca. 3.000 MW. Die 16,7-Hz-Energieerzeuger sind weiträumig über das gesamte Bahnstromnetz verteilt. Große Erzeugerleistungen sind vorrangig in Lastschwerpunkten konzentriert. Es gibt Grundlasterzeuger (hauptsächlich Laufwasser-, Kernkraft- und Kohlekraftwerke), Mittellasterzeuger (Dampfkraft-, Umformer- und Umrichterwerke) und Spitzenlasterzeuger (Umformer- und Umrichter- sowie Pumpspeicherwerke).

Die 16,7-Hz-Einphasen-Synchrongeneratoren in Kraft- und Umformerwerken sind Spezialmaschinen, die nur in geringer Stückzahl gefertigt wurden. Durch das pulsierende Drehmoment der Einphasenleistung ist eine federnde Aufstellung erforderlich. Aufgrund der Einphasigkeit ist die Ständerwicklung über den Maschinenumfang nur teilbewickelt, wodurch die elektromagneti-

sche Ausnutzung und die Leistungsdichte geringer sind als bei Dreiphasenmaschinen. Wegen dieser Spezifika und des geringen Teillastwirkungsgrades ist es heute wirtschaftlicher, die Bahnenergie mittels dreiphasiger Maschinen der Landesenergieversorgung mit 50 Hz zu erzeugen und anschließend über statische Umrichter in Einphasenenergie mit 16,7 Hz zu wandeln. Neuere Bahnstromerzeuger bedienen sich dieser Technologie.

Der aktuelle Energiemix der DB AG ist noch dominiert von thermisch erzeugter elektrischer Leistung (Kohle, Gas, nuklear). Allerdings kann bereits heute ein überdurchschnittlich hoher regenerativer Anteil von über 20% (Wasser, Wind) ausgewiesen werden. Erklärtes Ziel der DB AG ist es, bis 2050 vollständig auf regenerative Energie umzusteigen und damit eine emissionsfreie Elektromobilität auf der Schiene anzubieten.

Mit Ausnahme zweier kleiner Wasserkraftwerke besitzt die DB Energie selbst keine eigenen Kraftwerke zur Erzeugung der Bahnenergie mit Sonderfrequenz. Der Energiebezug aus den 16,7-Hz-Kraftwerken anderer Betreiber ist über langfristige Verträge abgesichert. Die Mehrzahl der Umformer- und dezentralen Umrichterwerke ist jedoch im Eigentum der DB Energie und wird von dieser betrieben.

Die infolge des Zugbetriebes hochdynamische elektrische Bahnlast mit Lastgradienten von bis zu ± 300 MW/s stellt besondere Anforderungen an die Leistungsregelung – d. h. die Regelung des Erzeugereinsatzes – im Bahnstromnetz und an den Energieeinkauf. Die DB Energie nutzt hierfür spezialisierte Werkzeuge zur fahrplan- und erfahrungsbasierten Lastprognose. Auf Basis von Prognose- und IST-Werten übernimmt die Hauptschaltleitung (HSL) der DB Energie in Frankfurt/M. die Funktion der netzweiten Leistungsregelung. Einer zentralen Sekundärregelung für alle Erzeuger ist dabei die Primärregelung der einzelnen Erzeugermaschinen nach individueller Frequenz-Wirkleistungscharakteristik (sog. f-P-Statik) unterlagert. Die Netzfrequenz dient als Indikator für den Lastzustand im Netz. Bei Frequenzänderungen reagiert die Primärregelung jedes Erzeugers mit einer mehr oder weniger starken Leistungsänderung. Grundlasterzeuger fahren mit „steiler“ Statik, d. h. sie ändern bei

Frequenzschwankungen ihre Wirkleistung nur geringfügig. Spitzenlasterzeuger haben eine „flache“ Statik und übernehmen somit automatisch die Leistungsspitzen. Die Primärregelung dient vorrangig zur Gewährleistung der Netzstabilität bei schnellen Laständerungen. Die nachgelagerte, zentrale Sekundärregelung übernimmt anschließend die netzweite Nachregelung aller Erzeugerleistungen. Im Bahnstromnetz der DB Energie wird derzeit eine Regelleistung von ca. 500 MW vorgehalten.

Die für den Netzbetrieb benötigte Blindleistung wird möglichst regional in Bedarfsnähe erzeugt. Als Indikator dient die Netzspannung (sog. U-Q-Regelung). Im Netzbetrieb kann es durchaus vorkommen, dass bestimmte Erzeuger vorrangig (oder sogar ausschließlich) im sog. Phasenschieberbetrieb, d. h. als reine Blindleistungserzeuger, laufen, während die Wirkleistung preisgünstig an anderer Stelle erzeugt wird.

Die zukünftig geplante weitere Umstellung der Bahnenergieerzeugung zugunsten höherer Anteile der Umrichter-Einspeisung sowohl in das 110-kV-Bahnstromnetz als auch in die 15-kV-Fahrleistungsanlagen bietet aus heutiger Sicht vor allem energiewirtschaftliche Vorteile, die in der hohen Regeldynamik sowie dem hohen Wirkungsgrad der Umrichter auch bei großer Lastdynamik und damit in größeren Freiheitsgraden bei der Wahl des Energiebezugs begründet sind. Zudem haben leistungselektronische Umrichter inzwischen deutlich geringere Lebenszykluskosten als rotierende Umformer, die aus Spezialmaschinen bestehen.

Herausforderungen für den vermehrten Umrichtereinsatz in der Bahnenergieerzeugung stellen der Netzschutz und die Netzstabilität dar. Einerseits besitzen Umrichter keine rotierenden Massen, die im Falle von hochdynamischen Laständerungen, z. B. beim Kurzschluss, eine temporäre Energiereserve darstellen. Daraus resultieren hohe absolute Stromanstiege, die klassisch zur Kurzschlusserkennung im Fahrleitungsnetz genutzt werden. Bei Umrichterspeisung ist der Maximalstrom aufgrund des Eigenschutzes der Umrichtermodule begrenzt, wodurch die Kurzschlusserkennung anspruchsvoller wird. Andererseits weisen Umrichter eine hohe Regeldynamik auf, was im Zusammenwirken mit den Netzparametern und ggf. anderen Umrichtern auf den

Fahrzeugen zu regelungstechnischen Instabilitäten führen könnte. Hier besteht zukünftig noch Forschungsbedarf.

14.3.2.2 Bahnenergieübertragung

Der Leitungsaufbau des Bahnstromnetzes ist zweipolig mit entgegengesetzter Phasenlage, die Leiter-Erde-Nennspannung beträgt je 55 kV pro Phase. Daraus ergibt sich für die Energieübertragung eine Leiter-Leiter-Nennspannung von 110 kV.

Das deutsche Bahnstromnetz hat aktuell eine Trassenlänge von 7.785 km und ist landesweit – mit Ausnahme im Raum nordöstlich von Berlin – vorhanden. Das Netz wird landesweit durchgekuppelt und mit resonanzgeerdetem Sternpunkt betrieben, was die Löschfähigkeit und den unterbrechungsfreien Weiterbetrieb ohne Schaltaktionen bei flüchtigen einpoligen Erdschlüssen sichert. Der für die Löschfähigkeit zulässige maximale Erdschlussreststrom ist derzeit im Gesamtnetz fast erreicht. Aus diesem Grund sind großräumige Netzerweiterungen oder die Installation von Kabelstrecken mit hoher kapazitiver Wirkung nicht ohne weiteres möglich.

Mit dem weitgehend identisch aufgebauten 110-kV-Bahnstromnetz der Österreichischen Bundesbahn besteht ein galvanischer Netzverbund über zwei grenzüberschreitende Bahnstromleitungen. Mit dem 132-kV-Bahnstromnetz der Schweiz gibt es ebenfalls zwei Netzkupplungen über Trenntransformatoren, da das Schweizer Netz mit höherer Nennspannung und starrer Sternpunktterdung betrieben wird.

Die Bahnstromleitungen führen i. d. R. 2 Systeme mit ± 55 kV Strangspannung, d. h. 4 Einzelleiter bzw. Leiterbündel. Die konkret ausgeführte Beseilung richtet sich nach der Last auf den Leitungsabschnitten. Für den regulären Netzbetrieb gibt es dafür mehrere Standard-Lastfälle, die sich je nach Wochentag, Tageszeit und Betriebslage unterscheiden. Für Sonderbetriebsfälle haben die Leitungen entsprechende Belastungsreserven.

Abbildung 14.9 zeigt Mastbilder eines typischen Bahnstromleitungsmastes mit zwei Stromkreisen. In Lastschwerpunkten und bei Verzweigungen können bis zu 4 Systeme auf einem Mast mitgeführt werden.

Der Netzbetrieb des 110-kV-Bahnstromnetzes wird von der Hauptschaltleitung der DB Energie

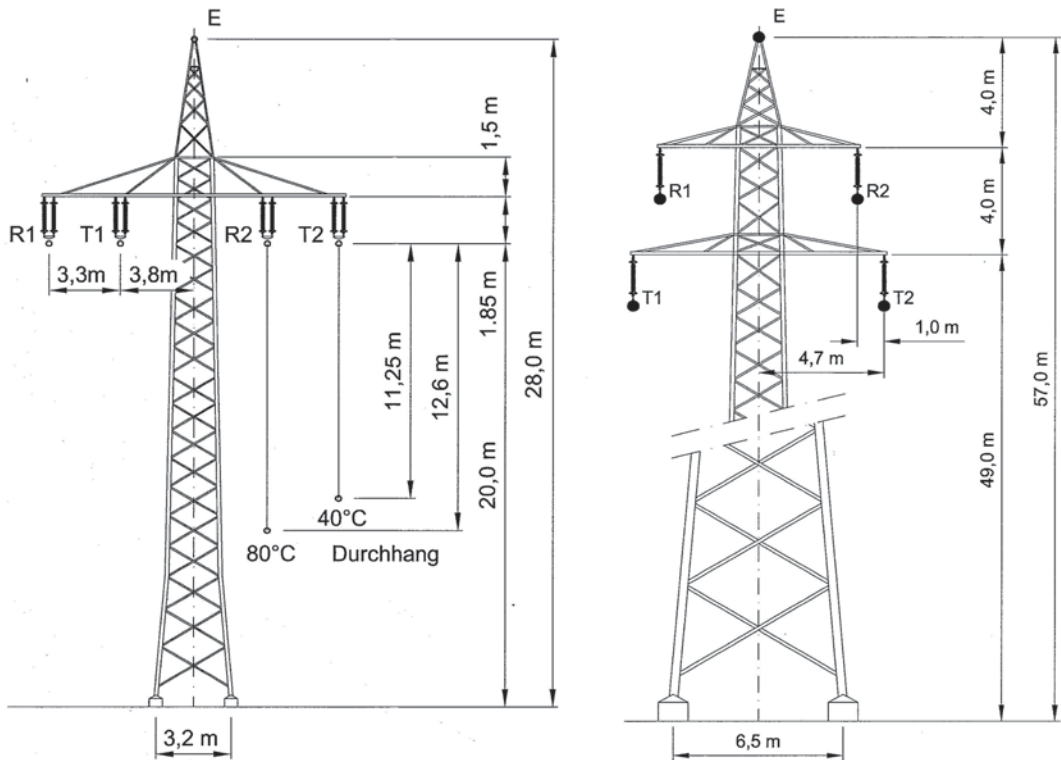


Abb. 14.9 Bahnstromleitungsmasten 2 AC 110 kV der DB Energie. Nach Biesenack et al. (2006)

in Frankfurt geführt. Das gesamte Netz ist mit Fernwirktechnik ausgestattet.

14.3.2.3 Bahnenergieverteilung

Die Einspeisung der Oberleitungen des ca. 18.000 km langen elektrifizierten Streckennetzes erfolgt derzeit über 182 Unterwerke. Diese sind hinsichtlich ihres Anschlusses an das 110-kV-Bahnstromnetz als Block- oder Knotenunterwerke ausgeführt. Blockunterwerke werden aus dem 110-kV-Netz im Stich gespeist. Bei Knotenunterwerken wird die Bahnstromleitung durchgeschleift, so dass mit der Hochspannungsschaltanlage des Unterwerks Konfigurationsmöglichkeiten für das Bahnstromnetz bestehen.

Die Unterwerke besitzen eine zweipolige 110-kV-Freiluftschaltanlage, i. d. R. zwei einphasige Leistungstransformatoren 110/15 kV (meist 2×10 MVA oder 2×15 MVA) und eine sog. Normschaltanlage für die 15-kV-seitige Verteilung. Jedes 15-kV-Streckenabgangsfeld hat einen Leistungsschalter und eine Fahrleitungsschutzeinrichtung.

Die Zuführung zu den Oberleitungsanlagen der Strecke erfolgt über Kabel oder kurze Freileitungen. Die Rückleiteranschlüsse an den Gleisen werden ebenfalls über Kabel ins Unterwerk zurückgeführt. Im Unterwerk sind alle Rückleiterkabel betrieblich nicht schaltbar an der geerdeten Rückleitersammelschiene zusammengefasst.

Abbildung 14.10 zeigt den Aufbau eines typischen Bahnunterwerks der DB Energie.

14.3.2.4 Bahnenergiezuführung

Die streckenseitige Energiezuführung zu den elektrischen Triebfahrzeugen wird über Kettenwerks oberleitungen realisiert. Die Oberleitungsanlagen gehören zum Zuständigkeitsbereich der DB Netz AG. Die Oberleitung ist aus betrieblichen und schutztechnischen Gründen in einzelne Speiseabschnitte unterteilt, die separat vom Unterwerk eingespeist und geschaltet werden können. Standardmäßig werden die Speiseabschnitte der Oberleitung zweiseitig von zwei benachbarten Unterwerken eingespeist. In der

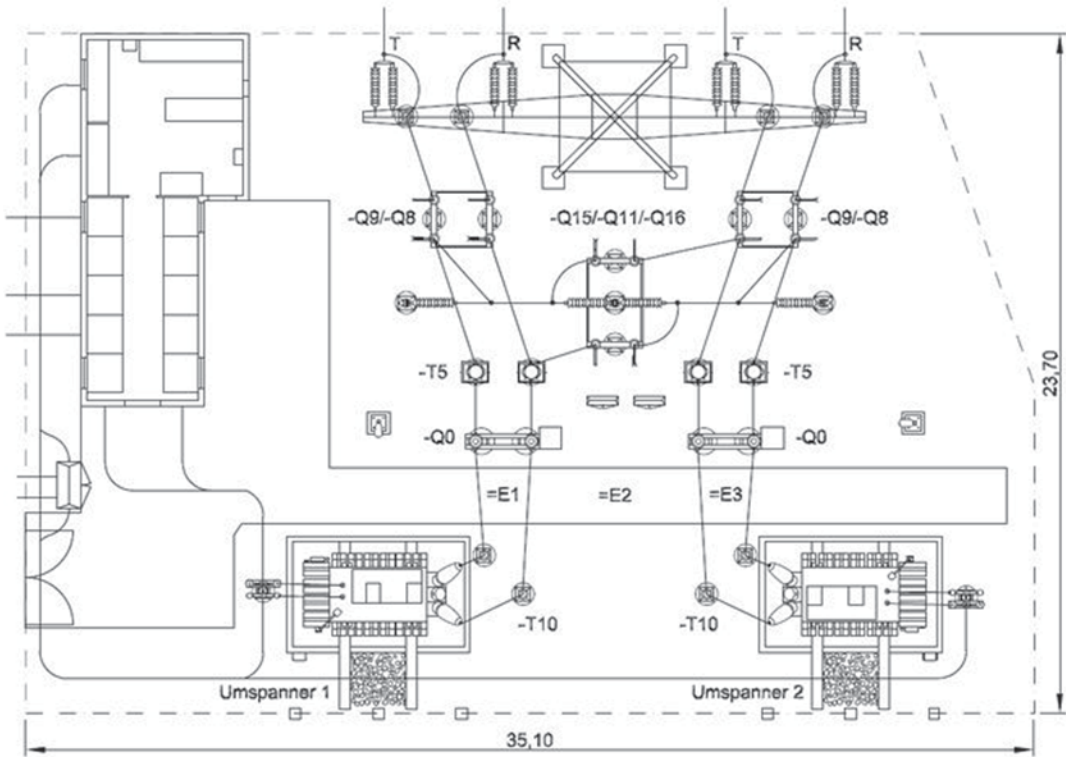


Abb. 14.10 Unterwerk 110/15 kV 16,7 Hz der DB Energie. Nach Biesenack et al. (2006)

Mitte zwischen zwei benachbarten Unterwerken befindet sich i. d. R. eine sog. Kuppelstelle, die im Fehlerfall eine Auftrennung zwischen den angrenzenden Speiseabschnitten ermöglicht. Die separate Versorgung der Speiseabschnitte dient vorrangig der Selektivität im Fehlerfall. Das gesamte Fahrleitungsnetz der DB Netz AG im Bereich der zentralen Bahnstromversorgung wird elektrisch durchgekuppelt betrieben. Dies hat bahnbetriebliche und energetische Vorteile.

14.3.2.5 Elektrische Triebfahrzeuge

Die elektrischen Triebfahrzeuge haben eine dem Bahnstromsystem angepasste elektrische Antriebsausrüstung. Beim System 1 AC 15 kV 16,7 Hz wurden Lokomotiven bis Anfang der 1990er Jahre als Direktmotorlokomotiven ausgeführt. Dabei wird die Fahrleitungsspannung über den Fahrzeugtransformator herabgesetzt und über ein Schaltwerk in verschiedenen Stufen den Wechselstrom-Kommutatormotoren zur Stellung von Zugkraft und Geschwindigkeit zur

Verfügung gestellt. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die Wechselspannung nach dem Fahrzeugtransformator gleichzurichten und dann über ein Schaltwerk mit Widerständen oder über einen Gleichstromsteller die Steuerung von Zugkraft und Geschwindigkeit der Mischstrommotoren vorzunehmen. Modernere elektrische Lokomotiven und Triebzüge werden seit den 1980er Jahren in Drehstromantriebstechnik ausgeführt. Bei ihnen versorgt ein dem Transformator nachgeschalteter Umrichter die Drehstrom-Asynchronmotoren mit einer in Amplitude, Frequenz und Phasenfolge veränderlichen dreiphasigen Spannung zur Stellung von Zugkraft und Geschwindigkeit. Derartige Fahrzeuge sind zudem jederzeit in der Lage, die generatorisch erzeugte Bremsenergie ins Fahrleitungsnetz zurück zu speisen.

Triebfahrzeuge mit Gleichrichtertechnik und solche in Drehstromantriebstechnik können so ausgerüstet werden, dass sie auch unter anderen Bahnstromsystemen verkehren können (Mehrsystemfähigkeit). Allerdings wird dieser techni-

sche und finanzielle Mehraufwand nur dann in Kauf genommen, wenn ein prognostiziertes Einsatzprofil dies rechtfertigt.

14.3.2.6 Bahnenergierückführung

Zur Rückstromführung dienen die Fahrschienen und ggf. zusätzliche Rückleitungsseile, die mit den Fahrschienen der Gleise parallelgeschaltet sind. Zur Parallelschaltung werden die Fahrleitungsmaste genutzt, die mit den Fahrschienen über Kabel verbunden sind und an denen die Rückleitungsseile befestigt sind. Bei Stahlmasten wird als elektrische Verbindung der Mastkörper selbst genutzt, bei Betonmasten die innere Bewehrung, die zu diesem Zweck kurzschlussfest auszuführen ist.

Die gesamte Rückleitungsanlage ist aus Gründen des Berührschutzes gut leitend mit der Erde – vorrangig über die Fundamente der Fahrleitungsmasten – verbunden. Ein Teil des Traktionsrückstromes fließt damit abschnittsweise immer durch die Erde. Diese Rückstromanteile können zwar keine Streustromkorrosionsschäden wie bei Gleichstrombahnen verursachen, dennoch aber unerwünschte Beeinflussungen in Fremdanlagen nach sich ziehen.

Um den Anteil des durch die Erde fließenden Rückstroms gezielt zu verringern, werden Rückleitungsseile bevorzugt in räumlicher Nähe zur Fahrleitung angeordnet. Die bei Wechselstrom immanente elektromagnetische Verkopplung paralleler Leitungen bewirkt, dass größere Anteile des Rückstroms in den Rückleitungsseilen fließen und damit den Erdstromanteil reduzieren. Gleichzeitig bewirkt die magnetische Verkopplung eine Verringerung der Schleifenimpedanz Unterwerk – Fahrleitung – Rückleitung, was die mögliche Speiseabschnittslänge vergrößert.

Zu weiteren Aspekten und Details der Rückstromführung siehe Abschn. 14.6.

14.4 Fahrleitungen

14.4.1 Allgemeines

Die Aufgabe einer Fahrleitungsanlage besteht in der Übertragung der elektrischen Energie von

den Unterwerken zu den elektrischen Triebfahrzeugen. Dabei hat die Leistungsübertragung in der für die Erfüllung der Transportaufgaben erforderlichen Leistungsgröße, mit geringsten Energieverlusten und ohne Unterbrechung zu erfolgen.

Die Anforderungen an eine Fahrleitungsanlage resultieren im Wesentlichen aus ihrer Doppelfunktion als:

- Leitung zur Leistungsübertragung über eine bestimmte Entfernung und als
- Gleitkontakt zum Stromabnehmer der Fahrzeuge.

An die Konstruktion einer Fahrleitungsanlage werden vor allem folgende Anforderungen gestellt:

- das dynamische Zusammenwirken von Stromabnehmer und Fahrleitung soll in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit eine unterbrechungslose Leistungsübertragung ermöglichen. Dafür ist eine gleich bleibende Elastizität der Fahrleitung erforderlich;
- die Fahrleitungsanlage soll betriebssicher und leistungsfähig sein sowie Personen und Anlagen im Bahnbereich nicht gefährden;
- es ist eine hohe Lebensdauer der Fahrleitungsanlage anzustreben. Dies setzt:
 - hohe mechanische und elektrische Festigkeit,
 - Korrosionsbeständigkeit,
 - Beständigkeit gegenüber Witterungseinflüssen (Windbelastung, Eislast),
 - geringe und gleichmäßige Abnutzung der Fahrdrähte, voraus;
- die Investitions- und Instandhaltungskosten sollen gering sein;
- bei Nahverkehrsfahrleitungen sind u. U. noch architektonische und städtebauliche Gesichtspunkte zu beachten.

Durch die Vielzahl verschiedener elektrischer Bahnsysteme und deren unterschiedliche historische Entwicklung sind verschiedene Fahrleitungssysteme entstanden. Die Einteilung der verschiedenen Fahrleitungssysteme geht aus Abb. 14.11 hervor [8].

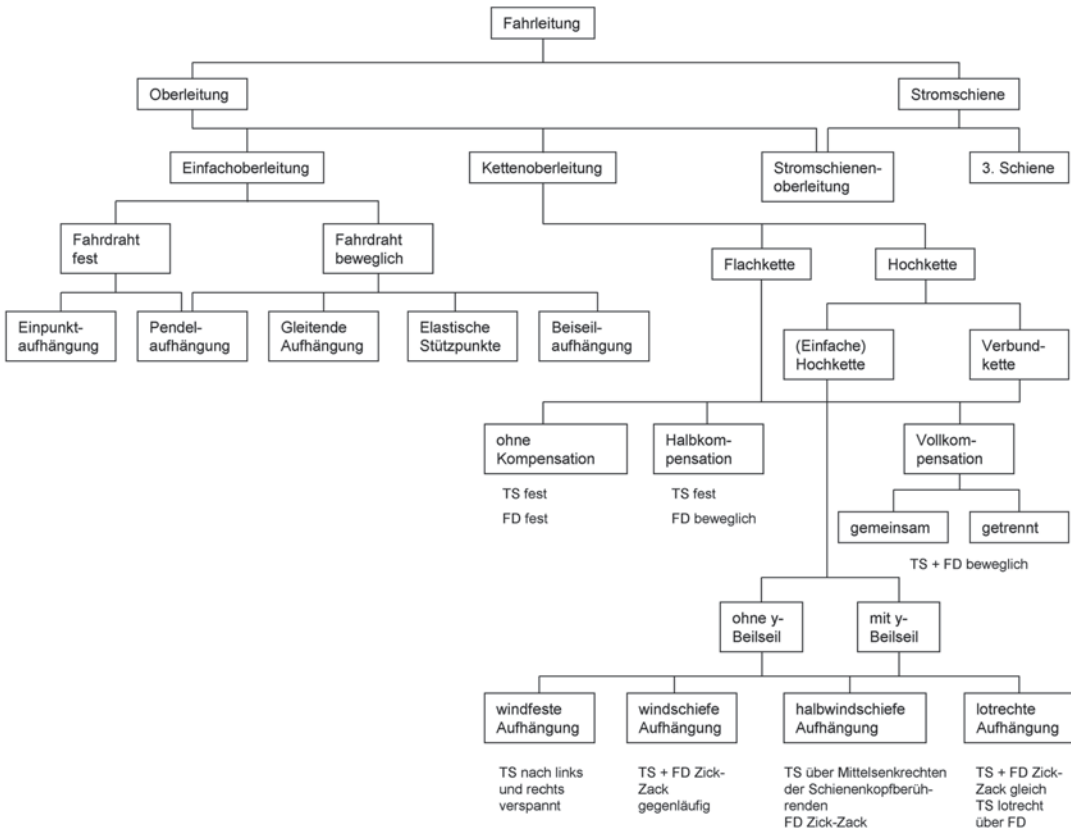


Abb. 14.11 Übersicht der Fahrleitungssysteme elektrischer Bahnen (FD Fahrdraht, TS Trageisil)

14.4.2 Oberleitungen

Für Vollbahnen werden in Europa, bis auf wenige Ausnahmen, „Einfache Hochketten-Oberleitungen“ verwendet. Die Hochkette besteht aus Trageisil, Hänger und Fahrdraht und wird auch als Längskettenwerk bezeichnet. Der prinzipielle Aufbau eines Längskettenwerkes ist in Abb. 14.12 dargestellt.

14.4.2.1 Längskettenwerk

Fahrdrähte

Die bei elektrischen Bahnen für Oberleitungsanlagen in Europa verwendeten Fahrdrähte sind in der Norm EN 50149 standardisiert. Die Fahrdrähte unterscheiden sich hinsichtlich Klemmrillen, Querschnittsflächen, Profilen und dem verwendeten Material.

Bezüglich der Klemmrillen wird zwischen der Ausführung A und der Ausführung B unterschieden (siehe Abb. 14.13).

Die Querschnittsfläche bezieht sich immer auf den Nennquerschnitt des Fahrdrahtes im Neuzustand und beträgt 80 mm², 100 mm², 107 mm², 120 mm² oder 150 mm².

Bei den Profilarten unterscheidet man zwischen zwei Hauptprofilarten: dem Rundprofil und dem Flachprofil.

Bei dem Rundprofil tritt im Neuzustand zwischen Stromabnehmer und Fahrdraht eine sehr hohe Flächenpressung auf, da der Stromabnehmer praktisch nur an einem Punkt an dem runden Fahrdraht anliegt. Dadurch ist der Verschleiß in der ersten Betriebszeit relativ hoch; bis sich ein breiter Spiegel gebildet hat, wodurch die Flächenpressung abnimmt.

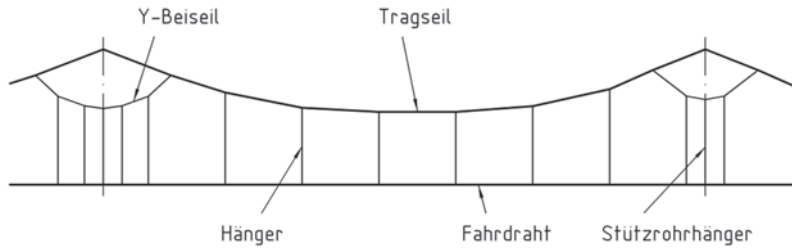


Abb. 14.12 Prinzipieller Aufbau eines Längskettenwerkes („Einfache Hochkette“)

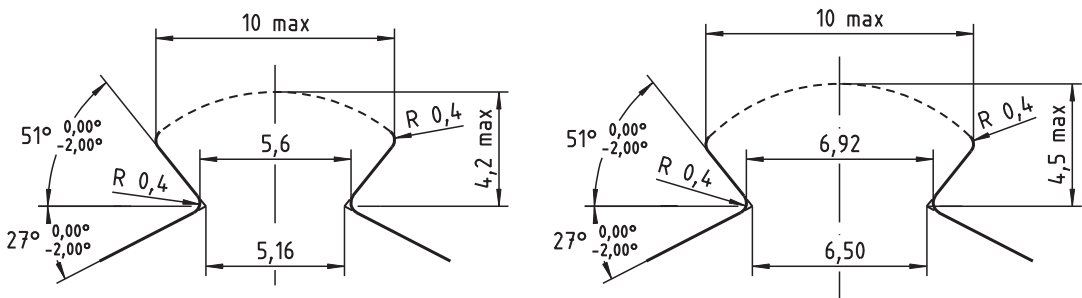


Abb. 14.13 Klemmrillen des Fahrdrabtes nach EN 50149 (Profil A – links, Profil B – rechts)

Diesen physikalischen Gegebenheiten wird bei der Verwendung eines Flachprofils von vornherein Rechnung getragen, d. h. schon bei einem Fahrdrabt im Neuzustand ist eine verhältnismäßig große Kontaktfläche zwischen der Schleifleiste des Stromabnehmers und der Fahrdrabtunterkante vorhanden. Dadurch wird eine geringere Flächenpressung erzeugt, die den Verschleiß in den Anfangsjahren geringer erscheinen lässt.

Hinsichtlich der Materialzusammensetzung wird bei Fahrdrabten unterschieden zwischen:

- gewöhnlichem und hochfestem Kupfer (Cu),
- Kupfer-Cadmium-Legierung (Cu-Cd0,7, Cu-Cd1,0),
- Kupfer-Silber-Legierung (Cu-Ag0,1),
- Kupfer-Magnesium-Legierung (Cu-Mg0,2, Cu-Mg0,5),
- Kupfer-Zinn-Legierung (Cu-Sn0,2).

Die Kennzeichnung des Materials eines Fahrdrabtes erfolgt durch Kennrillen. Das gewöhnliche hochfeste Kupfer hat keine Kennrille. Der Kupfer-Cadmium-Fahrdrabt hat eine einfache Kennrille auf der Oberseite des Drahtes. Der Kupfer-Silber-Fahrdrabt wird mit zwei identi-

schenen Kennrillen auf der Oberseite der Wölbung gekennzeichnet. Der Kupfer-Magnesium-Fahrdrabt hat drei Kennrillen auf der Oberseite des Fahrdrabtes und die Kupfer-Zinn-Legierung eine Kennrille, die in einem Winkel von 24° versetzt ist.

Eine weitere Besonderheit ist, dass der Kupfer-Cadmium-Fahrdrabt in den Ländern Dänemark, Deutschland, Österreich und Schweiz aus umwelttechnischen Gründen nicht verwendet werden darf.

In Deutschland kommen ausschließlich Rillenfahrdrabte mit der Klemmrille A und einer Querschnittsfläche von 80 mm^2 (nur in bestehenden Anlagen), 100 mm^2 , 120 mm^2 oder 150 mm^2 (nur bei Gleichstrombahnen) zur Anwendung.

Es werden Fahrdrabte mit Rundprofil aus Kupfer (Cu), aus Kupfer-Silber-Legierung (CuAg0,1) und aus Kupfer-Magnesium-Legierung (CuMg0,5) verwendet.

In Österreich kommt ein Fahrdrabt mit abweichender Klemmrille und Profil zum Einsatz (siehe Abb. 14.14):

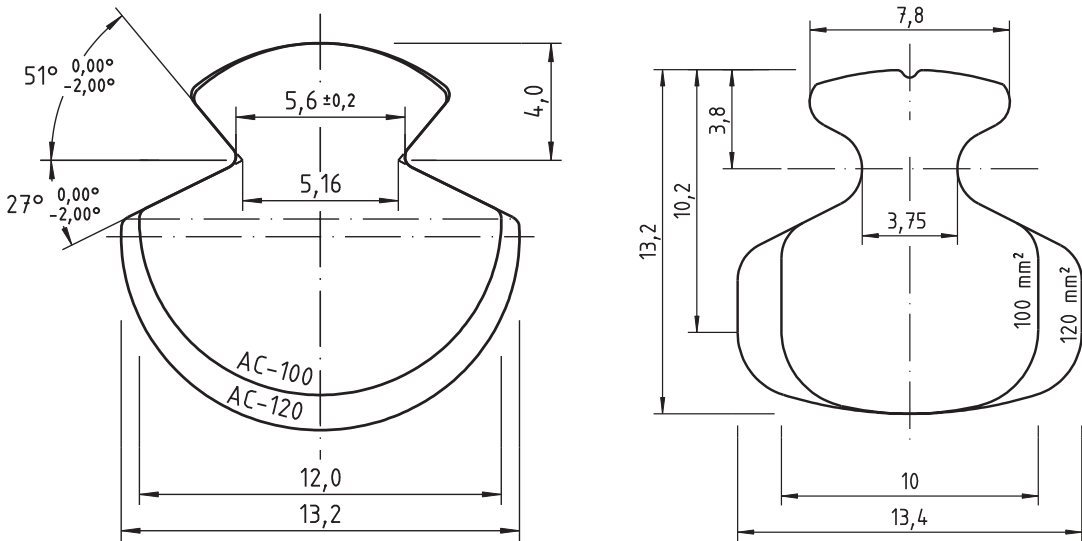


Abb. 14.14 Fahrdrähte der DB AG nach EN 50149 (links) und der ÖBB (rechts) [4]

Die Tab. 14.3 zeigt eine Gegenüberstellung, der bisherigen (DIN VDE 0115) zur neuen Fahrdrabtbezeichnung (EN 50149).

In der Tab. 14.4 sind die wichtigsten Eigenschaften der Fahrdrähte enthalten.

Die zulässige mechanische Zugbelastung eines Rillenfahrdrahtes hängt von den in Gleichung (14.2) angegebenen Parametern ab. Die Mindest-Zugfestigkeit des Fahrdrahtes (σ_{min}) – siehe Tab. 14.4 – muss mit dem Produkt dieser Faktoren multipliziert werden, um die höchstzulässige Betriebszugspannung (σ_w) zu erhalten.

Die berechnete Nennzugspannung des Fahrdrahtes darf 65% der Mindest-Zugfestigkeit nicht überschreiten.

$$\sigma_w = \sigma_{min} \cdot 0,65 \cdot K_{temp} \cdot K_{wear} \cdot K_{load} \cdot K_{eff} \cdot K_{clamp} \cdot K_{joint} \quad (14.2)$$

Darin bedeuten:

- K_{temp} höchste Temperatur
- K_{wear} zulässiger Verschleiß
- K_{load} Wind- und Eislasten
- K_{eff} Genauigkeit und Wirkungsgrad der Nachspanneinrichtung
- K_{clamp} Abspannklemme
- K_{joint} geschweißte oder gelötete Verbindung.

Tab. 14.3 Gegenüberstellung der Bezeichnung von Fahrdrähten bei der DB AG

| Bezeichnung nach EN 50149 | Bezeichnung nach DIN VDE 0115 | Bemerkung |
|---------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| AC-80 Cu | Ri80 | nur in bestehenden Anlagen |
| AC-100 Cu | Ri100 | – |
| AC-100 Cu-Ag0,1 | RiS 100 | – |
| AC-120 Cu-Ag0,1 | RiS 120 | – |
| AC-120 Cu-Mg0,5 | RiM 120 | – |

Unter den Bedingungen der Regelerleitungen der DB AG vereinfacht sich die Gleichung zu:

$$\sigma_w = \sigma_{min} \cdot 0,65 \cdot K_{wear} \cdot 0,95 \quad (14.2a)$$

Seile

Die im Oberleitungsbau und bei den 110-kV-Bahnstromleitungen bei der DB AG zur Anwendung kommenden Seile sind in der Tab. 14.5 (Auszug aus [5]) dargestellt.

Regelerleitungen der DB AG

Aufgrund der historischen Entwicklung in Deutschland entstanden während der Zeit der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft, der Deutschen Bundesbahn, der Deutschen Reichsbahn

Tab. 14.4 Eigenschaften von Fahrdrähten – Auswahl [4]

| Werkstoff | Bezeichnung | Nennquerschnitt [mm ²] | MindestZugfestigkeit [N/mm ²] | Mindest-Bruchlast ¹⁾ [kN] | Elektrischer Widerstand Ω/km bei 20°C |
|-------------------------------------|-------------|------------------------------------|---|--------------------------------------|---------------------------------------|
| Gewöhnliches Kupfer | Cu-ETP | 80 | 355 | 27,5 | 0,229 |
| | Cu-FRHC | 100 | 355 | 34,5 | 0,183 |
| | Cu-HCP | 107 | 350 | 36,3 | 0,171 |
| | Cu-OF | 120 | 330 | 38,4 | 0,153 |
| | | 150 | 310 | 45,1 | 0,122 |
| Gewöhnliche Kupfer-Silber-Legierung | CuAg0,1 | 80 | 365 | 28,3 | 0,229 |
| | | 100 | 360 | 34,9 | 0,183 |
| | | 107 | 350 | 36,3 | 0,171 |
| | | 120 | 350 | 40,7 | 0,153 |
| | | 150 | 350 | 50,9 | 0,122 |
| Kupfer-Magnesium-Legierung | CuMg0,5 | 80 | 520 | 40,4 | 0,385 |
| | | 100 | 510 | 49,5 | 0,286 |
| | | 107 | 500 | 46,3 | 0,268 |
| | | 120 | 490 | 57,0 | 0,239 |
| | | 150 | 470 | 68,4 | 0,191 |

¹⁾ berechnet mit dem Mindestquerschnitt

und der Deutschen Bahn AG eine Reihe unterschiedlicher Oberleitungsbauarten. Die Tab. 14.6 und die Abb. 14.15 geben einen Überblick über die wichtigsten technischen Parameter der Regeloberleitungen der DB AG.

Zu beachten ist hierbei, dass die Oberleitungsbauarten Re 75, Re 160 und Re 160 S-Bahn für den Neubau nicht mehr zugelassen sind, aber im Bestandsnetz noch über viele Jahre eine größere Bedeutung haben werden.

Die jeweils in Abb. 14.15 angegebene **Längsspannweite** ist der Maximalwert für die Gerade. In Kurven verringert sich, in Abhängigkeit vom Bogenhalbmesser, die zulässige Längsspannweite. Mit der Veränderung der Längsspannweite variieren die Anordnung der y-Beiseile und der Hänger entsprechend.

Die Differenz der Längsspannweiten L zweier benachbarter Felder (Stufensprung) darf dabei:

- 15 m: Re 100 bis Re 200 (bei L > 45 m);
Re 200mod (bei L > 55 m);
- 10 m: Re 100 bis Re 200 (bei L ≤ 45 m);
Re 200mod (bei L ≤ 55 m); Re 250;
Re 330

nicht überschreiten. Dabei beziehen sich die Angaben für L auf das kleinere Feld.

Die **Regelfahrdrahthöhe** und die zulässige **Mindestfahrdrahthöhe**, die an keiner Stelle unterschritten werden darf, ergibt sich nach Tab. 14.6. Ist ein Abweichen von der Regelfahrdrahthöhe erforderlich, so ist der Übergang von der parallelen Lage in die Neigung und umgekehrt bogenförmig auszubilden. Dabei dürfen die Neigungswerte nach Tab. 14.7 bei Absenkungen nicht überschritten werden.

Der **Nachweis der Mindestfahrdrahthöhe** hat, unter Berücksichtigung der Eislast, bei einer Temperatur von -5°C, zu erfolgen. Die Eislast auf Längskettenwerken wird in Anlehnung an die EN 50341 „Bau von Starkstrom-Freileitungen mit Nennspannungen über 1 kV“ berechnet:

$$F_E' = 5 + 0,1 \cdot d \quad (14.3)$$

Darin bedeuten:

F_E' Eislast in N/m

d Durchmesser in mm

Tab. 14.5 Seile, Drähte und Kabel für Oberleitungs- und 110-kV-Bahnstromanlagen der DB AG

| | Bezeichnung | Querschnittswerte | | Durchmesser | Gewichte | Dichte | Drähte | Verwendung |
|-------------------------------------|------------------|-------------------|-------------------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------|---|
| | | Nennquerschnitt | Dauerstrombelastbarkeit | | | | | |
| | | mm ² | A | mm | kg/1000 m | kg/dm ³ | Zahl | |
| Bronzeseile | Seil BzII-10x49 | 10 | % | 4,5 | 89 | 8,9 | 49 | Hängerseil |
| | Seil 25/7-BzII | 25 | 130 | 6,3 | 218 | | 7 | y-Seil, Hänger für oberes Richtseil |
| | Seil 35/7-BzII | 35 | 160 | 7,5 | 310 | | 7 | y-Seil (Re 250 und Re 330) |
| | Seil 50/7-BzII | 50 | 200 | 9,0 | 446 | | 7 | Quertragseil, Tragseil (und Richtseil) ¹⁾ |
| | Seil 70/19-BzII | 70 | 245 | 10,5 | 596 | | 19 | Quertragseil, Richtseil, Tragseil Re 250 |
| | Seil 95/19-BzII | 95 | 305 | 12,5 | 845 | | 19 | Quertragseil und Richtseil |
| | Seil 120/19-BzII | 120 | 350 | 14,0 | 1060 | | 19 | Quertragseil, Tragseil Re 330 |
| Kupfer-Seile | Seil 70/19-E-Cu | 70 | 310 | 10,5 | 596 | 8,9 | 19 | Schalterquer- und Speiseleitung ¹⁾ |
| | Seil 95/19-E-Cu | 95 | 380 | 12,5 | 845 | | 19 | Bypass, Bypassanschlussleitung, Tragseil Re S-Bahn |
| | Seil 120/19-E-Cu | 120 | 440 | 14,0 | 1060 | | 19 | Schalterquerleitung, Bypass, Bypassanschlussleitung, 110-kV-Bahnstromleitung |
| flexible/ hoch-flexible Kupferseile | Seil E-Cu-35x133 | 35 | 225 | 9,0 | 353 | 8,9 | 133 | zusätzliche Verbindung von Fahrdrabt und Tragseil (Ausgleichsverbinder) |
| | Seil E-Cu-50x133 | 50 | 310 | 13,4 ²⁾ | 482 ³⁾ | | 133 | Seil für Spannungssicherung mit transp. PVC-Isolation YM2 nach DIN VDE 0207 Teil 5, Mantel 1,4 mm |

Tab. 14.5 (Fortsetzung)

| | | | | | | | | |
|-----------------------|----------------------------------|--------|------|--------------------|------|------------------|----------------------|---|
| | Rundseil 50 | 50 | 230 | 14,6 ²⁾ | 585 | | 6383x0,1 +360x0,1 | für Erdungsvorrichtung mit durchsichtigem PVC-Mantel 1 mm |
| | Seil E-Cu-70x189 | 70 | 370 | 13,0 | 685 | | 189 | bewegliche Verbindungsleitung wie Schalteranschlussleitung, Strombrücken und dgl. ¹⁾ |
| | Seil E-Cu-95x259 | 95 | 460 | 14,7 | 935 | | 259 | Schalteranschluss- und Verbindungsleitung; |
| | Seil E-Cu-120x336 | 120 | 535 | 16,4 | 1120 | | 336 | Elektrischer Verbinder |
| Al-Seile | Seil 240/61-E-Al | 242 | 625 | 20,3 | 674 | 2,7 | 61 | Speiseleitung, Verstärkungsleitung, Rückleitungen |
| | Seil 626/91-E-Al | 626 | 1140 | 32,6 | 1740 | | 91 | Speiseleitung |
| Al-Kabel | (N)A(ST)YY-01x100 RM0,6/ 1 kV | 100 | - | 20,0 ²⁾ | 530 | | 37 | Erdung, Potentialausgleich |
| | (N)A(ST)YY-01x110 RM0,6/ 1 kV | 110 | - | 21,0 ²⁾ | 630 | | 37 | Erdung, Potentialausgleich |
| | (N)AYY-01x110 RM0,6/ 1 kV | 110 | - | 21,0 ²⁾ | 590 | | 37 | Erdung, Potentialausgleich |
| Aluminium-Stahl-Seile | Seil 44/32-Al/St | 44/32 | % | 11,2 | 369 | Al 2,7 St 7,8 | 7 St 14 Al | Erdseil für 110 kV-Bahnstromleitung |
| | Seil 185/30-Al/St | 185/30 | 535 | 19,0 | 741 | | 7 St 26 Al | 110 kV-Bahnstromleitung |
| | Seil 240/40-Al/St | 240/40 | 645 | 21,8 | 980 | | | 110 kV-Bahnstromleitung |
| | Seil 300/50-Al/St | 300/50 | 740 | 24,4 | 1227 | | | 110 kV-Bahnstromleitung |
| | Seil 95/55-Al/St | 95/55 | % | 16,0 | 707 | | 7 St 12 Al | Erdseil für 110 kV-Bahnstromleitung |
| | Seil 105/75-Al/St | 105/75 | % | 17,5 | 885 | | 19 St 14 Al | Erdseil für 110 kV-Bahnstromleitung (nur mit Luftwarnkugel) |
| A 2/4-Seile | Seil 6 x 19M – WSC 1770 sZ | 16 | % | 6,0 | 138 | 7,85 | 133 | Hängerseil für Chlorid belastete Gebiete |
| | Seil 6 SE-bk 1570 sZ | 16 | % | 6,0 | 138 | 7,85 | 133 | Hängerseil |

Tab. 14.5 (Fortsetzung)

| | | | | | | | | |
|-----------------------|---------------------------------|-------|---|-----------|------------------|-------------------|------|---|
| Drähte | Draht rund 4 E-CuF31 | 12,57 | % | 4,0 | 112 | 8,9 | 1 | Aufhängung für Streckentrenner |
| | Draht 10 St 34- t Zn | 80 | % | 10,0 | 617 o. Mantel | 7,85 o. Mantel | 1 | Schutzerdung, Prelldrähte u. ä., Erdungsleitungen ¹⁾ |
| | Draht X5CrNi 18-10 + 2H + C 700 | 7 | % | 3,0 | 55 | 7,85 | 1 | Windsicherung für Seitenhalter, Sicherungsbügel für Spannschloss-Streckentrenner |
| Bz-Seile isoliert | Seil 50/7 BzII | 50 | % | ~ 14,0 | | | 7 | unter Bauwerken als Schutz gegen Vogelüberschlag, Tragseil für Streckentrenner; Isoliermaterial: LE 6022 Wanddicke: ~ 2,25 mm |
| | Seil 70/19 BzII | 70 | % | ~ 15,5 | | 8,9 o. Mantel | 19 | |
| Cu-Kabel DIN VDE 0271 | Kab. NYY-0 1x50 RM | 50 | % | 15,0-18,0 | | 8,9 o. Mantel | ≥ 19 | Erdung, Potenzialausgleich |
| | Kab. NYY-0 1x70 RM | 70 | % | 16,0-19,0 | | | ≥ 19 | Erdung, Potenzialausgleich |
| | Kab. NYY-0 1x95 RM | 95 | % | 18,0-21,0 | | | ≥ 19 | Erdung/Rückstromführung |
| | Kab. NYY-0 1x120RM | 120 | % | 20,0-23,0 | | | ≥ 37 | Erdung/Rückstromführung |
| | Kab. NYY-0 1x150RM | 150 | % | 22,0-26,0 | | | ≥ 37 | Erdung/Rückstromführung |

¹⁾nicht für Neu- bzw. Umbau

²⁾mit PVC-Isolation

³⁾ohne PVC-Isolation

Erfahrungen von Betreibern von Oberleitungsanlagen zeigen, dass größere Eislasten, insbesondere an der Unterseite des Fahrdrahtes, abgestreift werden oder durch Stromwärme abschmelzen. Deshalb rechnet man bei Oberleitungen für Elemente der Längskettenwerke nur mit dem halben Wert:

$$F_E' = 2,5 + 0,05 \cdot d \quad (14.3a)$$

Die maximale **Fahrdrachtseitenlage** in Ruhelage (b-Maß) beträgt:

$$\begin{aligned} &\text{bei der Re 75 bis Re 200mod} \quad \pm 400 \text{ mm} \\ &\text{bei der Re 250 und Re 330} \quad \pm 300 \text{ mm.} \end{aligned}$$

Bei einem Wind quer zur Gleisachse wird der Fahrdracht weiter abgetrieben. Der Windantrieb (e-Maß), bezogen auf die Mittelsenkrechte der Schienenkopfberührenden, darf:

Tab. 14.6 Übersicht der Regelbauarten der DB AG [5; 6]

| zulässige Höchstgeschwindigkeit km/h | Regelbauart | Fahrdraht Trage-seil mm ² | Regelsys-temhöhe m | y-Beiseil m | Mindest-Fahr-drahthöhe mm | Regel-fahr-draht-höhe mm | Nach-spannung | Nach-span-nlänge (max.) m |
|--------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|----------------|---------------------------|--------------------------|----------------------|---------------------------|
| 330 | Re 330 | RiM 120 Bz II 120 | 1,8 nicht unter 1,1 | 18 und 14 | 5070 | 5300 | 5-feldrig | 2 × 625 |
| 280 | Re 250 | RiS 120 Bz II 70 | 1,8 nicht unter 1,1 | 18 und 14 | 5070 | 5300 | 5-feldrig | 2 × 600 |
| 230 | Re 200mod | RiS 100 Bz II 50 | 1,8 | 18 | 4950 oder 5000 | 5500 | 3-feldrig | 2 × 750 |
| 200 | Re 200 | Ri 100 Bz II 50 | 1,8 | 14 18 24 | 4950 oder 5000 | 5500 | 3-feldrig | 2 × 750 |
| 160 | Re 160 ³⁾ | Ri 100 Bz II 50 | 1,8 | 12 | 4950 oder 5000 | 5500 | 3-feldrig | 2 × 750 |
| 160 | Re 160 ³⁾ S-Bahn | Ri 100 Bz II 50 | 1,8 | 12 | 4950 oder 5000 | 5500 | 3-feldrig | 2 × 650 |
| 100 | Re 100 | Ri 100 Bz II 50 | fr. Strecke 1,4 Bhf. 1,8 | % | 4950 oder 5000 | 5500 | 2- oder 3-feldrig | 2 × 750 |
| 75 | Re 75 ³⁾ | Ri 80 Bz II 50 | 1,8 | % | 4950 oder 5000 | 5750 | 2-feldrig | 2 × 750 |
| 100 | Re S-Bahn ¹⁾ | 2x Ri 100 Cu 95 | 0,255 | % | 4800 ²⁾ | 4850 ²⁾ | 4-feldrig | 2 × 500 |

¹⁾ Strecken mit dichter Zugfolge

²⁾ Mindest-FH bzw. Regel-FH nur mit Ausnahmegenehmigung

³⁾ für Neubau ungültig

bei der Re 75 bis Re 200mod ± 550 mm (in Gleisbögen Verringerung in Abhängigkeit vom Bogenhalbmesser bis auf ± 450 mm)

bei der Re 250 und Re 330 ± 400 mm (in Gleisbögen verringerter Wert, Berechnung nach TSI-Energie und EN 50367)

nicht überschreiten.

Die auf Leitungen wirkende Windlast berechnet sich nach folgender Gleichung:

$$F_w = (1/2) \cdot \gamma \cdot v_w^2 \cdot c_w \cdot A_w \quad (14.4)$$

Die Windlast wird i. d. R. auf 1 m bezogen

$$F_w' = F_w / L \quad (14.4a)$$

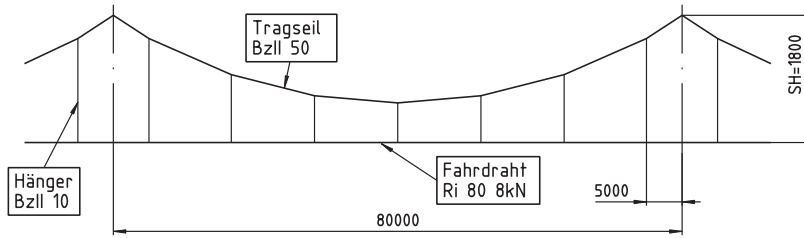
Darin bedeuten:

- F_w Windlast in m
- F_w' Windlastbelag in N/m
- γ Luftdichte = 1,250 kg/m³ (bei 20 °C und NN)
- v_w Windgeschwindigkeit in m/s
- c_w aerodynamischer Kraftbeiwert 1,0 für BEV-Leitungen 1,1 ... 1,2 für FD und TS
- A_w Querschnittsfläche in Windrichtung
- L Länge

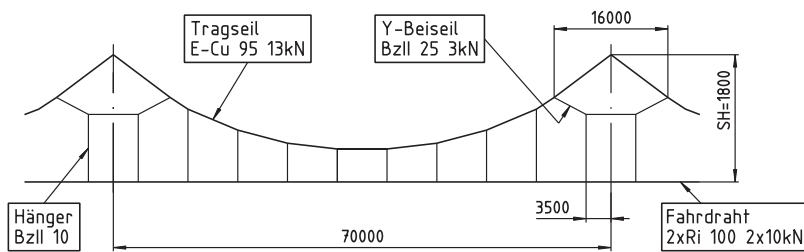
Die bei verschiedenen Windgeschwindigkeiten auf das jeweilige Längskettenwerk wirkende Windlast geht aus Tab. 14.8 (Angaben aus [5]) hervor.

Die Fahrdrahtführung ohne und mit Windbelastung in der Geraden, im Bogen mit großen Bo-

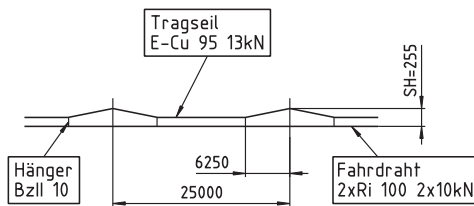
Re 75 (für Neubau nicht zugelassen)



Re S-Bahn - offene Strecke



Re S-Bahn – Tunnel



Re 100

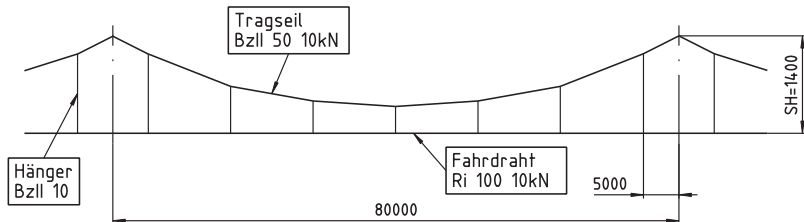
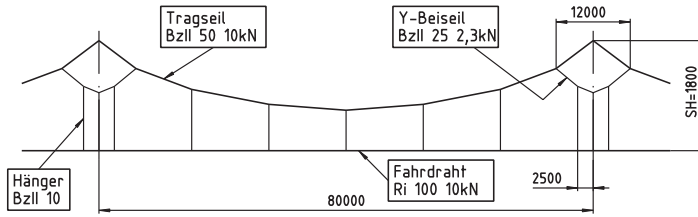
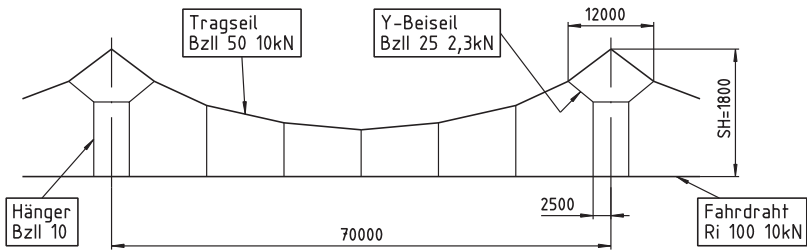


Abb. 14.15 Regelbauarten der DB AG

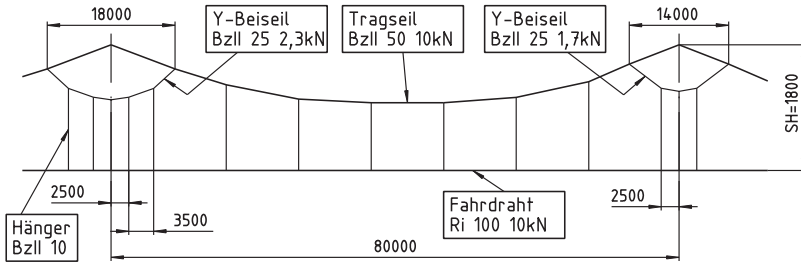
Re 160 (für Neubau nicht zugelassen)



Re 160 S-Bahn (für Neubau nicht zugelassen)



Re 200



Re 200mod

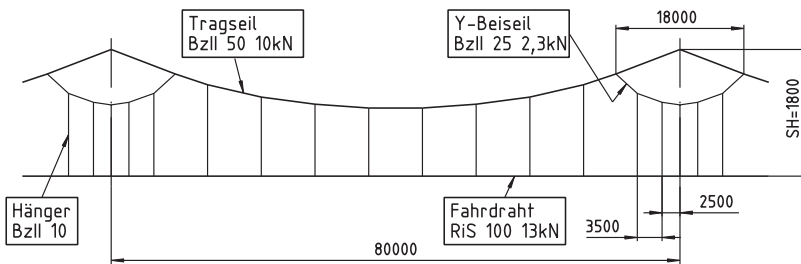
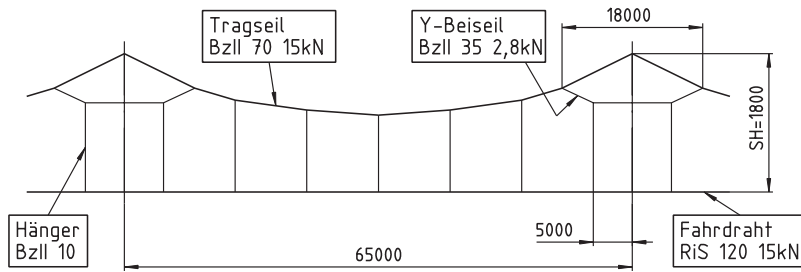
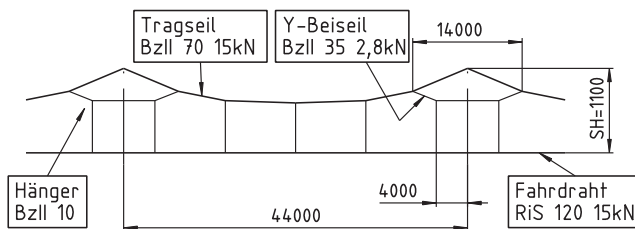


Abb. 14.15 (Fortsetzung)

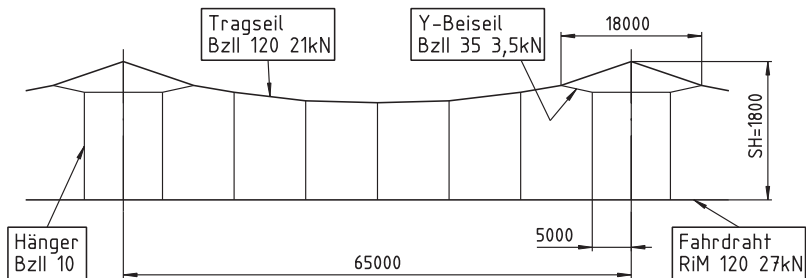
Re 250 - offene Strecke



Re 250 – Tunnel



Re 330 - offene Strecke



Re 330 – Tunnel

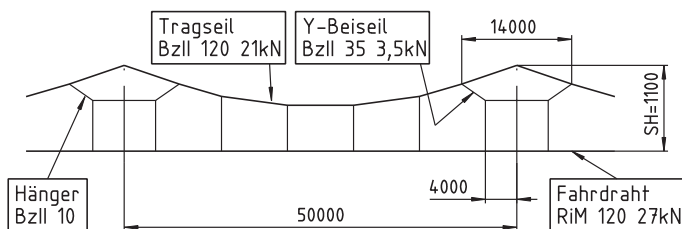


Abb. 14.15 (Fortsetzung)

Tab. 14.7 Neigung und Neigungswechsel [1]

| Geschwindigkeit | größte Neigung | Größter Neigungswechsel |
|--------------------------|----------------|-------------------------|
| $v_{\max} \leq 100$ km/h | 1:200 | 1:333 |
| $v_{\max} \leq 120$ km/h | 1:250 | 1:500 |
| $v_{\max} \leq 160$ km/h | 1:300 | 1:600 |
| $v_{\max} \leq 200$ km/h | 1:500 | 1:1000 |
| $v_{\max} \leq 230$ km/h | 1:750 | 1:2000 |
| $v_{\max} \leq 250$ km/h | 1:1000 | 1:4000 |

genhalbmessern und mit kleinen Bogenhalbmessern ist in Abb. 14.16 dargestellt.

Das Längskettenwerk unterliegt durch seine Horizontalzugkraft einer *Elastischen Dehnung*, die sich nach folgender Gleichung berechnen lässt:

$$\Delta L = (H \cdot L) / (E \cdot A) \quad (14.5)$$

Darin bedeuten:

| | |
|------------|---|
| ΔL | Längenänderung des Leiters |
| H | Horizontalzugkraft |
| L | Länge des Leiters |
| A | Querschnittsfläche |
| E | Elastizitätsmodul für Seile |
| | Cu, CuAg0,1 120...124 kN/mm ² |
| | BzII 113 kN/mm ² |
| | Al 60 kN/mm ² |

Diese Längenänderung tritt nur einmal nach der Verlegung und Belastung des Fahrdrabtes bzw. Seiles ein und wird bei der Montage und Regulierung des Kettenwerkes mit berücksichtigt.

Dagegen müssen die ständig wirkenden Wärmedehnungen im Temperaturbereich von -30°C

bis $+70^\circ\text{C}$ (Re 330 bis $+80^\circ\text{C}$) durch konstruktive Maßnahmen berücksichtigt werden. Die Wärmedehnung eines Drahtes bzw. Seiles berechnet sich nach:

$$\Delta L = L \cdot \alpha \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_1) \quad (14.6)$$

Darin bedeuten:

| | |
|---------------|---|
| ΔL | Längenzunahme |
| L | Ursprungslänge |
| α | linearer Wärmeausdehnungskoeffizient |
| | $17,3 \cdot 10^{-6}$ 1/K für Cu-Fahrdrabt |
| | $17,0 \cdot 10^{-6}$ 1/K für BzII-Seile |
| | $23,0 \cdot 10^{-6}$ 1/K für Al-Seile |
| | $11,0 \cdot 10^{-6}$ 1/K für St-Seile |
| ϑ_1 | Umgebungstemperatur (Verlegetemperatur) |
| ϑ_2 | betrachtete Temperatur |

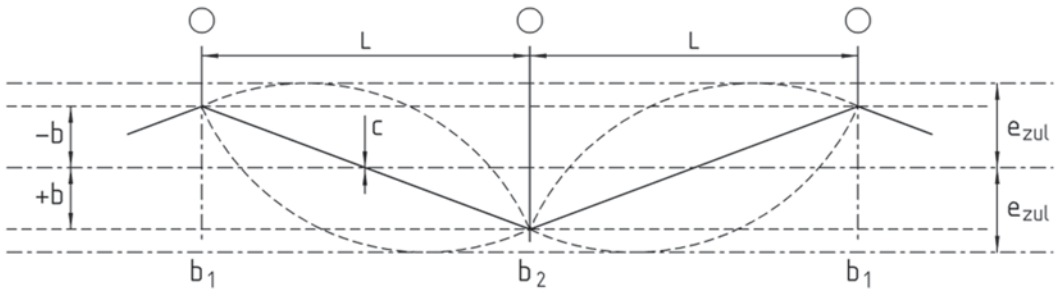
Um die Längenänderungen durch Temperaturschwankungen ausgleichen zu können, wird das Kettenwerk in sog. Nachspannlängen unterteilt. Der Übergang von einem Kettenwerk zum nächsten erfordert eine Parallelführung der Kettenwerke über mehrere Längsspannweiten (Mastfelder). Sie wird als Parallelfeld bezeichnet und läuft je nach Oberleitungsbauart über 2- bis 5- Längsspannweiten. Dient das Parallelfeld auch der elektrischen Trennung zwischen den Längskettenwerken, so wird es als Streckentrennung bezeichnet. Beide Längskettenwerke sind über einen Mast-Trennschalter verbunden. Parallelfelder ohne elektrische Trennmöglichkeiten werden als Nachspannung bezeichnet. Hier werden die beiden Längskettenwerke durch Stromverbinder fest verbunden. Der horizontale Abstand der parallel geführten Kettenwerke beträgt bei der DB AG bei einer Streckentrennung 450 mm,

Tab. 14.8 Lasten, Temperaturbereich, Dauerstrombelastbarkeit der Regeloberleitung der DB AG

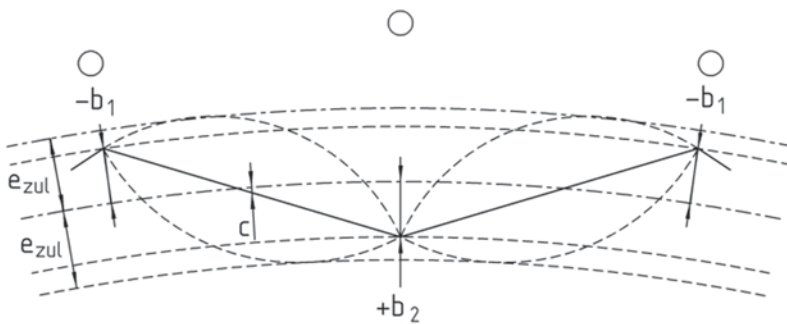
| | Re 100 | (Re 160) | Re 200 | Re 200mod | Re 250 | Re 330 |
|--------------------------------------|---|----------|--------|-----------|---|--------|
| Kettenwerksgewicht [N/m] | 14 | 14 | 14 | 14 | 18 | 22,5 |
| Windlast [N/m] bei 26 m/s | 11,5 | 11,5 | 11,5 | 11,5 | – | – |
| 29,8 m/s | 15,1 | 15,1 | 15,1 | 15,1 | – | – |
| 32,1 m/s | 17,5 | 17,5 | 17,5 | 17,5 | – | – |
| 33,0 m/s | – | – | – | – | 19,8 | 21,8 |
| 37,0 m/s | – | – | – | – | 25,0 | 27,4 |
| Temperaturbereich [°C] ¹⁾ | $-30^\circ\text{C} \dots +70^\circ\text{C}$ | | | | $-30^\circ\text{C} \dots +80^\circ\text{C}$ | |
| Dauerstrombelastbarkeit [A] | 560 | 560 | 560 | 560 | 670 | 810 |

¹⁾ für Tunnelbereiche gilt für die minimale Temperatur ab 500 m vom Portal: -20°C und ab 1000 m vom Portal: -10°C

Fahrdrahtführung in der Geraden



Fahrdrahtführung im Bogen bei großem Bogenhalbmesser



Fahrdrahtführung im Bogen bei kleinem Bogenhalbmesser

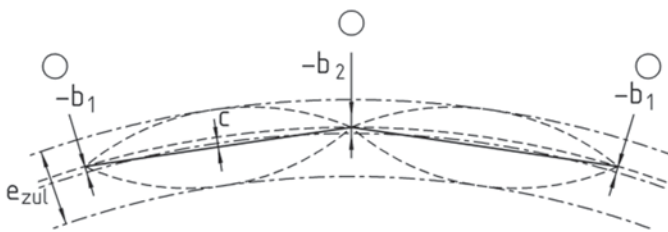


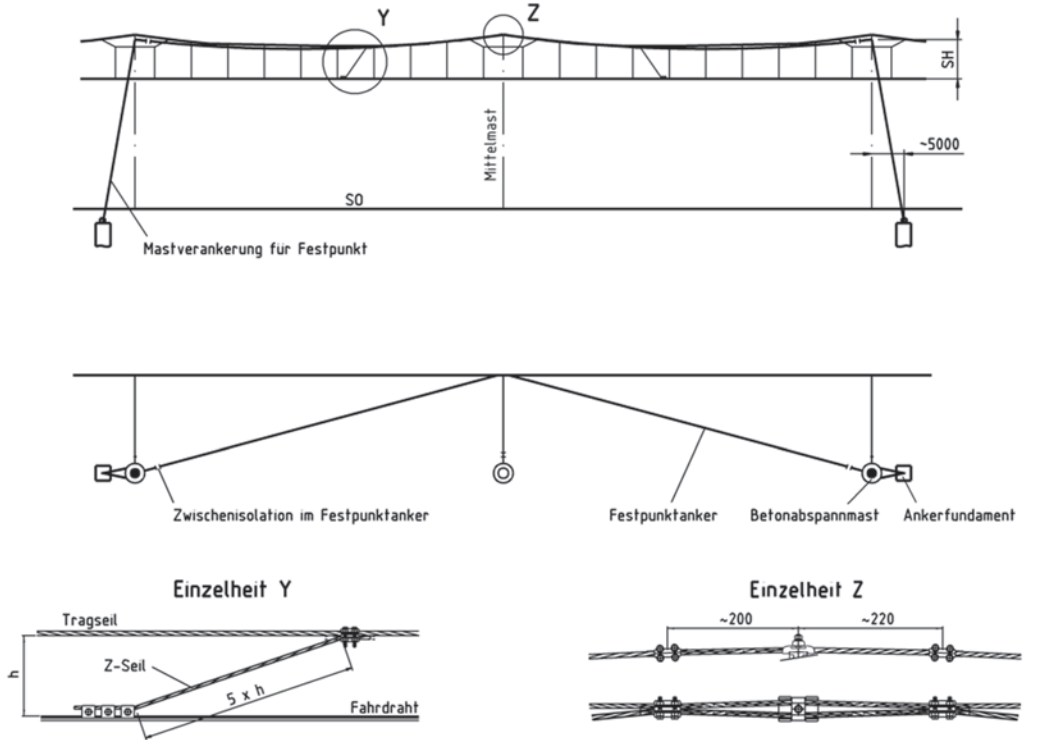
Abb. 14.16 Fahrdrahtführung in der Geraden, bei großen und kleinen Bogenhalbmessern

bei einer Nachspannung 200 mm. Seit Mitte der 1990-er Jahre baut man bei der DB AG, aus Vereinheitlichungsgründen, auch Nachspannungen mit einem horizontalen Abstand der beiden Kettenwerke von 450 mm (Ausnahme: Re 200mod).

In der Mitte der Nachspannlänge befindet sich der Festpunkt. An diesem Punkt wird das

Längstragseil am Rohrschwenkausleger oder am oberen Richtseil verankert. In den angrenzenden Feldern erfolgt die Verankerung des Fahrdrahtes am Tragseil durch Diagonalverbinder, auch als Z-Seil bezeichnet. Den grundsätzlichen Aufbau eines Festpunktes zeigt die Abb. 14.17.

a: Festpunkt in Rohrschwenkauslegerbauart



b: Festpunkt bei Quertragwerkbauweise

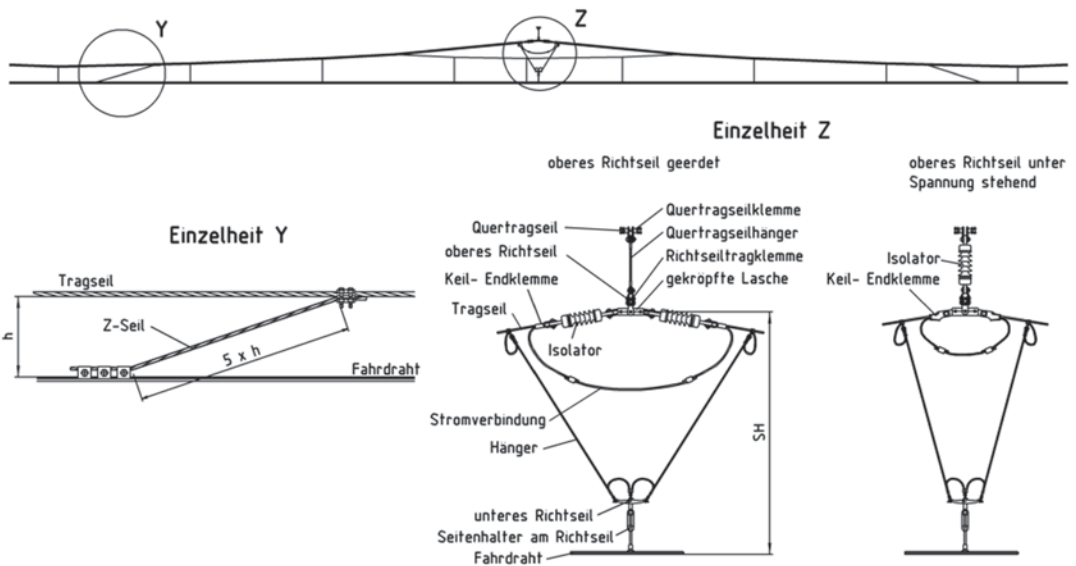


Abb. 14.17 Festpunkt in Rohrschwenkauslegerbauart [5]

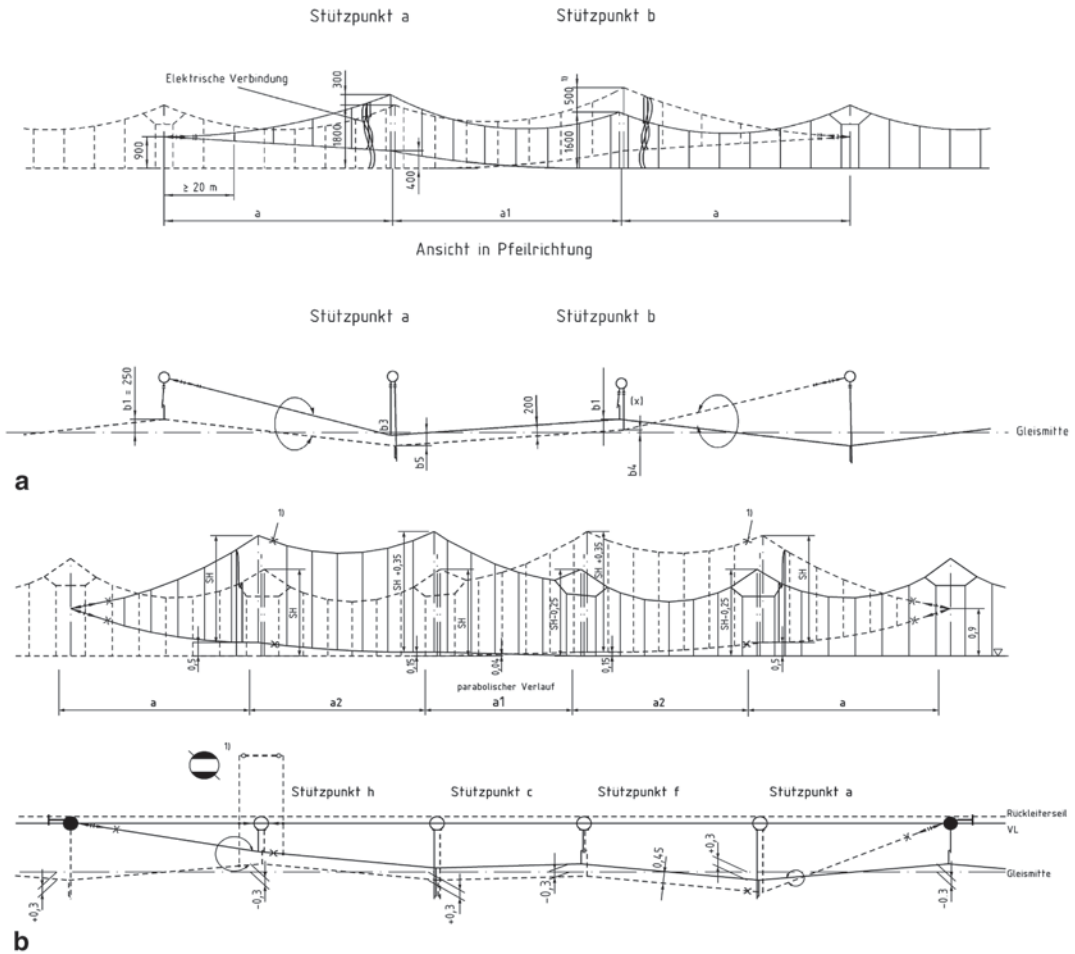


Abb. 14.18 a 3-feldrige Nachspannung Re 200mod b 5-feldriges Parallelfeld als Nachspannung (ohne Isolatoren und Schalter) oder Streckentrennung (mit Isolatoren und Schalter)

Die maximale Nachspannlänge eines Kettenwerkes wird begrenzt:

- durch den Temperaturbereich,
- den Arbeitsbereich der Nachspanneinrichtung (Radspanner),
- die Anzahl der Stützpunkte,
- den Bogenhalbmesser und
- die wirkenden Rückstellkräfte.

Für die Regelerleitungen der DB AG gelten für die Geraden und großen Bogenhalbmesser maximale Nachspannlängen von:

- 1500 m (Re 100 bis Re 200mod),
- 1200 m (Re 250),
- 1250 m (Re 330).

Abgesehen von der 2-feldrigen Nachspannung für geringe Geschwindigkeiten (Re 100) werden bei der DB AG nur 3-feldrige (Re 100 bis Re 200mod) und 5-feldrige (Re 250, Re 330 sowie andere Bauarten bei kleinen Bogenhalbmessern) Parallelfelder verwendet. Der Aufbau eines 3-feldrigen und 5-feldrigen Parallelfeldes geht aus den Abb. 14.18 a und b hervor.

Im eigentlichen Übergabefeld werden in der Mitte die beiden Kettenwerke so nach oben gezogen, dass sich je nach den dynamischen Eigenschaften der Oberleitungsbauart ein „Dach“ von 4 ... 8 cm ausbildet. Dadurch wird ein guter dynamischer Übergang des Stromabnehmers von

a) Betonmast Re 200: Anordnung der Radspanner nebeneinander

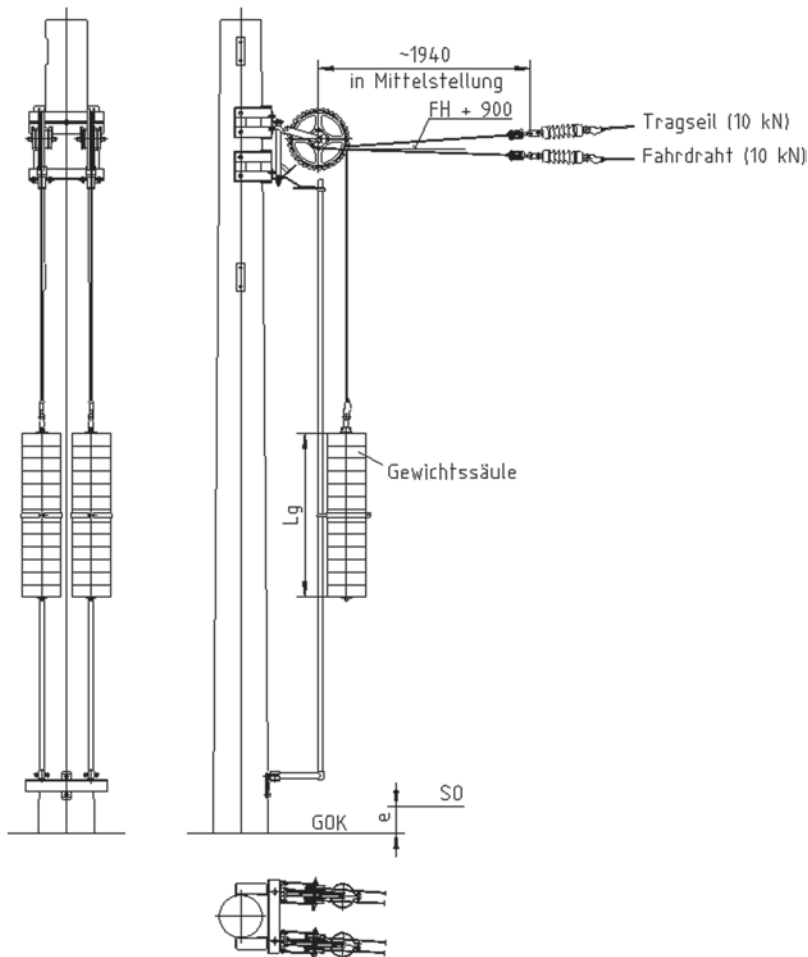


Abb. 14.19 Anordnung der Radspanner am Mast (Auswahl)

einem Kettenwerk auf das nächste Kettenwerk ermöglicht.

Die Nachspanneinrichtung, bis auf wenige Ausnahmen werden Radspannwerke (Radspanner) verwendet, hat eine gleichmäßige Horizontalzugkraft im Kettenwerk zu gewährleisten. Die bei der DB AG verwendeten Radspanner haben ein Übersetzungsverhältnis von 1:3. Die Abspannung von Tragseil und Fahrdraht erfolgt getrennt an je einem eigenen Radspanner. Dabei gibt es verschiedene Anordnungen der Radspanner an einem Mast, die wichtigsten Beispiele sind in Abb. 14.19 a bis c dargestellt.

Im Tunnel werden die Radspanner von Tragseil und Fahrdraht i. d. R. um eine Blockteilung

versetzt. Die Blockteilung ist, je nach Bauweise des Eisenbahntunnels, abhängig von der Länge der Schalwagen zur Herstellung der Innenschalung oder von der Länge der Tübbinge zum Auskleiden des Tunnels.

Bei Oberleitungen der ehemaligen DR und älteren Oberleitungsbauarten der ÖBB werden Tragseil und Fahrdraht über einen Doppelhebel an einem gemeinsamen Radspanner abgespannt. Durch die Veränderung der Längen am Doppelhebel kann auch eine unterschiedliche Kraftverteilung zwischen Tragseil und Fahrdraht realisiert werden. Die gemeinsame Abspannung von Tragseil und Fahrdraht hat dynamische Nachteile. Außerdem können Probleme beim Einrasten

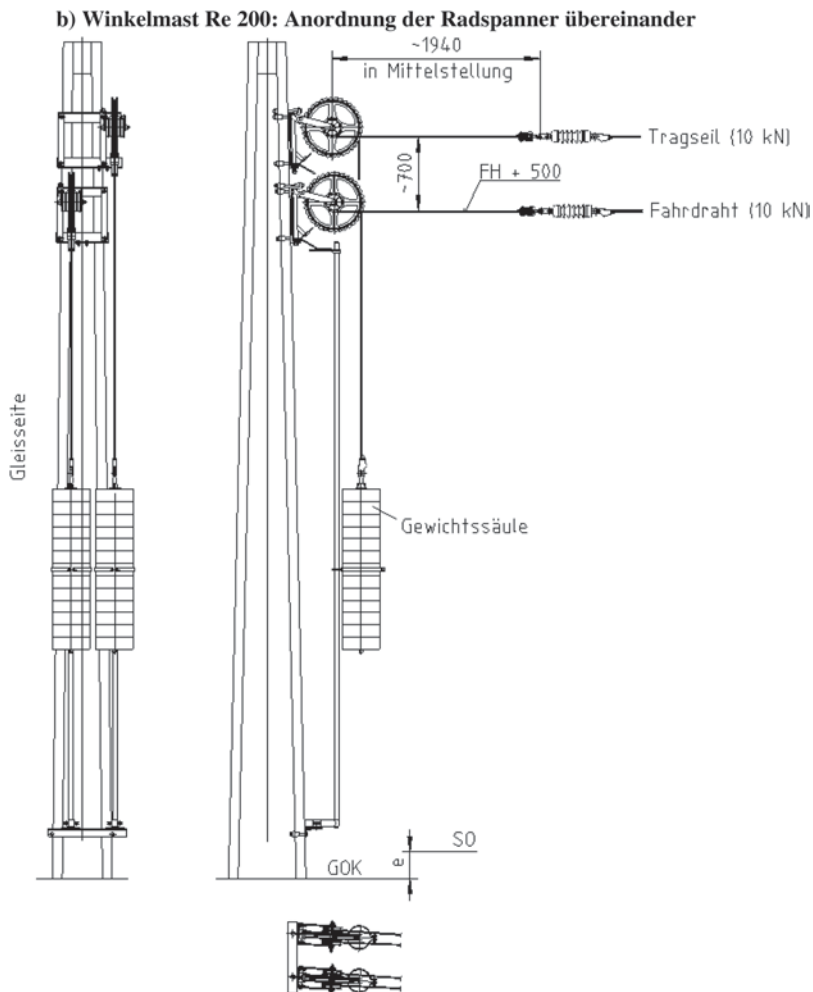


Abb. 14.19 (Fortsetzung)

des Radspanners beim Tragseil- oder Fahrdraht-riss auftreten. Alle Radspanner der DB AG sind mit einer Sperrklinge oder einer vergleichbaren Einrichtung ausgerüstet, die im Falle des Tragseil- oder Fahrdraht-risses ein Herunterfallen der Gewichtssäule und ein Verziehen des Kettenwerkes verhindern soll.

Der **Hängerabstand** im Längskettenwerk beträgt, je nach Oberleitungsbauart und der tatsächlichen Längsspannweite, zwischen 8 und 12 m. Die Hänger außerhalb der y -Beiseile (Feldhänger) werden kurzschlussfest ausgeführt. Die Hänger innerhalb der y -Beiseile (Beiseilhänger) werden nicht kurzschlussfest ausgeführt.

In der Mitte der Längsspannweite soll der Abstand von Mitte Tragseil bis Unterkante Fahrdraht an den Hängern bei Fahrgeschwindigkeiten:

- $v \leq 120$ km/h : 300 mm,
- 120 km/h $< v \leq 230$ km/h : 500 mm,
- $v > 230$ km/h : 600 mm

nicht unterschreiten. Können bei Zwangspunkten diese Abstände nicht eingehalten werden, sind die Hänger bei der Re 100 bis Re 200mod als Gleithänger auszuführen. Die Ausführung der Hänger geht aus Abb. 14.20 hervor.

Oberleitungen der ÖBB

Als Beispiel für die Vielzahl der Kettenwerksbauarten ausländischer Bahnverwaltungen sind

c) Betonmast Re 330: Anordnung der Radspanner voreinander

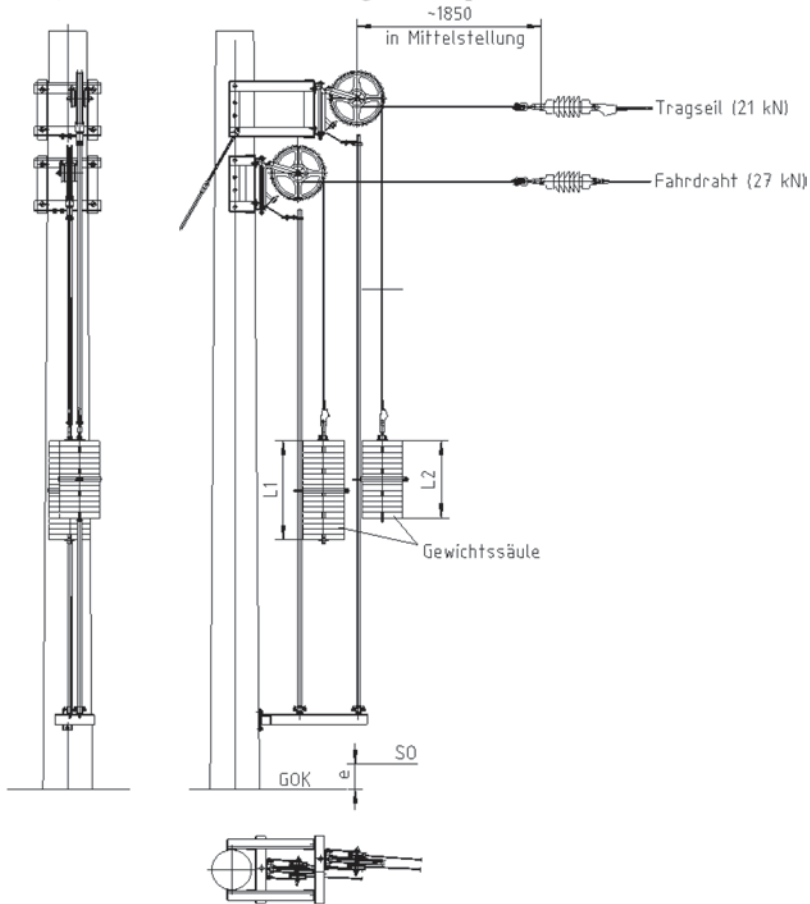


Abb. 14.19 (Fortsetzung)

der Aufbau der Längskettenwerke der ÖBB in Abb. 14.21 dargestellt und die wichtigsten Daten in Tab. 14.9 zusammengefasst.

14.4.2.2 Quertrageinrichtungen

Zu den Quertrageinrichtungen gehören alle Bauteile und Baugruppen, die an einem Oberleitungsmast oder zwischen zwei Oberleitungsmasten (quer zur Gleisrichtung) der Aufnahme vertikaler und horizontaler Kräfte dienen.

Je nach Anzahl der zu überspannenden Gleise, der historischen Entwicklung der betreffenden Bahnverwaltung und der vorhandenen örtlichen Verhältnisse kommen verschiedene Quertrageinrichtungen zur Anwendung. Eine Übersicht über die verschiedenen Quertrageinrichtungen zeigt Abb. 14.22.

Rohrschwenkausleger

Der Rohrschwenkausleger dient der Aufnahme von einem Längskettenwerk. Er ist am Mast in Richtung der Gleisachse drehbar befestigt und folgt der temperaturabhängigen Längenänderung des Längskettenwerkes.

Rohrschwenkausleger werden i. d. R. auf ein- und zweigleisigen Strecken eingesetzt. Auf drei- und mehrgleisigen Strecken, sowie innerhalb der Bahnhöfe, erfolgt der Einsatz von Rohrschwenkauslegern, wenn die Anordnung von Einzelmasten (z. B. in Mittelmastgassen) möglich ist.

Einige Beispiele von Rohrschwenkauslegerbauformen der DB AG und ÖBB zeigt Abb. 14.23.

Die Bezeichnung der Oberleitungsbauteile wurde in Abb. 14.23 a komplett vorgenommen.

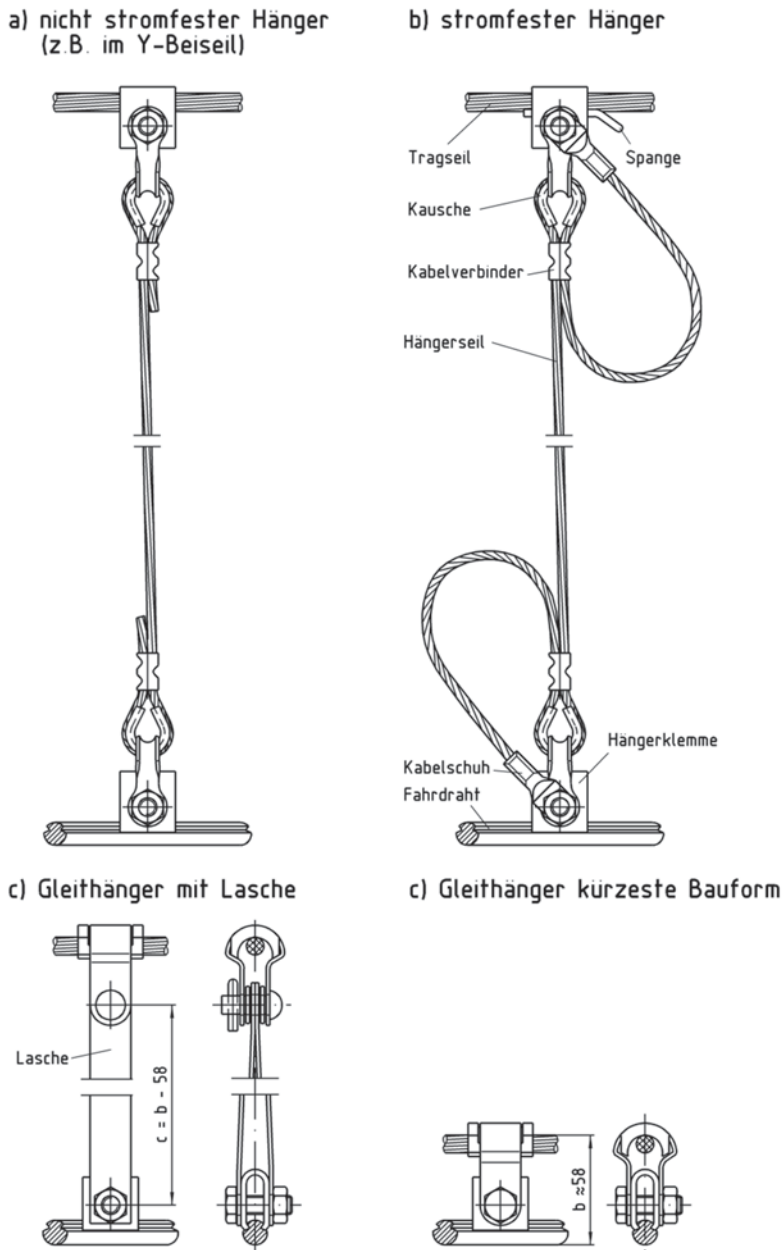


Abb. 14.20 Hängerbauformen

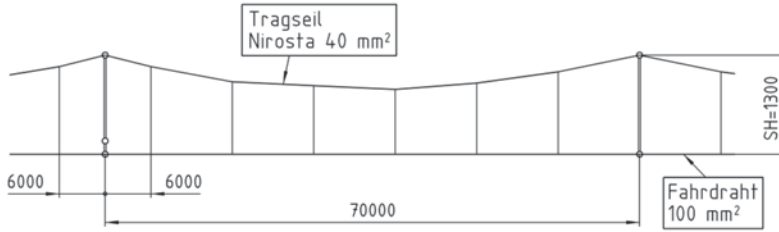
Bei den Abb. 14.23 b) bis d) sind nur neue und gesonderte Bauteile gegenüber Abb. 14.23 a) aufgeführt.

Kann der elektrische Abstand zu möglichen Standflächen mit den Rohrschwenkauslegern der Regelausführung 14.23 a), c) und d) mit zwei

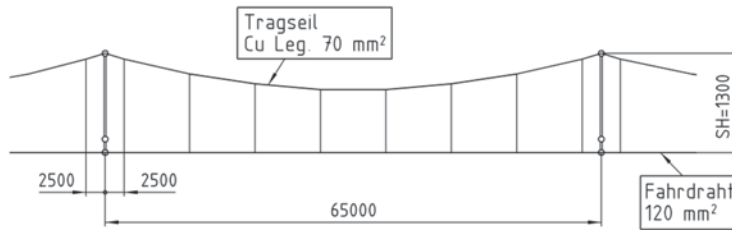
Isolatoren nicht eingehalten werden, muss der Rohrschwenkausleger mit versetzter Isolation, oft auch als geerdeter Ausleger bezeichnet, verwendet werden (Abb. 14.23 b)).

Typische Anwendungsgebiete sind z. B. Bahnsteige und begehbare Stützmauern.

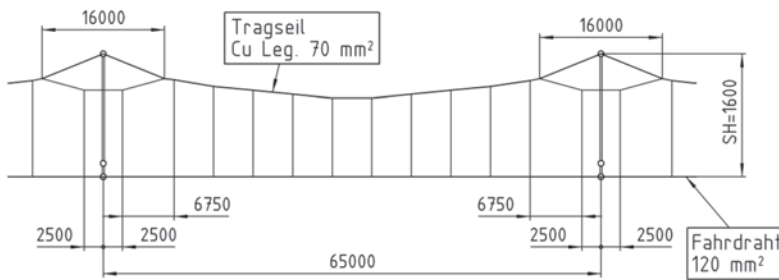
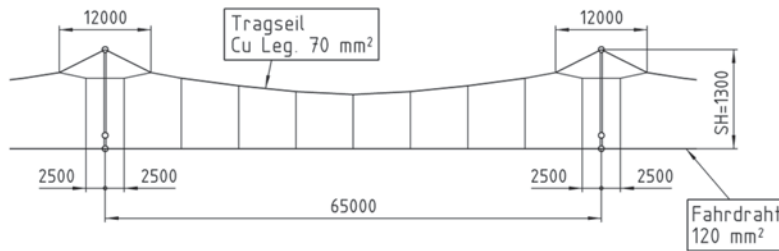
ÖBB Oberleitungstyp 1.1



ÖBB Oberleitungstyp 1.2



ÖBB Oberleitungstyp 1.3



ÖBB Oberleitungstyp 2.1 Tunnel

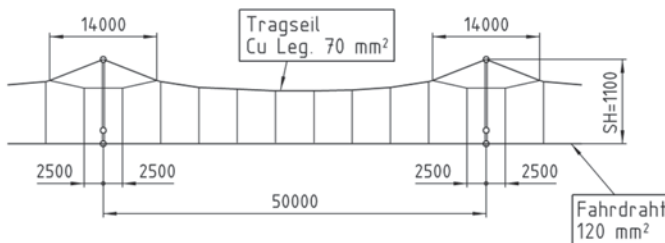


Abb. 14.21 Oberleitungsbauarten der ÖBB

Tab. 14.9 Übersicht der Oberleitungstypen der ÖBB

| Zulässige Höchstgeschwindigkeit km/h | Regelbauart | Fahrdraht Tragseil mm ² | Regelsystemhöhe m | y-Beiseil m | Mindest-Fahrdraht-höhe mm | Regel-Fahrdraht-höhe mm | Fahrdraht-seitenlage mm | Nachspannung | Nachspannlänge (max.) m |
|--------------------------------------|-------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------------------|---|---|
| ≤250 | Typ 2.1 | 120 70 | 1,60 off. Strecke 1,10 Tunnel | 16 off. Strecke 14 Tunnel | 5200 | 5300 | ±300 | 3-feldrig | 1 × 750 |
| ≤160 | Typ 1.3 | 100 oder 120 70 | 1,30 off. Strecke 1,10 Tunnel | 12 | 5000 | 5500 | ±300 (R> 1200 m) ±350 (R≤1200 m) | 3-feldrig | 1 × 750 2 × 800 Bahnhof |
| ≤120 | Typ 1.2 | 100 oder 120 70 | 1,30 off. Strecke 1,10 Tunnel | ohne | 5000 | 5500 | ±300 (R> 1200 m) ±350 (R≤1200 m) | 2-feldrig (R> 500 m) 3-feldrig (R≤500 m) | 2 × 750 freie Strecke 2 × 800 Bahnhof 1 × 750 |
| ≤80 | Typ 1.1 | 100 40 (Nirosta) | 1,30 offene Strecke 1,10 Tunnel | ohne | 5000 | 5500 | ±400 | 2-feldrig | 2 × 750 freie Strecke 2 × 800 Bahnhof 1 × 750 |

Die für Rohrschwenkausleger der DB AG verwendeten Aluminiumrohre sind in Tab. 14.10 dargestellt.

Zwei-/Mehrgleisiger Ausleger

Der Zwei-/Mehrgleisige Ausleger ist eine Stahlkonstruktion über zwei oder mehr Gleise, die einseitig, i. d. R. an einem Winkelmast, befestigt wird. Er wird angewendet, wenn nur auf eine Seite der Gleistrasse Maste gestellt werden können oder wenn man bei mehrgleisigen Abschnitten keine Quertragwerke verwenden möchte, da Quertragwerke keine mechanische Entkoppelung der Längskettenwerke ermöglichen. Der Zwei-/Mehrgleisige Ausleger wird über 1 oder 2 Auslegeranker am Mastkopf befestigt. Am Mast und an der Hängesäule werden normale Rohrschwenkausleger angebaut. Die Abb. 14.24 zeigt den grundsätzlichen Aufbau eines zweigleisigen Auslegers.

Quertragwerk

Bei Bahnhöfen und Strecken mit mehr als drei Gleisen wurden bei der DB und DR i. d. R. Quer-

tragwerke für die Aufhängung des Längskettenwerkes verwendet. Quertragwerke haben den Vorteil der platzsparenden Bauweise und benötigen keine zusätzlichen Mastgassen zwischen Gleisen.

Sie besitzen jedoch folgende Nachteile:

- bei Störung des Quertragwerkes sind alle Gleise betroffen,
- Schwingungen im Längskettenwerk werden über das Quertragwerk ins parallele Längskettenwerk übertragen.

Diese Nachteile sind der Grund, dass Quertragwerke nur bis zur Re 200 realisiert wurden und heute bei Neuanlage nur im Ausnahmefall zur Anwendung kommen sollen.

Der prinzipielle Aufbau eines Quertragwerkes geht aus Abb. 14.25 hervor.

Bei großen Querspannweiten ist die Anwendung eines Mittelmastes üblich.

Die Bauarten der Quertragwerke unterscheiden sich in:

- a. Quertragwerk mit geerdetem oberem Richtseil (Abb. 14.25 oben),

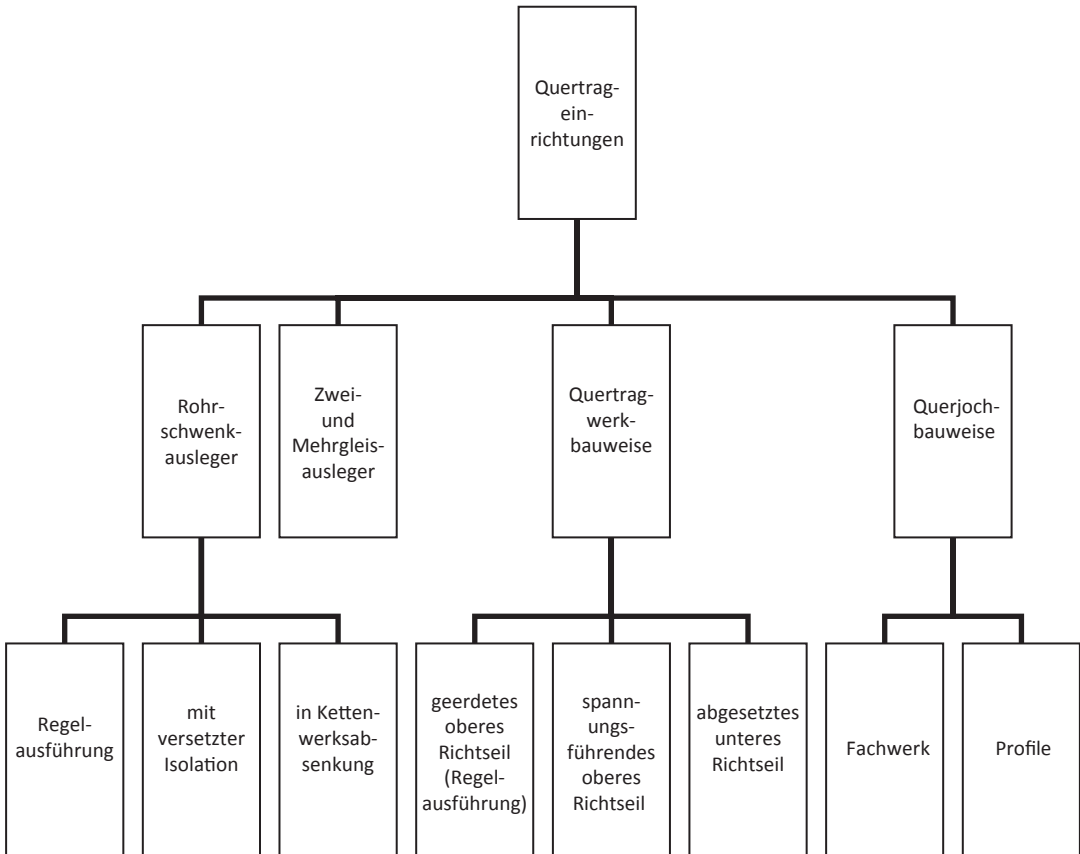


Abb. 14.22 Übersicht der Quertrageinrichtungen

- b. Quertragwerk mit spannungsführendem oberem Richtseil (SPOR) (Abb. 14.25 unten),
 c. Quertragwerk mit abgesetztem unterem Richtseil.

Als *Quertragseile* kommen 2 oder 4 Bronze- seile zum Einsatz. Sie nehmen die vertikalen Kräfte der Oberleitungsstützpunkte über den Querseilhänger auf. Bei der Verwendung von 4 Quertragseilen werden die Tragseilstützpunkte benachbarter Längskettenwerke über die Querseilhänger immer wechselseitig an jeweils zwei Quertragseilen aufgehängt. Ein Kreuzen der beiden Seilebenen ist unzulässig. Die Quertragseile sind stets geerdet. Das Durchhangsverhältnis des Quertragseiles (Durchhang des Quertragseiles zur Querspannweite) sollte in den Grenzen von 1:7 bis 1:10 liegen. Abgesehen von bestehenden älteren Anlagen wird jeweils nur ein *Richtseil* als oberes bzw. unteres Richtseil verwendet.

Das obere Richtseil nimmt die horizontalen Kräfte der Tragseilstützpunkte und das untere Richtseil die horizontalen Kräfte aus den Fahrdraststützpunkten auf. Die Verankerung der Richtseile am Mast erfolgt je nach Querspannweite:

- beidseitig fest,
- einseitig fest und auf der anderen Seite mit einer Richtseilfeder,
- einseitig fest und auf der anderen Seite mit zwei Richtseilfedern.

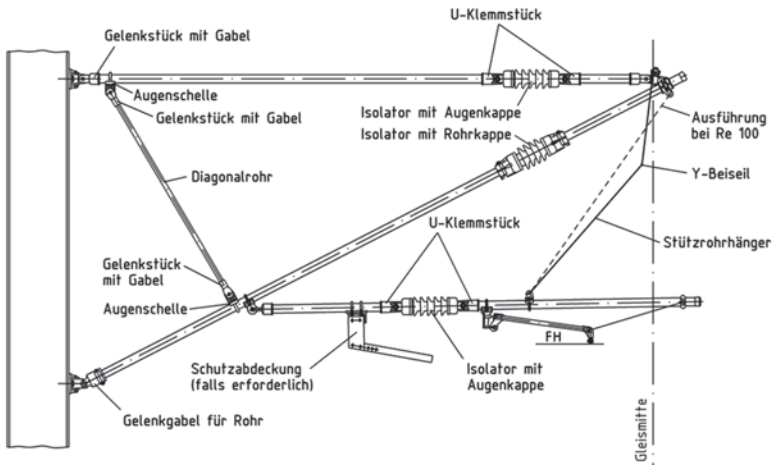
Die Richtseilfedern haben die Aufgabe, temperaturbedingte Längenänderungen der Richtseile auszugleichen und so einer Lageänderung von Tragseil- bzw. Fahrdraststützpunkt vorzubeugen. Der Einbau der Richtseilfeder erfolgt bei Querspannweiten:

- > 30 m grundsätzlich und
- ≤ 30 m bei Richtseilzugkräften über 5 kN.

a) DB AG: Re 100 / (Re 160) / Re 200 angelenkt



b) DB AG: Re 100 / (Re 160) / Re 200 Ausleger mit versetzter Isolation (geerdeter Ausleger) angelenkt



c) DB AG: Re 200mod im Bogen umgelenkt

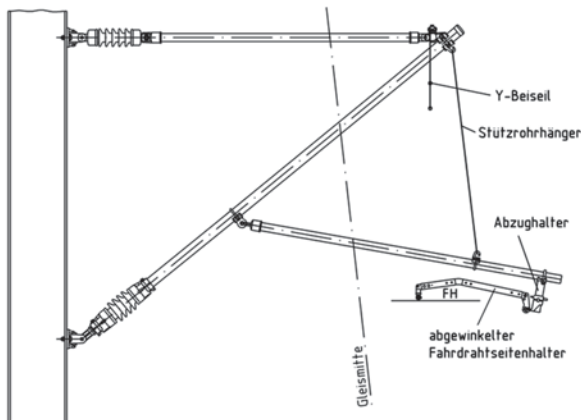
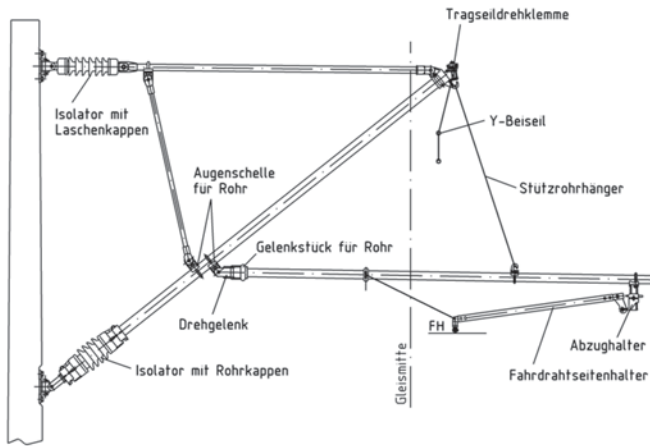


Abb. 14.23 Rohrschwenkauslegerbauform (Auswahl)

d) DB AG: Re 330 umgelenkt



e) ÖBB: Type 1,2, 1,3 und 2.1

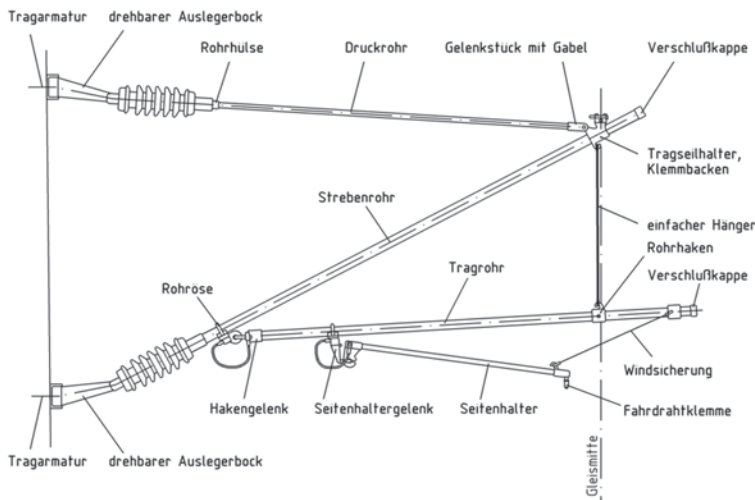


Abb. 14.23 (Fortsetzung)

Tab. 14.10 Eigenschaften der Aluminiumrohre für Rohrschwenkausleger der DB AG
Werkstoff: EN AW -6082-T6 nach EN 755-2 [5]

| Rohr D × t | A [mm ²] | Gewicht [kg/m] | Verwendung |
|---------------|-------------------------|-------------------|--|
| 26 × 3,5 | 247,40 | 0,668 | Seitenhalter, Spitzenrohr, Strebe |
| 42 × 4 | 477,52 | 1,289 | Stützrohr, Spitzenrohr Gewichtsführung |
| 55 × 6 | 923,63 | 2,494 | Auslegerrohr, Spitzenrohr, Stützrohr |
| 70 × 6 | 1206,37 | 3,257 | Auslegerrohr |
| 80 × 6 | 1394,87 | 3,766 | Auslegerrohr |

a) Quertragwerk mit gerdetem oberem Richtseil

Quertragwerke mit gerdetem oberem Richtseil stellen die Regelausführung dar und werden bei Bogenhalbmesser $R > 800$ m verwendet.

Die Gestaltung der Tragseilstützpunkte ist abhängig von der Entfernung vom Festpunkt des Längskettenwerkes. Im Festpunkt selbst wird das Tragseil über zwei horizontal liegende Isolatoren am oberen Richtseil befestigt (siehe Abb. 14.17 b)). Ansonsten befindet sich jeweils ein Isolator zwischen Tragseil und oberem Richtseil.

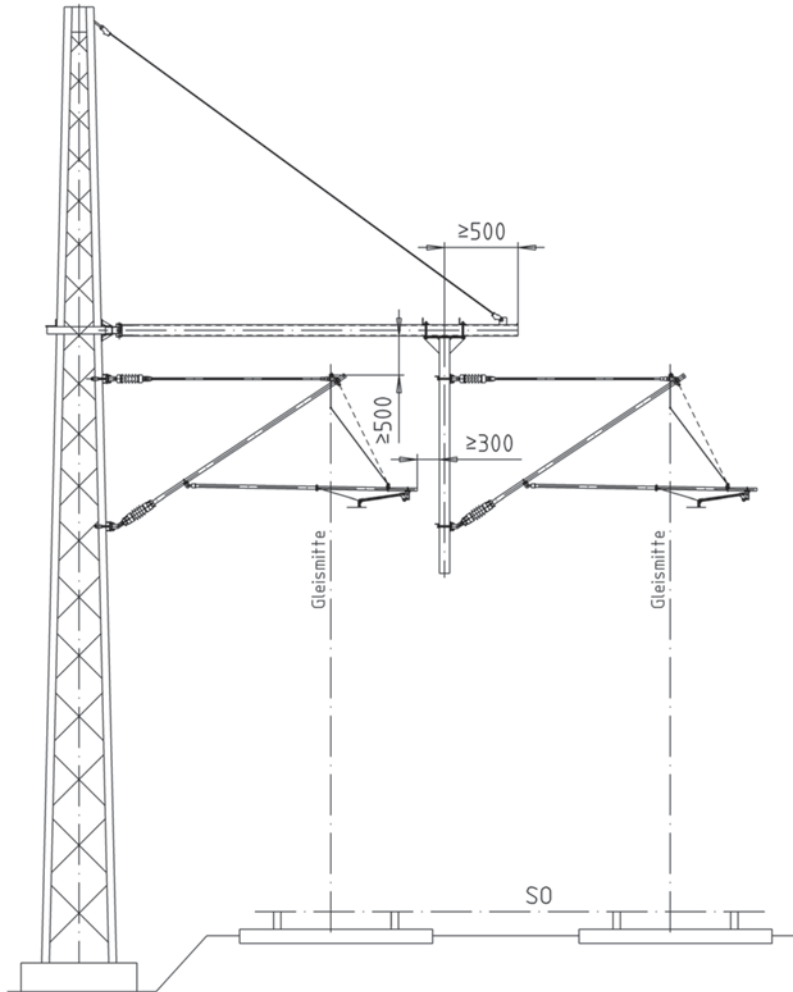


Abb. 14.24 DB AG, Re 100 – 200, 2-Gleis-Ausleger

Als Fahrdrabtstützpunkte werden auf Zug beanspruchte Leichtbauseitenhalter (in älteren Anlagen auch Rohrseitenhalter) für den befahrenen Fahrdrabt verwendet.

b) Quertragwerk mit spannungsführendem oberem Richtseil (SPOR)

Tritt aufgrund großer Kurvenzugkräfte des Längskettenwerkes eine zu große Schrägstellung der Tragseilstützpunkte auf, werden Quertragwerke mit spannungsführendem oberem Richtseil verwendet.

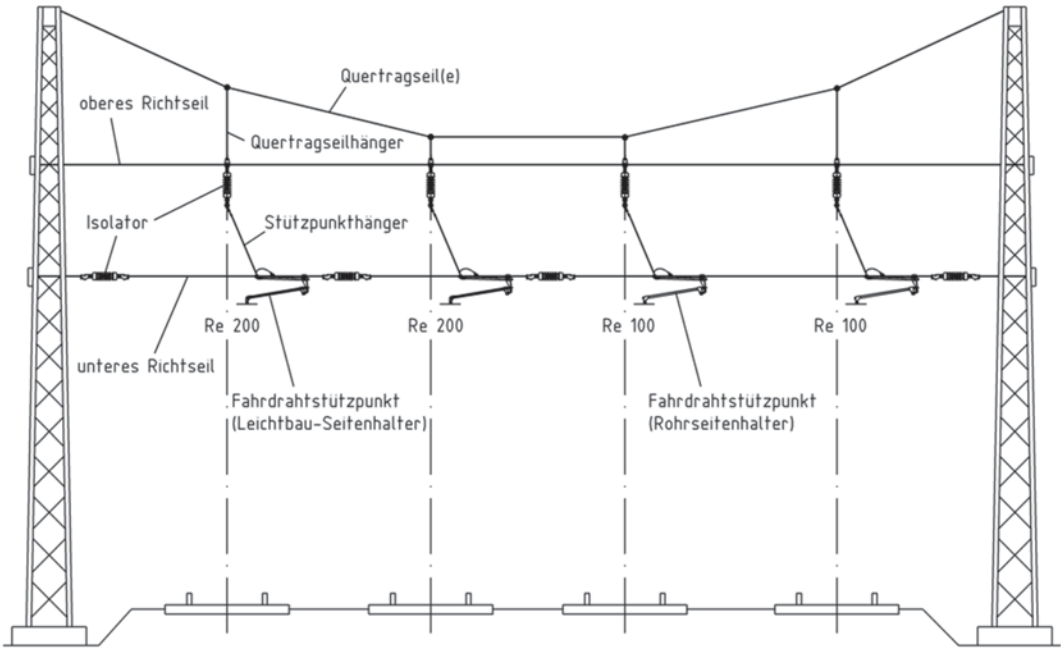
Dies trifft grundsätzlich für Quertragwerke von:

- Gleisen mit einem Bogenhalbmesser $R \leq 800$ m und
- Streckentrennungen zu.

Die Isolatoren werden zwischen Quertragseil und oberem Richtseil angeordnet. Dadurch erhöht sich der Bedarf an Isolatoren, da die Zwischenisolation zur elektrischen Trennung der Längskettenwerke in einzelnen Schaltgruppen nicht nur im unteren, sondern auch im oberen Richtseil erfolgen muss. Im Festpunkt wird das Längstragseil direkt am oberen Richtseil verankert.

Die Bauart der Fahrdrabtstützpunkte unterscheidet sich nicht von der Ausführung a).

Quertragwerk ohne Spor



Quertragwerk mit Spor

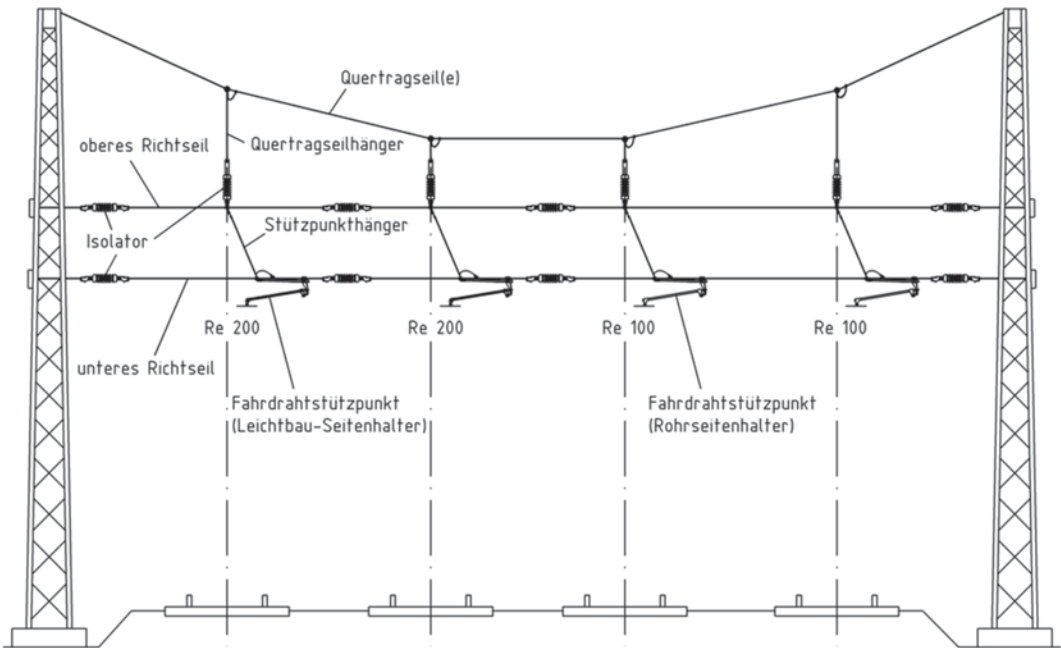


Abb. 14.25 Aufbau von Quertragwerken

c) Quertragwerk mit abgesetztem unteren Richtseil

Treten bei parallelliegenden Gleisen innerhalb eines Quertragwerkes unterschiedliche Gleishöhen auf, so bekommt das untere Richtseil, durch das Einfügen einer oder zweier Hängestützen, eine unterschiedliche Höhe, wodurch die Gleishöhenunterschiede ausgeglichen werden. Dadurch kann der absolute Wert der Fahrdrathöhe, bezogen auf die jeweilige Schienenoberkante (SO), bei Gleishöhenunterschieden innerhalb eines Quertragwerkes, konstant gehalten werden.

Ferner sind abgesetzte Richtseile zur Verbesserung des Arbeitsraumes über Ladestraßen sowie beim Überkreuzen von Gebäuden üblich.

Je nach auftretenden Belastungen kommen einfache Hängestützen oder Hängestützen in Dreiecksform zur Anwendung. Die Hängestütze selbst liegt i. d. R. auf Erdpotenzial.

Joche

Die Jochbauweise ist bei der DB AG keine Regelbauart und kommt nur in Ausnahmefällen zum Einsatz, wenn andere Quertrageinrichtungen nicht eingesetzt werden können. Insbesondere die Forderung nach einer mechanischen Entkopplung der Längskettenwerke bei den Oberleitungsbauarten Re 200mod, Re 250 und Re 330 macht den Einsatz von Jochen als Sonderkonstruktionen erforderlich, wenn die Bespannungsaufgaben nicht mit Zwei-/Mehrgleisauslegern gelöst werden können. Dadurch wird jedes Joch, entsprechend den statischen Belastungen, individuell gestaltet. Als Beispiel sei hier die Bespannung von Weichen mit großem Abzweigradius in Bahnhöfen von Neubaustrecken (NBS) bzw. Ausbaustrecken (ABS) genannt.

Dagegen werden bei fast allen anderen europäischen Eisenbahnverwaltungen Jochkonstruktionen in großem Umfang angewendet. Dabei weichen die konstruktiven Ausführungen weit voneinander ab.

Bogenabzug

Der Bogenabzug stellt eine Sonderform der Quertrageinrichtungen dar, da er auf Grund seiner Konstruktion keine vertikalen Kräfte, sondern nur horizontale Kräfte aufnehmen kann.

Der Abstand der Quertrageinrichtungen, d. h. die Längsspannweite wird oft durch den Gleisbogenhalbmesser oder die Gestaltung der Weichenstraße begrenzt. Maßgebend hierfür ist die Einhaltung der zulässigen Werte für die Fahrdrathseitenlage. Durch Anwendung von Bogenabzügen in Gleisbögen mit kleinerem Halbmesser zwischen zwei Quertrageinrichtungen kann die Längsspannweite vergrößert werden.

Unterschiede werden zwischen einem:

- gemeinsamen Bogenabzug für Fahrdraht und Trageil und
- getrenntem Bogenabzug für Fahrdraht und Trageil gemacht.

Welcher Bogenabzug zur Anwendung kommt, hängt vom Abstand des Fahrdrahtes und Trageiles an der Stelle des Bogenabzuges ab.

14.4.2.3 Maste Unterscheidungsmerkmale

Oberleitungsmaste werden unterschieden hinsichtlich ihrer Funktion, des Materials, aus dem sie hergestellt werden und der Verbindungsart mit der Gründung.

Bei der Funktion unterscheidet man zwischen

- Tragmasten und
 - Abspannmasten,
- wobei auch ein Mast beide Funktionen in sich vereinigen kann (z. B. Radspannermaste mit Rohrschwenkausleger).

Hinsichtlich des Materials unterscheidet man zwischen

- Stahlmasten und
- Betonmasten.

Nach ihrer Verbindung mit der Gründung werden Fahrleitungsmaste weiterhin unterschieden in

- Aufsetzmaste,
- Einsetzmaste und
- Überstülpmaste.

Aufsetzmaste werden mit den Ankerbolzen des jeweiligen Fundamentes verschraubt. Je nach Belastung ist die Anzahl der verwendeten Ankerbolzen unterschiedlich und schwankt zwischen 4 und 16 Ankerbolzen.

Einsetzmaste werden direkt in die Gründung eingesetzt. Das kann bei einer Ortbetongründung direkt in den Beton erfolgen (alte Bauform) oder z. B. durch Einsetzung ins Ramm- oder Bohrrohr.

Überstülpmast werden ausschließlich bei Betonmasten verwendet. Der Mast wird über ein Rohr der Gründung übergestülpt.

Stahlmaste

Als Stahlmaste kommen zur Anwendung:

- a. Rahmenflachmaste,
- b. Winkelmaste, auch als Gittermaste bezeichnet,
- c. Stahlmaste aus Doppel-T-Profil (HEB-, HEM-Maste)
- d. Sondermaste (z. B. Rohrmaste).

a) Rahmenflachmaste

Der Rahmenflachmast, oft auch kurz als Flachmast bezeichnet, besteht im Wesentlichen aus zwei, durch Bindebleche miteinander verbundenen, U-Stahl-Profilen. Diese bilden ein Rahmentragwerk, das auf Mastfußplatten aufgeschweißt wird. In bestimmten Abständen sind in dem Rahmentragwerk Verstärkungsbleche eingebaut, welche einem Verdrehen des Mastes in der Längsachse entgegenwirken. Mastfuß und Mast werden durch Bleche verbunden. Der Mastfuß ist mit vier Bohrungen für die Aufnahme der Ankerbolzen versehen. Die im Mastkopf vorhandenen Bohrungen dienen zur Befestigung eines Trägers, Querträgers oder Mastaufsatzes.

Das Anbringen einer Zugstange ist ebenfalls möglich.

Der Flachmast darf aufgrund seiner Belastbarkeit nur über die schmale Seite belastet werden und wird ausschließlich als reiner Tragmast verwendet. Ausnahmen davon erfordern einen besonderen statischen Nachweis. Je nach statischer Belastung kommen für die Flachmaste U-Profile in den Abmessungen 100 mm, 120 mm, 140 mm oder 160 mm zur Anwendung. Die Länge der Maste schwankt zwischen 6,50 m und 14 m. Jeder Mast hat eine Breitenzunahme von 30 mm/m. Zum Anschluss von Erdungsleitungen ist im unteren Mastabschnitt an den beiden schmalen Seiten jeweils eine Bohrung von 17 mm Durchmesser vorgesehen.

b) Winkelmaste

Winkelmaste, häufig auch als Gittermaste bezeichnet, bestehen aus vier Stahl-Winkelprofi-

len, so genannten Eckstielen, die durch Diagonalverstrebung untereinander verbunden sind. Je nach Länge und Beanspruchung betragen die Abmessungen 80×8 mm bis 150×14 mm. Bei Diagonalverstrebungen kommen Winkelstiele in den Abmessungen 45×5 mm bis 70×7 mm zum Einsatz.

Während früher die Diagonalen mit den Eckstielen durch Nieten verbunden wurden, wird heute der Mast als Schweißkonstruktion hergestellt.

Die Mastfüße haben eine Abmessung von 600×800 mm, 800×1000 mm, 1000×1250 mm, 1250×1600 mm, 1600×2000 mm und bis zu 16 Bohrungen für die Aufnahme der Ankerbolzen.

Die im Mastkopf vorhandenen Bohrungen dienen zur Befestigung der Träger, Querträger und Traversen. Außerdem können Mastaufsätze befestigt werden. Der Mastkopf hat an jeder Seite zwei Bohrungen von 45 mm Durchmesser, durch welche die zur Befestigung des Tragseils notwendigen Zugstangen geführt werden. Dabei wird der Mastkopf, in Beanspruchungsrichtung durch die Zugstange, mittels einer Auflage verstärkt. Die Abmessungen des Mastkopfes betragen 350×350 mm oder 400×400 mm.

c) Stahlmaste aus Doppel-T-Profilen

Stahlmaste aus Doppel-T-Profilen werden im Ausland recht häufig als Tragmaste verwendet. Eine Verwendung als Abspannmast bedingt häufig eine zusätzliche Verspannung des Mastes mit Rückankern.

Bei der DB AG werden Stahlmaste mit Doppel-T-Profil nur in Ausnahmefällen verwendet. Einige Anwendungsfälle stellen Talbrücken von Neubaustrecken sowie Stellen mit nur geringem Gleisabstand dar. Ein weiteres Beispiel ist die Verwendung von Stahlmasten aus Doppel-T-Profil innerhalb integrierter Schallschutzwände. Stahlmaste mit Doppel-T-Profil haben den prinzipiellen Nachteil gegenüber den anderen Stahlmasten, dass sie ein hohes Gewicht aufweisen und verhältnismäßig empfindlich gegen Torsionskräfte sind.

Sie werden sowohl als Einsatzmaste als auch, mit angeschweißter Fußplatte, als Aufsetzmaste verwendet.

Betonmaste

Betonmaste werden i. d. R. als Schleuderbetonmaste hergestellt und haben einen kreisringförmigen Querschnitt, d. h. im Inneren einen durchlaufenden Hohlraum. Die Maste sind konisch gestaltet. Die bei der DB AG eingesetzten Betonmaste unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Betongüte

- beim B-Mast-System und NB-Mast-System: C 55/67 und
- beim C-Mast-System: C 80/95.

Während die B-Maste und NB-Maste i. d. R. als Überstülpmaste ausgeführt werden, d. h. über ein Rammrohr des Fundamentes gestülpt werden, werden die C-Maste, aufgrund ihrer geringeren Abmessungen und der hohen Betonqualität, als Einsetzmaste hergestellt. Sie werden also ins Rohr des Fundaments eingesetzt. Die Befestigung von Bauteilen der Rohrschwenkausleger erfolgt bei der DB AG über entsprechende Buchsen, die mit der Bewehrung des Mastes verbunden sind. Im internationalen Maßstab und im Nahverkehr sind auch Spannbänder für die Befestigung der Bauteile üblich.

Eine besondere Form der Betonmaste sind die Rechteckbetonmaste. Diese werden bei der ÖBB und bei der ehemaligen DR für Tragmaste von Quertragwerken verwendet. Die Nachteile dieser Masten sind das hohe Gewicht und die schlechte Besteigbarkeit.

14.4.2.4 Gründungen

Gründungsarten

Die Gründungen der Oberleitungsmaste und der Mastanker haben die Aufgabe, alle Kräfte der Oberleitungsanlage in den Baugrund zu übertragen.

Die Auswahl der jeweiligen Gründungsart wird im Wesentlichen durch:

- die Tragfähigkeit und Festigkeit des Baugrundes,
- die Belastung,
- die verwendeten Mastarten,
- die technologischen Bedingungen,
- die Kosten,
- die geometrischen Bedingungen in einer bestehenden Anlage bestimmt.

Die Abb. 14.26 gibt einen Überblick der gebräuchlichsten Gründungsarten.

Als ein gewisses „Standardgründungsverfahren“ hat sich heute in Deutschland die **Ramm-**

gründung etabliert. Sie eignet sich besonders für Maststandorte mit tiefliegenden tragfähigen Schichten oder mit hohem Grundwasserstand, kann aber aus wirtschaftlichen Gründen auch bei anderen Bodenarten angewandt werden.

Nicht geeignet ist dieses Verfahren bei Felsuntergrund und überall dort, wo wegen den Erschütterungen und Veränderungen im Boden nicht gerammt werden darf, so z. B. bei Fester Fahrbahn, Nähe zu Bauwerken.

Bei der **Rammpfahlgründung** werden i. d. R. Stahlpfähle in die Erde gerammt und danach mit einem Betonkopf mit Ankerbolzen versehen. Die Ankerbolzenanzahl richtet sich nach der Belastung. Es können alle Stahlmaste mit einem Fuß verwendet werden.

Für die Verwendung von Betonmasten, wird auf dem Rammpfahl vor dem Rammen ein Stahlrohr mit kleinem Durchmesser aufgeschweißt. Über dieses Rohrstück wird der Betonmast (B- oder NB-Mast) gestülpt.

Anstelle des Rammpfahles tritt bei der **Rammrohrgründung** ein Rohr. Dieses Rohr kann einen kleinen Durchmesser aufweisen, ist dann relativ starkwandig und es können Betonmaste (B-, NB-Maste) übergestülpt werden. Bei Verwendung von Rohren mit großem Durchmesser werden Betonmaste (C-Maste) oder Stahlsondermaste mit Doppel-T-Profil ohne Fuß eingesetzt und nach entsprechender Ausrichtung der Maste mit Vergussmasse verfüllt.

Kann aus verschiedenen Gründen nicht gerammt werden, stellen **Bohrgründungen** eine Alternative dar. Ein Rohr wird dabei nicht in die Erde geschlagen, sondern es besteht die Möglichkeit das Rohr in die Erde hineinzudrehen. Dabei wird gleichzeitig ein Teil des im Rohr anfallenden Erdreiches mit einem Bohrer entfernt. Diese Gründungsart wird als **Großrohrbohrgründung** bezeichnet. In dieses Rohr können dann Betonmaste oder Stahlsondermaste ohne Fuß eingesetzt werden.

In felsigen Böden werden die Bohrungen direkt in den Untergrund eingebracht. Dies bezeichnet man als **Felsbohrgründung**.

Die **Ortbetongründung** ist historisch gesehen die älteste Gründungsart. Nach Ausheben einer Fundamentgrube wird das Fundament „am Ort“ gegen das Erdreich betoniert. Die Anker-

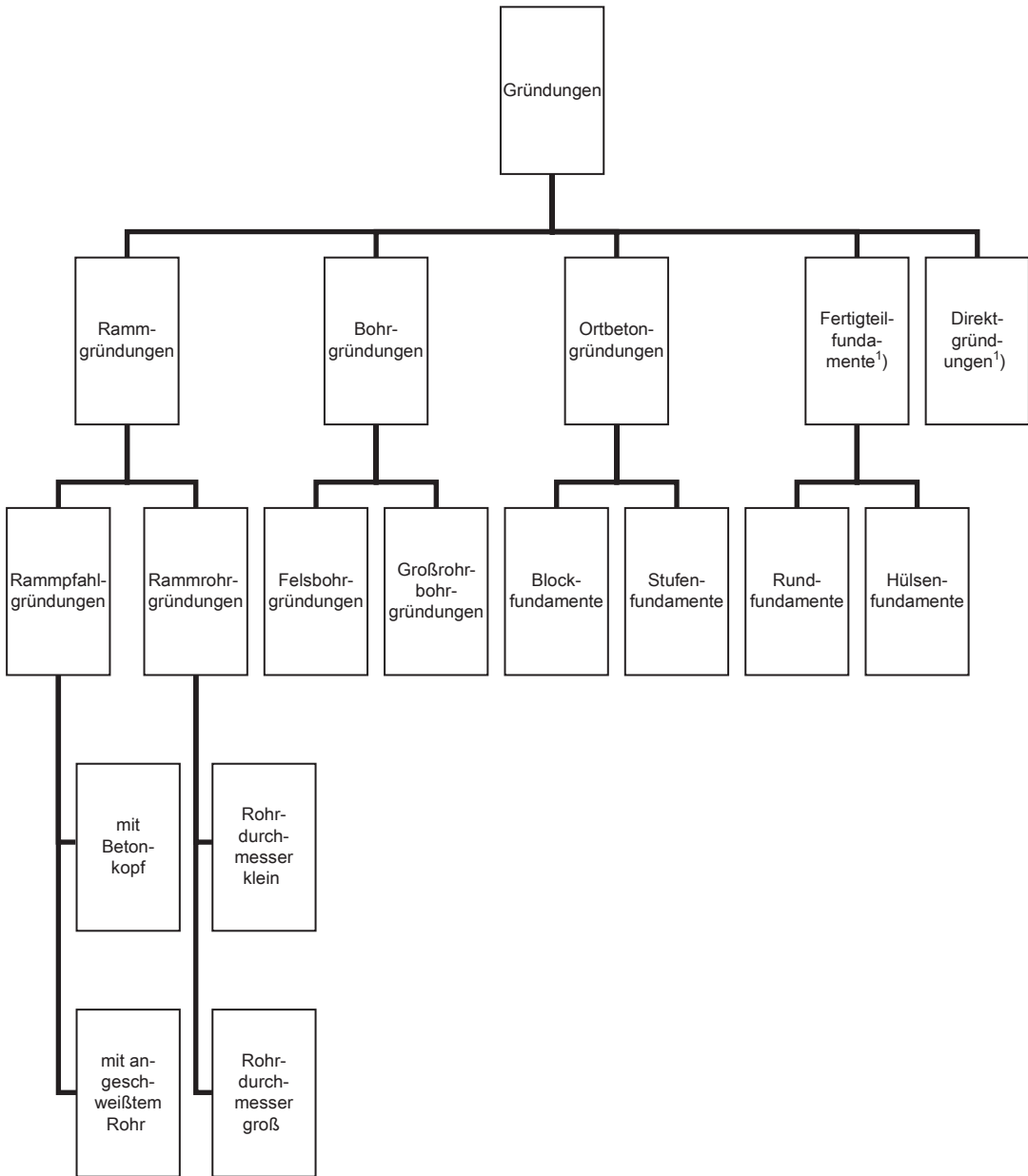


Abb. 14.26 Übersicht über die Gründungsarten.
¹⁾ bei der DB AG für den Neubau nicht zugelassen

bolzen werden mittels einer Schablone in das Fundament eingehängt. Darauf können dann alle Stahlmaste mit Fuß als Aufsetzmaste verschraubt werden. Ortbetonfundamente haben den Nachteil, dass ihre Errichtung einen verhältnismäßig hohen Zeit- und Arbeitsaufwand erfordert.

Ortbetongründungen werden i. d. R. als *Blockfundamente* ausgeführt. Große äußere Kräfte und/

oder nicht standfeste Böden können die Verwendung eines *Stufenfundamentes* erforderlich machen.

Fundament- und Mastabstände

Die Abstände *b* von Gleismitte zur

- Vorderkante des Fundaments (Stahlmaste) oder
- Vorderkante der Betonmaste

Tab. 14.11 Fundament- und Mastabstände (Regelwerk) [6]

| Ort | Abstand b in m | | | |
|----------------------------------|--------------------------------|------|---------------------------------|------------|
| | eingleisiger Streckenabschnitt | | zweigleisiger Streckenabschnitt | |
| | mit | ohne | mit | ohne |
| | Kabeltrasse | | Kabeltrasse | |
| in der Geraden | 3,65 | 3,50 | 3,65 | 3,50 |
| im Bogen auf der Bogeninnenseite | 3,65 | 3,50 | 3,65 | 3,50 |
| auf der Bogenaußenseite für u** | | | | |
| 0 bis 20 mm | 3,65 | 3,50 | 3,65 | 3,50 |
| 25 bis 50 mm | 3,65 | 3,50 | 3,75 | 3,60 |
| 55 bis 100 mm | 3,65 | 3,50 | 3,85/3,90* | 3,70/3,75* |
| 105 bis 160 mm | 3,65 | 3,50 | 3,95/4,05* | 3,80/3,90* |

* gültig für Re 250/Re 330

** Überhöhung

Tab. 14.12 Zuschläge zur halben Breite des Lichtraumprofils für die Ermittlung der Mastabstände bei beengten Verhältnissen (durchgehende Hauptgleise und andere Hauptgleise für Reisezüge) [6]

| Zuschläge zur halben Breite des Lichtraumprofils für die Ermittlung der Mastabstände bei beengten Verhältnissen (durchgehende Hauptgleise und andere Hauptgleise für Reisezüge) | | | | | | | | |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| u [mm] | 0 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 |
| Zuschlag [mm] | 0 | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 | 140 | 159 |
| u [mm] | 90 | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 | 150 | 160 |
| Zuschlag [mm] | 178 | 198 | 217 | 236 | 255 | 274 | 292 | 310 |

Tab. 14.13 Zuschläge zur halben Breite des Lichtraumprofils für die Ermittlung der Mastabstände bei beengten Verhältnissen (übrige Gleise) [6]

| Zuschläge zur halben Breite des Lichtraumprofils für die Ermittlung der Mastabstände bei beengten Verhältnissen (übrige Gleise) | | | | | | | | |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| u [mm] | 0 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 |
| Zuschlag [mm] | 0 | 52 | 78 | 103 | 129 | 154 | 180 | 205 |
| u [mm] | 90 | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 | 150 | 160 |
| Zuschlag [mm] | 230 | 255 | 280 | 305 | 330 | 354 | 379 | 404 |

sollen die Werte in Tab. 14.11 nicht unterschreiten.

Bei beengten Verhältnissen in Folge von Umbauten bestehender Strecken sind folgende Mindestmaße einzuhalten, die sich aus der Summe:

- halbe Breite des Lichtraumprofils,
 - Bautoleranz,
 - Zuschlag für Überhöhung u auf der Bogeninnenseite
- ergeben.

Daraus resultiert ein erforderlicher Mindestabstand für:

- durchgehende Hauptgleise und andere Hauptgleise mit Reisezugverkehr von:
 $b = 2500 \text{ mm} + 50 \text{ mm} + u$ (nach Tab. 14.12),

b. übrige Gleise von:

$$b = 2200 \text{ mm} + 50 \text{ mm} + u \text{ (nach Tab. 14.13).}$$

14.4.2.5 Erforderliche Lichte Höhe von Bauwerken

Bei elektrifizierten Strecken oder zur Elektrifizierung vorgesehener Strecken sollten Umbauten in Abhängigkeit der Oberleitungsbauart und der zulässigen Geschwindigkeiten die in Tab. 14.14 aufgeführte Lichte Höhe aufweisen. Die Werte beziehen sich auf eine maximale Bauwerksbreite von 15 m senkrecht zur Gleisachse und eine mittige Anordnung über dem Parallelfeld (Nachspannung, Streckentrennung).

Tab. 14.14 Minimale Lichte Höhe von Bauwerken [6]. SH: Systemhöhe

| v_{\max} | Freie Strecke im Normalbereich der Kettenwerke | Freie Strecke im Bereich von Nachspannungen, Streckentrennungen, Streckentrennern und in Bahnhöfen | Bemerkungen |
|-----------------------------|--|--|--|
| ≤ 160 km/h | 5,70 m | 6,20 m | |
| ≤ 200 km/h | 5,90 m | 6,20 m | |
| ≤ 230 km/h | 5,90 m | 7,90 m | |
| ≤ 330 km/h – SH=1,80 m | 7,40 m | 7,90 m | |
| ≤ 330 km/h – SH=1,10 m | 6,70 m | 7,20 m | Reduzierung der Längsspannweite erforderlich |

Tab. 14.15 Gestaltung von Bahnübergängen [5]

| Fahrdrathöhe H [m] über Straßenoberkante | Maßnahme | | | |
|---|-----------------------------|--|------------------|------------|
| | Andreaskreuz mit Blitzpfeil | Höhenbegrenzungsschild (Zeichen 265 nach StVO) | Profilator H [m] | Leittafeln |
| $H \geq 5,50$ | notwendig | | | |
| $5,20 \leq H < 5,50$ mit Profileinschränkung | notwendig | 4,0 m | | |
| $5,10 \leq H < 5,20$ mit Profileinschränkung | notwendig | 3,9 m | | |
| $5,00 \leq H < 5,10$ mit Profileinschränkung | notwendig | 3,8 m | | |
| $4,95 \leq H < 5,00$ mit Profileinschränkung | notwendig | 4,0 m | 4,45 | notwendig |

Bei überhöhten bzw. geneigten Gleisen sind, abhängig von der Überhöhung u und der Neigung i , folgende Zuschläge zu machen:

$$\Delta h = \frac{2}{3} \cdot u + 1,5 \quad (14.7)$$

Darin bedeuten:

Δh Zuschlag der Lichten Höhe in mm

u Überhöhung in mm

i Neigung in %.

Abweichungen von den Werten aus Tab. 14.14 erfordern einen projektbezogenen Nachweis der Einhaltung der (Mindest-)Fahrdrathöhe und der elektrischen Abstände zwischen spannungsführenden und geerdeten Bauteilen.

14.4.2.6 Gestaltung der Oberleitungsanlage an Bahnübergängen

Auf Bahnübergängen (BÜ) mit allgemeinem Fahrzeugverkehr soll von Oberleitungen und von an demselben Gestänge geführten Leitungen zur Straßenoberfläche ein Abstand von wenigstens 5500 mm vorhanden sein.

Dabei sind alle thermischen und dynamischen Bewegungen des Fahrdrathes und der Leitungen sowie die Bautoleranz von 30 mm und die halbe normale Zusatzlast nach EN 50341 zu berücksichtigen. Der ungünstigste Fall ist maßgebend. Überbauten in der Nähe solcher BÜ sollten so hoch sein, dass die geforderte Fahrdrathöhe über dem Bahnübergang eingehalten werden kann, ohne die zulässige Neigung des Fahrdrathes zu überschreiten (siehe Tab. 14.7).

Lässt sich auf BÜ der Mindestabstand von 5500 mm nicht einhalten, so müssen, im Einvernehmen mit der Straßenverkehrsbehörde, beiderseits des Überganges Höhenbegrenzungen (Profilatoren) für die Straßenfahrzeuge angebracht werden. Die Höhenbegrenzungen müssen durch Verkehrsverbotszeichen nach der Straßenverkehrsordnung (StVO) gekennzeichnet werden.

Die durchzuführenden Maßnahmen sind in Tab. 14.15 aufgeführt.

14.4.2.7 Elektrische Gestaltung Thermische Bemessung

Die Oberleitungsanlage muss so bemessen sein, dass sie die elektrische Strombelastung (Dauer-

und Fehlerstrombelastung) berücksichtigt. Die Anlage muss für Kurzschlussfälle ausgelegt werden.

Die größte Erwärmung der Leiter (durch Strombelastung verursacht) darf nicht zu Leitertemperaturen führen, bei denen die mechanischen Eigenschaften negativ beeinflusst werden. Die im Hinblick auf geometrische Anforderungen festgelegte höchste Betriebstemperatur der Oberleitungsanlage darf nicht überschritten werden.

Die höchste Betriebstemperatur der Oberleitung beträgt 70 °C (Re 100 bis Re 250) bzw. 80 °C (Re 330).

Die von der Strombelastung verursachte Erwärmung muss zur Umgebungstemperatur und Sonneneinstrahlung addiert werden, um die mechanischen und maßlichen Vorgaben, die für die maximale Belastung des Leitersystems gemacht wurden, einzuhalten. Die zulässige Dauerstrombelastbarkeit der Kettenwerke der DB AG ist in Tab. 14.8 enthalten.

Isolation

Die Isolation der spannungsführenden Teile erfolgt an den Stützpunkten (Aufhängepunkten) mit Hilfe von Isolatoren, ansonsten durch Einhaltung eines Mindestabstandes in Luft zwischen spannungsführenden und geerdeten Teilen.

Je nach Material der Isolatoren unterscheidet man zwischen

- Keramikisolatoren,
- Glasisolatoren und
- Kunststoffisolatoren (Verbundisolatoren).

Glasisolatoren werden bei der DB AG in Neuanlagen nicht mehr angewendet.

Keramik- und Kunststoffisolatoren können je nach Wunsch des Betreibers äquivalent eingesetzt werden. Lediglich in Streckentrennungen der Re 200mod und im Längskettenwerk der Re 330 sind Kunststoffisolatoren vorgeschrieben.

Kunststoffisolatoren sind sehr leicht und nicht bruch- oder stoßempfindlich. Dies bringt für die Montage und den Betrieb der Anlage einige Vorteile mit sich.

Keramikisolatoren haben eine über 75 Jahre dauernde Betriebszuverlässigkeit nachgewiesen. Für Rohrschwenkausleger kann der Isolator mit einer Unikappe ausgerüstet werden und damit verschiedene Rohrdurchmesser klemmen.

Die Luftstrecken zwischen geerdeten Teilen und unter Spannung stehenden unisolierten Tei-

Tab. 14.16 Elektrische Abstände in Luft [2]

| Spannung | Empfohlene Abstände in Luft | |
|-----------|-----------------------------|----------------|
| | statisch [mm] | dynamisch [mm] |
| DC 750 V | 100 | 50 |
| DC 1,5 kV | 100 | 50 |
| DC 3,0 kV | 150 | 50 |
| AC 15 kV | 150 | 100 |
| AC 25 kV | 270 | 150 |

len der Oberleitung oder Bahnenergieleitungen müssen festgelegt werden, um Beschädigungen der Oberleitungsanlage und der geerdeten Infrastruktur zu begrenzen und die Sicherheit nicht zu gefährden.

In verschmutzten Bereichen sind vergrößerte Luftstrecken erforderlich.

Unterschiedliche *Luftstrecken* für „statische“ und „dynamische“ Fälle werden mehr durch Wahrscheinlichkeitsüberlegungen als aus physikalischen Gründen gerechtfertigt; z. B. ist es unwahrscheinlich, dass eine Stoßüberspannung in genau demselben Augenblick auftritt, wenn ein Stromabnehmer einen engen Teil eines Tunnels passiert. Für diesen „dynamischen“ Fall ist eine kleinere Luftstrecke zu rechtfertigen.

Die in Tab. 14.16 angegebenen Luftstrecken können verkleinert oder vergrößert werden, wobei Gesichtspunkte, wie z. B. absolute Feuchte, Bereich der Umgebungstemperatur, Luftdruck, relative Luftdichte, Form und Werkstoff sowohl der unter Spannung stehenden als auch der geerdeten Bauwerke, zu berücksichtigen sind (siehe EN 50125). Es sollte jedoch jeder Fall gesondert betrachtet werden.

Mindestabstände von spannungsführenden Oberleitungsteilen zu Standflächen

Die spannungsführenden Teile einer Oberleitungsanlage müssen zu Orten, die von Personen (auch zufällig) betreten werden können, einen Mindestabstand aufweisen. Der Mindestabstand muss bei allen Temperaturen und bei Zusatzlasten von Leitungen eingehalten werden.

Ob ein Ort als Standfläche gilt, ist davon abhängig, ob eine Person dort stehen oder gehen kann.

Für arbeitende Personen, z. B. auf Bahnsteigdächern, Arbeitsbühnen oder Signalen, gelten diese Abstände nicht.

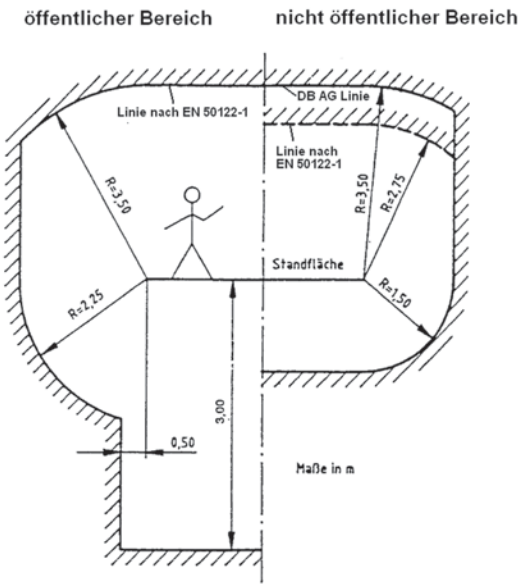


Abb. 14.27 Mindestabstände von aktiven, der Berührung zugänglichen Teilen der Oberleitungsanlagen sowie der Außenseiten von Fahrzeugen zu Standflächen, die von Personen betreten werden dürfen [2, 5]

Abbildung 14.27 zeigt die erforderlichen Mindestabstände. Können diese, aufgrund der örtlichen Gegebenheiten, nicht eingehalten werden, sind Hindernisse in Form von Schutzgittern bzw. Schutzabdeckungen vorzusehen.

Elektromagnetische Beeinflussungen

Elektromagnetische Beeinflussungen, die von Oberleitungen elektrischer Bahnen hervorgerufen werden, können eine Anzahl von Ursachen haben, einschließlich:

- Überschläge und Kriechströme über Isolatoren,
- keine feste Verbindung unter Spannung stehender Teile (Hängerklemmen, Fahrdrabtseitenhalter, usw.),
- als Antenne wirkende Leiter,
- Lichtbogenbildung zwischen Stromabnehmer und Fahrdrabt.

Diese Gesichtspunkte sollten bei der Auslegung der Oberleitungsanlage und der Konstruktion der Bauteile und Einrichtungen berücksichtigt werden. Prüf- und Messtechniken, Empfehlungen für Grenzwerte und Vorschläge für anzuwendende Verfahren zur Verringerung der elektromag-

netischen Beeinflussungen sind enthalten in EN 50121-5.

Schaltung der Oberleitungsanlage

Ein Streckenabschnitt, der innerhalb eines vom Unterwerk versorgten Bereiches über einen einzelnen Streckenzuleitungs-Leistungsschalter gespeist wird, wird als *Speisebezirk* bezeichnet. Um für Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten und für Havariefälle nicht den gesamten Speisebezirk ausschalten zu müssen, wird dieser in elektrisch abtrennbare Teilbereiche der Oberleitung unterteilt, die als *Schaltabschnitte* bezeichnet werden.

Die Grenzen der Schaltabschnitte sollen an den betrieblichen Grenzen zwischen den Bahnhöfen und den freien Strecken sowie an sonstigen Betriebsstellen der freien Strecke angeordnet werden.

Ein Bahnhofsschaltabschnitt umfasst sämtliche Oberleitungen einschließlich eventueller Verstärkungsleitungen innerhalb der Schaltabschnittsgrenzen.

Zum Schaltabschnitt der freien Strecke gehören sämtliche Oberleitungen einschließlich eventueller Verstärkungsleitungen zwischen den Schaltabschnittsgrenzen zu benachbarten Bahnhöfen oder zu sonstigen Betriebsstellen der freien Strecke.

Schaltabschnittsgrenzen müssen und Längsunterteilungen der Oberleitung innerhalb von Bahnhöfen sollen unter Signaldeckung liegen.

Schaltabschnittsgrenzen müssen, Längsunterteilungen in Bahnhöfen sollen als Streckentrennungen ausgeführt werden. Streckentrennungen dürfen nicht im Bereich von Bahnsteigen und an sonstigen Stellen liegen, an denen Fahrzeuge mit gehobenem Stromabnehmer regelmäßig halten.

Signaldeckung liegt vor, wenn beim Hauptsignal kein Triebfahrzeug mit gehobenem Stromabnehmer in einer Streckentrennung zum Halten kommt.

Auf Strecken, auf denen Züge regelmäßig nachgeschoben oder Wendezüge, Triebzüge oder Triebwagenzüge eingesetzt werden, dürfen vor Hauptsignalen, auch vor denen der Gegenrichtung, im Abstand nach Abb. 14.28 keine Schaltabschnittsgrenzen liegen.

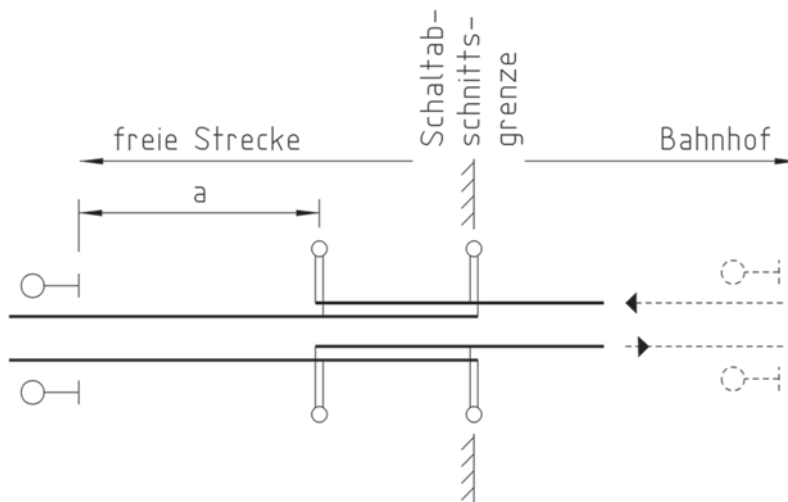


Abb. 14.28 Lage der Schaltabschnittsgrenze vor Hauptsignalen (Blockkennzeichen) [6]

Der Wert a ist abhängig von den vorwiegend zum Einsatz kommenden Zugarnituren

- 200 m bei S-Bahnen,
- bis 400 m im Regelnetz (maßgebende Länge bei elektrischen Tzf am Zugschluss),
- 410 m bei CIR-ELKE,
- 500 m bei Neubaustrecken.

Durch die geforderte Anordnung soll verhindert werden, dass sich bei signalmäßigem Halt der genannten Zugarten ein gehobener Stromabnehmer im Bereich der zurückliegenden Streckentrennung befindet.

Die Oberleitung der freien Strecke und der durchgehenden Hauptgleise der Bahnhofsschaltabschnitte dürfen nicht elektrisch fest verbunden werden.

Schaltabschnittsgrenzen zwischen dem Bahnhof und der freien Strecke müssen nach Abb. 14.29 angeordnet werden.

In der Regel werden die Schaltabschnittsgrenzen zwischen Einfahrtsignal und Einfahrweiche/Rangierhalttafel (Ra 10) angeordnet.

Durch die festgelegten Abstände soll sichergestellt werden, dass ein nach Signalhalt anfahrenes Triebfahrzeug mit gehobenem Stromabnehmer beim Befahren der Streckentrennung bereits eine solche Geschwindigkeit erreicht hat, dass eine punktuelle Erwärmung des Fahrdrach-

tes durch Ausgleichsströme nicht zu einem Fahrdrachtabbrand führt.

Der festgelegte Abstand für das Signal Ra 10 (Rangierhalttafel) garantiert, dass beim Rangieren mit elektrischen Triebfahrzeugen die Streckentrennung nicht befahren wird.

Bei Wende- und Kreuzungsbahnhöfen von S-Bahnen sind Abweichungen davon zulässig.

Die in Abb. 14.29 dargestellten Abstände zu den Hauptsignalen gelten auch sinngemäß für Abzweigstellen der freien Strecke.

Die Oberleitungen der Bahnhofsschaltabschnitte sind in Schaltgruppen zu unterteilen. Unterteilungen können nach Hauptgleisen für Reisezüge und für Güterzüge sowie nach Nebengleisen vorgesehen werden. Zusätzlich können Längsunterteilungen in durchgehenden Hauptgleisen, z. B. zwischen Weichenbereichen und Gleisen oder zwischen Bahnhofsteilen, erforderlich werden. Bei der Schaltgruppeneinteilung ist Übersichtlichkeit anzustreben.

Durch zweckmäßige elektrische Unterteilung in Schaltgruppen soll einerseits die Verfügbarkeit der Oberleitungsanlagen gesteigert werden, da bei Störungen und Instandhaltungsarbeiten nur Teilbereiche ausgeschaltet werden müssen; andererseits setzt das Gebot der Wirtschaftlichkeit und auch die Gefährdung von elektrischen Trennstellen durch Überfahren elektrischer Triebfahrzeu-

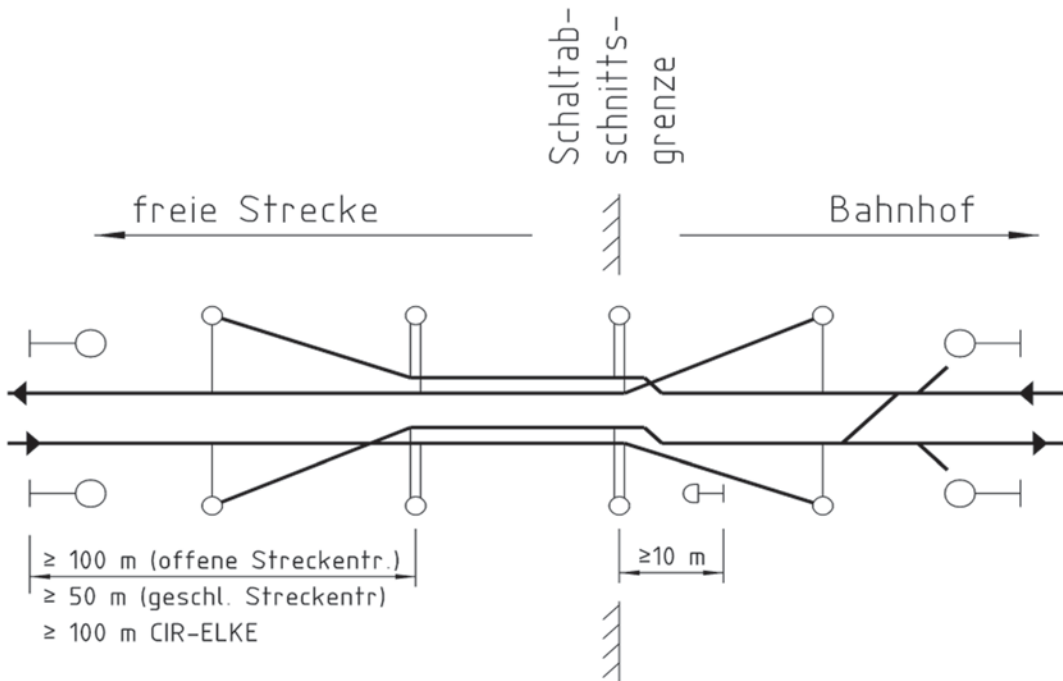


Abb. 14.29 Lage der Schaltabschnittsgrenze Bahnhof – freie Strecke

ge einer zu weit gehenden Unterteilung Grenzen. Durch Übersichtlichkeit bei der Schaltgruppeneinteilung soll die sichere Betriebsführung im Oberleitungsnetz erleichtert werden.

Die Oberleitungen von Privatgleisanschlüssen sollen möglichst dicht bei der Eigentums-grenze auf DB Netz-Seite an den versorgenden Streckenschaltabschnitt oder an die versorgende Bahnhofsschaltgruppe elektrisch angebunden werden. Der Anschluss muss über einen Schalter mit Kurzschlussstrommeldewandler erfolgen. Bei großen Privatanschlüssen ist die direkte Speisung aus dem Unterwerk bzw. Schaltposten über eine Speiseleitung sinnvoll.

Für jeden Schalter im Oberleitungsnetz ist eine Grundstellung festzulegen.

Die Oberleitungen der durchgehenden Hauptgleise eines Speisebezirks sollen quergeschaltet werden. Hierzu sind in den Bahnhöfen sowie an Überleitstellen und Abzweigstellen Querschalter vorzusehen. Bei getrennten Speiseleitungen sind in der Nähe von Speisepunkten zu Streckenschaltabschnitten zusätzlich Querschalter einzubauen.

In Ausnahmefällen können weitere Querschalter auf der freien Strecke erforderlich werden.

Durch die Anordnung der Querschalter in den genannten Betriebsstellen soll erreicht werden, dass die Kettenwerke beider Streckengleise zum Energietransport, auch bei unterschiedlichen Belastungsverhältnissen, beitragen und die Spannungsunterschiede beim Überfahren von Streckentrennern zwischen den durchgehenden Hauptgleisen verringert werden.

Durch die Anordnung der Querschalter an den Speisepunkten soll eine bessere Kurzschlussortung und bei längeren Speiseleitungen eine symmetrische Stromverteilung auf die Speiseleitung erreicht werden. Querschalter sind für eine Kurzschlussortung mit Kurzschlussmeldewandler auszurüsten.

Streckentrenner (siehe Abb. 14.30) dienen zur Unterteilung der Oberleitung in verschiedene Schaltabschnitte (Schaltgruppen).

Im Regelfall werden Streckentrenner nur in Weichenverbindungen sowie in den nicht durchgehenden Hauptgleisen und Nebengleisen der Bahnhöfe eingesetzt.

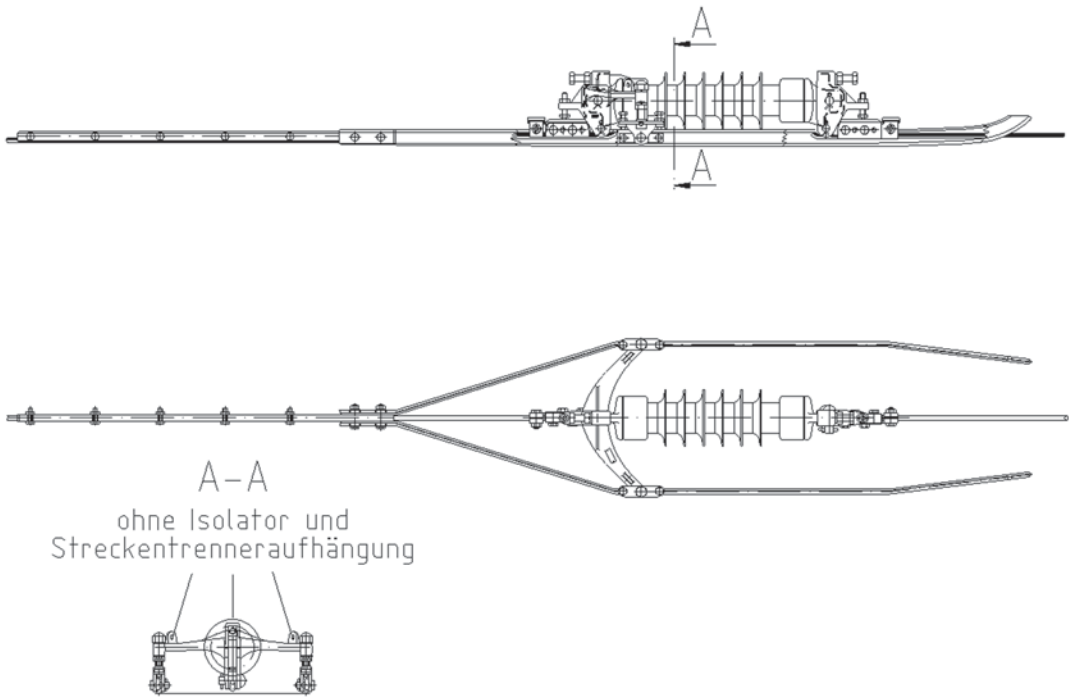


Abb. 14.30 Streckentrenner für $v_{\max} = 130$ km/h

Nur im Ausnahmefall, insbesondere bei vorübergehenden Bauzuständen (Zwischenbauzustand), werden Streckentrenner auch in die durchgehenden Hauptgleise der Bahnhöfe und auf der freien Strecke eingebaut. Hierfür ist eine besondere Genehmigung erforderlich.

Streckentrenner sind so konstruiert, dass beim Überfahren des Streckentrenners die Leistungsübertragung zum elektrischen Triebfahrzeug nicht unterbrochen wird. Streckentrenner und Stromabnehmer (Doppelschleifleiste) sind so aufeinander abgestimmt, dass ein Einstromabnehmerbetrieb möglich ist.

Der Streckentrenner sollte bei einer Fahrdrachtlage von ± 0 cm (Mittelsenkrechte der Schienenkopfberührenden) eingebaut werden.

In Ausnahmefällen ist eine Fahrdrachtlage von ± 5 cm am Einbauort zugelassen.

Streckentrenner bestehen aus einem Isolierkörper und Kufen, die das Darunterweggleiten des Stromabnehmers und die unterbrechungsfreie Energieübertragung zum Triebfahrzeug garantieren sollen. Als Isolierkörper werden entwe-

der Isolatoren aus Keramik bzw. Kunststoff oder Isolatorstäbe verwendet.

Streckentrenner mit Keramikisolatoren haben den großen Nachteil der Masseanhäufung im Kettenwerk und sind deshalb nur bis 120 km/h geeignet. Streckentrenner mit Kunststoffisolatoren sind für eine maximale Befahrgeschwindigkeit von 130 km/h zugelassen. Leichtbaustreckentrenner mit Isolierstäben erreichen 160 km/h. Allerdings ist dann ein Einbau im mittleren Drittel einer Längsspannweite erforderlich.

Die *Ladegleisschaltung* darf sich nur über die unbedingt notwendige Länge erstrecken. Die Anordnung des Ladegleisschalters sowie die zulässige Ladegleisslänge nach beiden Seiten des Ladegleisschalters sind entsprechend den örtlichen Verhältnissen festzulegen.

Die Schaltung von Oberleitungsanlagen über Behandlungsanlagen ist von der planenden Stelle mit dem Betreiber abzustimmen.

Nebenverbraucher (z. B. Weichenheizung, Zugvorheizungsanlage, Ersatzspeisung von Stellwerken) müssen vom Oberleitungsnetz

Tab. 14.17 Bezeichnung der Fahrleitungsschalter der DB AG (Auszug) [7]

| | |
|---|---|
| 1, 2, 3, 4 | Schalter zur Verbindung der Fahrleitung der durchgehenden Hauptgleise des Bahnhofes mit der Fahrleitung zur freien Strecke |
| 11, 12, 13, 14 21, 22, 23, 24, usw. | Schalter zur Verbindung der Fahrleitung weiterer in den Bahnhof einmündender Strecken mit der Fahrleitung der Bahnhofsgleise |
| 5, 15, 25, usw. | Schalter zur Verbindung der Schaltgruppen zweier Hauptgleise der gleichen Strecke, Querkuppelschalter |
| 6, 16, 26 | Ladegleisschalter, Hallenschalter von Werkstattanlagen |
| 8, 18, 28, usw. oder 7, 17, 27, usw. 9, 19, 29, usw. | Gruppenschalter zum Anschluss der Schaltgruppen an die Umgehungsleitungen bzw. an die Schaltgruppen der durchgehenden Hauptgleise sowie Schalter zur Verbindung der Schaltgruppen untereinander |
| 10, 20, 30, 40, usw. | Schalter zur Verbindung der Schaltgruppen zweier Hauptgleise verschiedener Strecken |
| 105, 115, 125, usw. | Schalter zur Verbindung der Schaltgruppen zweier Nebengleise mit ungerader und gerader Schaltgruppe |
| 107, 117, usw. 108, 118, usw. | Gruppenschalter, wenn o. g. Nummernbereiche nicht ausreichen |
| 201, 202, 203, 204, usw. | Schalter von Betriebsstellen der freien Strecke |
| 301, 302, 303, 304, usw. | Sonderfälle: z. B. Privatanschlussgleise, Zweitanschlüsse von Bahnhöfen und sonstigen Bahnanlagen, weitere Längsunterteilungen, Systemumschaltung |
| 401, 411, 402, 412, 403, 413, 404, 414, 406, 416, 407, 417, 408, 418, 409, 419, usw. | Längsschalter in Bahnhöfen |
| 901, 902, 903, 904 | Schutzstreckenschalter |
| A1, A2, usw. | Schalter zum Anschluss der Fahrleitung an die Speiseleitung (nur im Bereich der ehem. DR) |
| E1, E2, usw. | Erdungsschalter für Oberleitungsspannungsprüfeinrichtung (OLSP), Zollsaltungen und sonstige Sonderfälle |
| F1, F2, usw. | Schalter zum Anschluss von Schaltgruppen an Umgehungsleitungen |
| G1, G2, usw. | Schalter zum Anschluss von Oberleitungen der freien Strecke an Umgehungsleitungen |
| H1, H2, usw. | Anschlusschalter von Autotransformatoren an die Oberleitung |
| N1, N2, usw. | Schalter zum Anschluss von Nebenverbrauchern an die Fahrleitung |
| Q1, Q2, usw. | Anschlussleitungen von Verbrauchsanlagen Dritter |
| R1, R2, usw. | Speiseschalter von Ersatzspeiseabzweigen mit aussenliegender Ersatzschiene |
| S1, S2, usw. | Speiseschalter von Bahnhofsspeiseabzweigen |
| T1, T2, usw. | Schalter zur Unterteilung der Bahnenergieleitung in Abschnitte |
| U1, U2, usw. | Speiseschalter von Streckenspeiseabzweigen |

über Schalter abtrennbar sein. Über nachgeordnete Schutz- und Überwachungseinrichtungen muss sichergestellt werden, dass das Ergebnis der Oberleitungsprüfung nicht verfälscht wird und Störungen an Nebenverbrauchern möglichst keine Auswirkungen auf das Oberleitungsnetz haben.

Um die Fahrleitungsschaltung zu vereinheitlichen und die notwendige Übersicht in der Schaltung der Fahrleitungsanlage auch bei großen Bahnhöfen zu gewährleisten, erfolgt die Ausführ-

ung der Schaltung der Fahrleitungsanlage nach einheitlichen Grundsätzen. Für die DB AG sind diese in der Richtlinie Oberleitungsanlagen DB Netz AG 997.0302 [7] dargestellt. Aus der Bezeichnung der Fahrleitungsschalter (Mast-Trennschalter), die am Schalterantrieb angebracht ist, kann man auf dessen Funktion schließen. Die Tab. 14.17 enthält auszugsweise die wichtigsten Schalterbezeichnungen der Fahrleitungsschalter der DB AG.

14.4.3 Stromschienenoberleitung

Die Stromschienenoberleitung wird als Deckenstromschiene (DSS) ausgeführt. Sie besteht aus einem Aluminiumprofil aus AlMg0,5Si mit eingesehtem Cu-Fahrdraht. Das Aluminiumprofil wird in Segmenten mit Standardlängen von 10 m oder 12 m geliefert und durch eine spezielle Verbindungsplatte zusammengefügt. Die Verbindungsplatte garantiert einen präzisen Übergang zwischen den Stromschienensegmenten. Der Fahrdraht wird durch eine besondere Vorrichtung in das Aluminiumprofil eingepresst und steht nicht unter Zugspannung. Deshalb gilt der im Abschn. 14.6.2 Abb. 14.43. genannte Oberleitungsbereich nicht für DSS. Hier wird im Allgemeinen der Oberleitungsbereich = 0 m anerkannt. Dadurch ergibt sich als wesentlicher Vorteil einer DSS gegenüber einer Oberleitung, dass alle nicht zum Betriebsstromkreis gehörenden, leitfähigen Teile nicht in die Bahnerdung einbezogen werden müssen.

In Abhängigkeit von der maximalen Fahrgeschwindigkeit ergeben sich Regelstützpunktabstände von 8, 10 oder 12 m. Dabei können die Stützpunkte in horizontaler oder vertikaler Ausführung angeordnet werden. Die Stromschiene besitzt eine Querschnittsfläche von 2223 mm² und eine Masse von 6,1 kg/m.

Die Dauerstrombelastbarkeit beträgt 2400 A und die Kurzschlussfestigkeit 45 kA.

- ▶ Anmerkung: Die im Text genannten Daten beziehen sich auf die DSS der Balfour Beatty Rail GmbH.

14.4.4 Stromschienen

14.4.4.1 Einführung

Für Nahverkehrsbahnen, die außerhalb des öffentlichen Verkehrsraumes verlaufen, werden zur Energieübertragung zu den elektrischen Triebfahrzeugen Stromschienen, auch als 3. Schiene bezeichnet, verwendet.

Die Stromschiene verläuft bis auf wenige Ausnahmen außerhalb des Gleises und oberhalb der Schienenoberkante (SO) parallel zu den Fahrschienen. Die Höhe der Stromschiene, bezogen auf die SO, und der Abstand von der Gleismitte sind bei den einzelnen Bahnen unterschiedlich.

Je nach Schleiffläche des Stromabnehmers unterscheidet man zwischen:

- oben bestrichene Stromschiene
Beispiel: Kleinprofil U-Bahn Berlin,
- seitlich bestrichene Stromschiene
Beispiel: S-Bahn Hamburg,
- unten bestrichene Stromschiene
Beispiel: S-Bahn Berlin,
Großprofil U-Bahn Berlin,
U-Bahn Hamburg, Nürnberg,
München.

Die von unten bestrichene Stromschiene hat den Vorteil, dass sich auf der Schleiffläche keine Ablagerungen bilden können und sie bietet eine gute Voraussetzung für einen wirksamen Berührungsschutz. Diese Vorteile führten zur weiten Verbreitung dieses Systems.

Deshalb beziehen sich alle weiteren Angaben auf eine von unten bestrichene Stromschiene.

14.4.4.2 Allgemeine Grundlagen

Stromschienensysteme werden mit Gleichstrom und einer Nennspannung von 0,75 kV betrieben (Ausnahme: S-Bahn Hamburg mit 1,2 kV).

Die maximale Fahrgeschwindigkeit beträgt i. d. R. 100 km/h.

- Sie werden für einen Temperaturbereich von
- -20 °C bis +60 °C (80 K) offene Strecken,
 - -15 °C bis +40 °C (55 K) Tunnel
- ausgelegt.

Diese Angaben berücksichtigen die Leitererwärmung durch Umgebungsbedingungen und Stromwärme.

14.4.4.3 Stromschiene

Es werden Stromschienen aus Stahl (St) oder Aluminium mit Stahlschleiffläche (Al-Verbundstromschiene) verwendet.

Das verwendete Profil geht aus Abb. 14.31a für die St-Stromschiene bzw. aus Abb. 14.31b für die Al-Verbundstromschiene hervor.

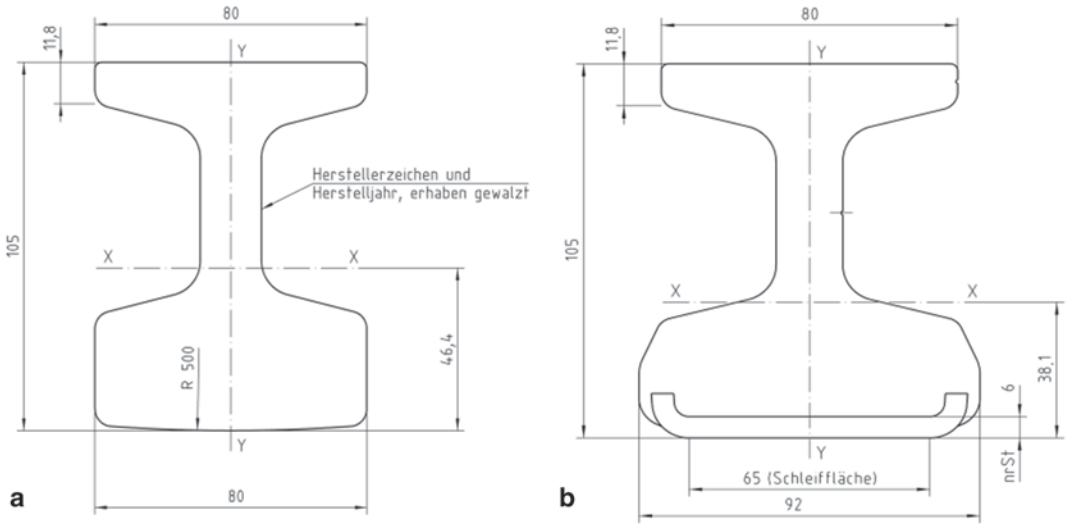


Abb. 14.31 a Stahl-Stromschiene. b Al-Verbundstromschiene

Tab. 14.18 Mechanische und elektrische Eigenschaften von Stahlstromschiene

| Profildaten, Werkstoffeigenschaften | | | Elektrische Eigenschaften | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-----------------------|--------|--|---|----------|--|------|------|------|------|------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| Querschnittsfläche, | | | Leitfähigkeit bei 15°C | [m/ Ωmm ²] | ≥ 8,5 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| gesamt | [mm ²] | 5100 | spezif. Widerstand bei 15°C | [Ωmm ² / m] | ≤ 0,1176 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| längenbezogene | [kg/m] | ca. 40 | Widerstandskoeffizient | [K ⁻¹] | 0,0045 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Masse | | | Widerstand bei 20°C | [mΩ/km] | 23,07 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Trägheitsmoment J _x | [cm ⁴] | 597 | Dauerstrombelastbarkeit bei Umgebungstemperatur 40°C + | <table border="1"> <tr> <td>[A]</td> <td>1519</td> <td>1719</td> <td>1912</td> <td>2030</td> </tr> <tr> <td>[m/s]</td> <td>0,3</td> <td>0,6</td> <td>1,0</td> <td>1,3</td> </tr> <tr> <td>[s]</td> <td>6120</td> <td>4780</td> <td>3863</td> <td>3428</td> </tr> </table> | | | [A] | 1519 | 1719 | 1912 | 2030 | [m/s] | 0,3 | 0,6 | 1,0 | 1,3 | [s] | 6120 | 4780 | 3863 | 3428 |
| [A] | 1519 | 1719 | | | | | 1912 | 2030 | | | | | | | | | | | | | |
| [m/s] | 0,3 | 0,6 | 1,0 | | | | 1,3 | | | | | | | | | | | | | | |
| [s] | 6120 | 4780 | 3863 | | | | 3428 | | | | | | | | | | | | | | |
| Trägheitsmoment J _y | [cm ⁴] | 211 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| elast. Durchbiegung um x-Achse, Stützweite 6 m, (Durchlaufträger) | [mm] | < 3 | Leitererwärmung von 20 K | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Widerstandsmoment W _x | [cm ³] | 102 | Windgeschwindigkeit | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Widerstandsmoment W _y | [cm ³] | 53 | Erwärmungszeitkonstante | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Widerstandsmoment W _y | [10 ⁻⁶ /K] | 11,5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Längenausdehnungskoeffizient | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tab. 14.19 Mechanische und elektrische Eigenschaften von Al-Verbundstromschienen

| Profildaten, Werkstoffeigenschaften | | | Elektrische Eigenschaften | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-----------------------|-----------|--|---|--------|--|--|------|------|------|------|------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| Querschnittsfläche, gesamt | [mm ²] | 5452 | Leitfähigkeit bei 20°C | [m/ Ωmm ²] | 30,3 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Querschnittsfläche (Al) | [mm ²] | 4912 | spezif. Widerstand bei 20°C | [Ωmm ² / m] | 0,033 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| längenbezogene Masse | [kg/m] | 17,201 | Widerstandskoeffizient | [K ⁻¹] | 0,0038 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Trägheitsmoment Jx*) | [cm ⁴] | 804 | Widerstand bei 20°C | [mΩ/km] | 6,72 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Trägheitsmoment Jy*) | [cm ⁴] | 320 | Dauerstrombelastbarkeit bei Umgebungstemperatur 40°C + | <table border="1"> <tr> <td>[A]</td> <td>2828</td> <td>3201</td> <td>3561</td> <td>3781</td> </tr> <tr> <td>[m/s]</td> <td>0,3</td> <td>0,6</td> <td>1,0</td> <td>1,3</td> </tr> <tr> <td>[s]</td> <td>3950</td> <td>3083</td> <td>2491</td> <td>2211</td> </tr> </table> | | | | [A] | 2828 | 3201 | 3561 | 3781 | [m/s] | 0,3 | 0,6 | 1,0 | 1,3 | [s] | 3950 | 3083 | 2491 | 2211 |
| [A] | 2828 | 3201 | 3561 | | | | | 3781 | | | | | | | | | | | | | | |
| [m/s] | 0,3 | 0,6 | 1,0 | | | | | 1,3 | | | | | | | | | | | | | | |
| [s] | 3950 | 3083 | 2491 | 2211 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| elast. Durchbiegung um x-Achse, Stützweite 6 m, (Durchlaufträger) | [mm] | < 3 | Leitererwärmung von 20 K | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Brinellhärte (Al) | [HB] | 85 | Windgeschwindigkeit | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Brinellhärte (St) | [HB] | 130...170 | Erwärmungszeitkonstante | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Längenausdehnungskoeffizient | [10 ⁻⁶ /K] | 20,4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

*) Stahlquerschnitt ist auf äquivalenten Aluminiumquerschnitt umgerechnet

Die Verbindung der Stahlschleiffläche mit dem Aluminium wird von verschiedenen Herstellern unterschiedlich gelöst, weshalb Abb. 14.31b nur als Beispiel anzusehen ist.

Die mechanischen und elektrischen Eigenschaften sind in Tab. 14.18 und 14.19 zusammengefasst.

Die Stromschienenstücke werden i. d. R. in einer Länge von 18 m geliefert. Unter Berücksichtigung verschiedener Bedingungen wie Streckenführung, Bogenhalbmesser und thermischer Längendehnung wird die jeweils größtmögliche Stromschienenlänge (möglichst ein Vielfaches von 18 m) angewendet.

Für den unter 14.4.4.2 genannten Temperaturbereich ergibt sich eine maximale Stranglänge von

- 108 m (offene Strecke),
- 162 m (Tunnel).

Die Verbindung der einzelnen Stromschienenstücke untereinander erfolgt durch Laschenstöße (Abb. 14.32).

Nach Erreichen der maximalen Stranglänge ist die Anordnung einer Dilatation (Dehnungsstoß) erforderlich. Sie hat die Aufgabe, thermische Längendehnung zu kompensieren. Die hierzu erforderlichen Lücken zwischen den Stromschienen sind in der Länge angepasst an den Stromabnehmer-Schleifschuh. Die mechanische Kopplung der Stromschienen erfolgt mit präzise eingestellten Führungslaschen. Die elektrische Kopplung übernimmt ein Schiebekontakt oberhalb der Stromschienen.

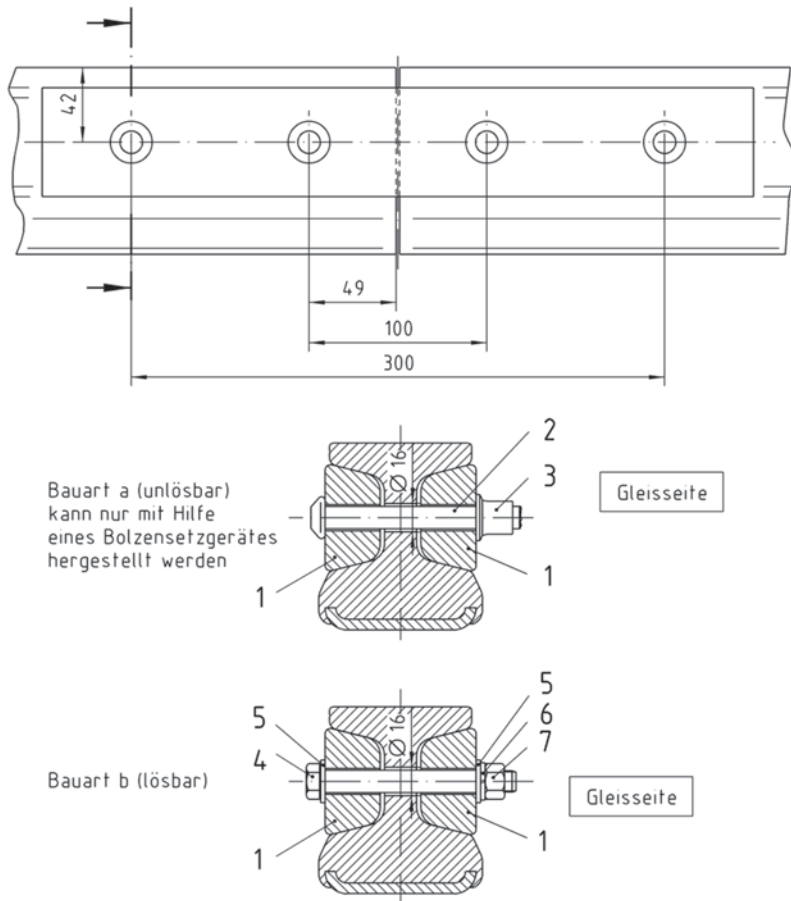


Abb. 14.32 Laschenstoß

Das Ausführungsbeispiel einer Dilatation für Al-Verbundstromschiene mit 2 hintereinander angeordneten Lücken zeigt Abb. 14.33.

An jedem freien Ende einer Stromschiene ist ein Stromschieneauffläufer erforderlich.

Stromschieneauffläufer sind mit steigender Neigung versehene Stromschiene, die ein sicheres Auf- bzw. Ableiten des Stromabnehmers in vertikaler Richtung ermöglichen. Das freie Ende der Neigungsfläche muss immer höher als die Höchstlage des Stromabnehmer-Schleifschuhs sein.

In Abhängigkeit der maximalen Fahrgeschwindigkeit werden Stromschieneauffläufer mit unterschiedlicher Neigung versehen:

- $v_{\max} \leq 40 \text{ km/h}$ Neigung 1:30,
- $v_{\max} \leq 100 \text{ km/h}$ Neigung 1:50.

Ein Ausführungsbeispiel ist Abb. 14.34 zu entnehmen.

14.4.4.4 Stromschienestützpunkte

Stromschienestützpunkte haben die Aufgabe, horizontale und vertikale Kräfte von der Stromschiene auf die Schwellen bzw. Bauwerke zu übertragen. Sie halten die Stromschiene in einem definierten Abstand zum Gleis. Die Seiten- und Höhenlagen der Stromschiene verschiedener Bahnen sind in Abb. 14.35 zusammen gefasst.

Stromschienestützpunkte können aus Metall oder Kunststoff bestehen.

Bei Stromschienestützpunkten aus Metall befindet sich zwischen Träger und Stromschiene die Isolation (Abb. 14.36).

Bei Stromschienestützpunkten aus Kunststoff bestehen diese, bis auf diverse Kleinteile, aus hochwertigem Isolierstoff (Abb. 14.37).

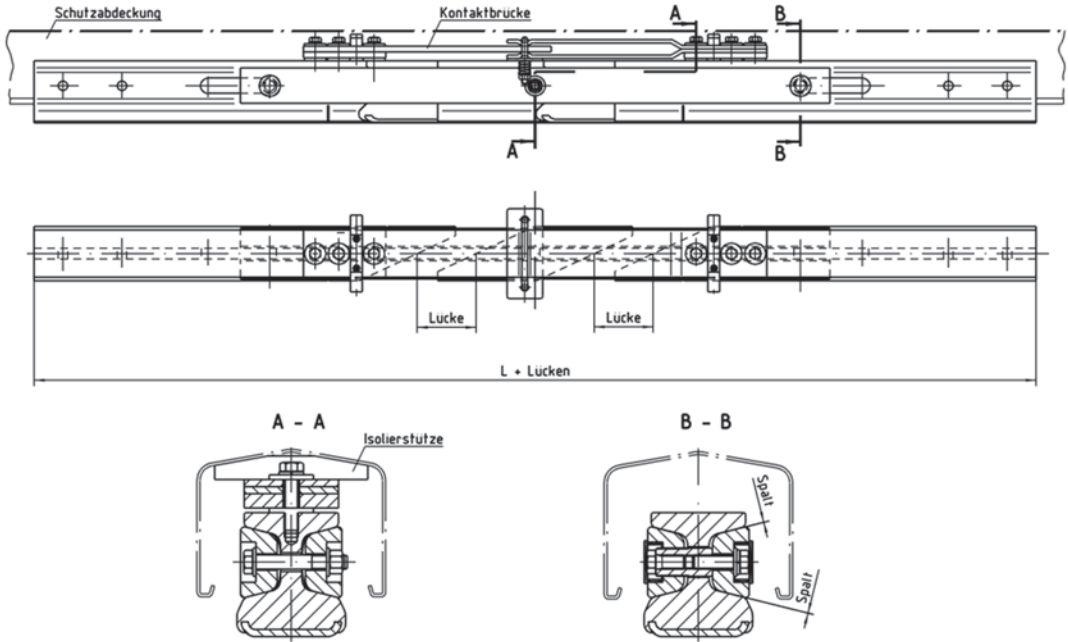


Abb. 14.33 Dilatation

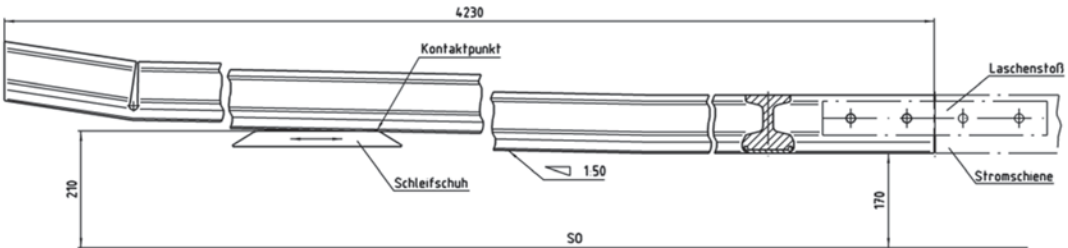


Abb. 14.34 Stromschienenaufbau 1:50

Die Befestigung der Stromschienenstützpunkte auf dem Untergrund geschieht durch Fußplatten mit 1 bis 4 Löchern. Anwendungsbeispiele sind in Abb. 14.38 enthalten.

14.4.4.5 Stromschienenabdeckung

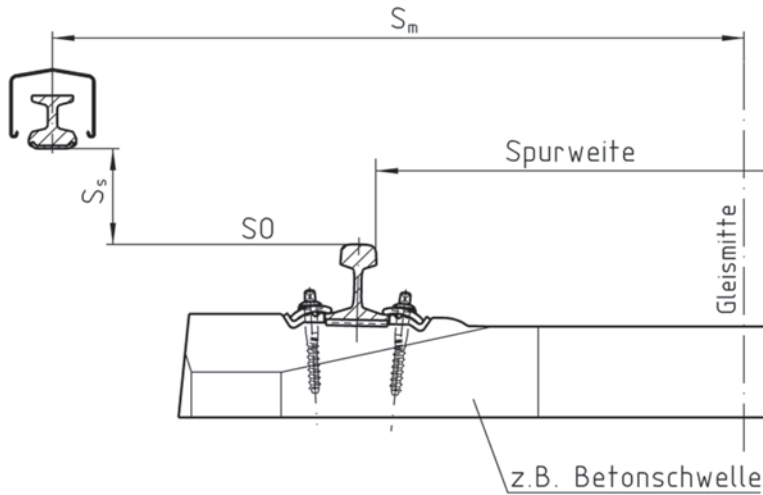
Von unten bestrichene Stromschienen sind zum Schutz vor direkter Berührung mit einer isolierenden Schutzabdeckung zu versehen. Die Abdeckung erfolgt oberhalb und beiderseits der Stromschiene. Durch die Bauweise dieser Abdeckung hat sie keinen direkten Kontakt mit der

Stromschiene. Auf Distanz gehalten wird die Abdeckung durch Abstandshalter aus Isolierstoff (Abb. 14.39).

Stromschienenabdeckungen werden vorzugsweise aus Hartthermoplast oder faserverstärktem Duroplast hergestellt.

Die thermische Belastbarkeit der Schutzabdeckung kann mit:

- -40 °C bis +60 °C für Hartthermoplast,
 - -40 °C bis +100 °C für faserverstärktem Duroplast
- angenommen werden.



| Anlage | S_s | S_m | Spurweite |
|--------------------|------------------|------------------|------------------|
| U-Bahn Berlin | 170^{+2}_{-3} | 1270^{+3}_0 | 1435 |
| S-Bahn Berlin | 135^{+5}_0 | 1570 ± 5 | 1435 |
| U-Bahn München | 192^{+3}_{-7} | 1345^{+10}_0 | 1433 ± 2 |
| U-Bahn Nürnberg | 190 ± 5 | 1345^{+10}_0 | 1432^{+2}_{-1} |
| Hamburger Hochbahn | 200^{+0}_{-10} | 1200 ± 10 | $1432^{+1,5}_0$ |
| Metro Helsinki | 235 ± 4 | 1470 ± 5 | $1521,5 \pm 1$ |
| Metro Kuala Lumpur | 170^{+0}_{-5} | $1417,5^{+10}_0$ | 1435 |
| Metro Singapore | 170 ± 5 | $1317,5 \pm 5$ | 1435 |
| Metro Barcelona | 175 ± 2 | $1472,5 \pm 2$ | 1435 |

Abb. 14.35 Stromschiene – Seiten- und Höhenlage

Bei Verwendung von Stromschienenabdeckungen in Tunneln bestehen besondere Brand- und Schutzanforderungen.

14.5 Stromabnehmer

14.5.1 Allgemeines

Der Stromabnehmer fungiert als Gegenkontakt zur Fahrleitung. Dadurch wird es möglich, die

Traktionsenergie von der Fahrleitung zum Triebfahrzeug zu übertragen. Obwohl er sich auf dem beweglichen Fahrzeug befindet, hat er einen wesentlichen Einfluss auf die Fahrleitung hinsichtlich Geometrie und mechanische Eigenschaften. Durch die komplexen Wechselwirkungen mit der Oberleitung darf die Fahrleitungsinfrastruktur einer Eisenbahnstrecke nicht losgelöst vom Stromabnehmer betrachtet werden.

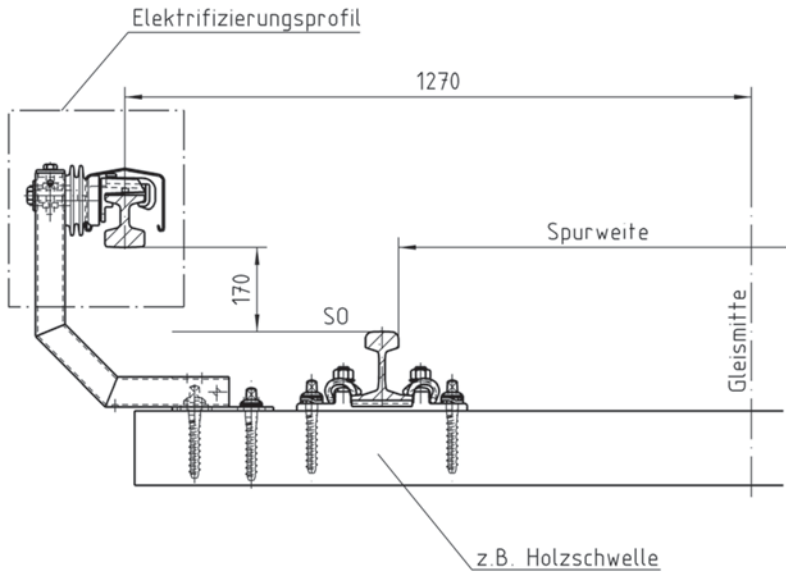


Abb. 14.36 Stromschienenstützpunkt aus Metall (Beispiel: U-Bahn Berlin – Großprofil)

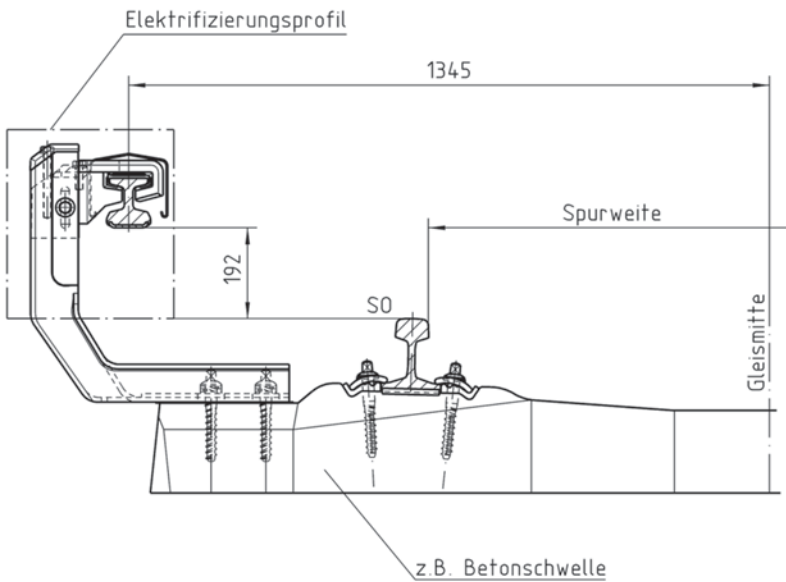


Abb. 14.37 Stromschienenstützpunkt aus Kunststoff (Beispiel: U-Bahn München, Nürnberg)

14.5.2 Stromabnehmer für Oberleitungen

Der prinzipielle Aufbau eines Stromabnehmers geht aus Abb. 14.40 hervor.

Im Zuge der historischen Entwicklung der Elektrifizierung und des jeweiligen technischen

Entwicklungsstandes kamen in den Oberleitungsnetzen der Bahninfrastrukturbetreiber verschiedene Wippenlängen und -profile zum Einsatz.

Die Länge der Wippe bzw. der horizontale Arbeitsbereich hat im Zusammenwirken mit der Oberleitung Einfluss auf die zulässige seitliche

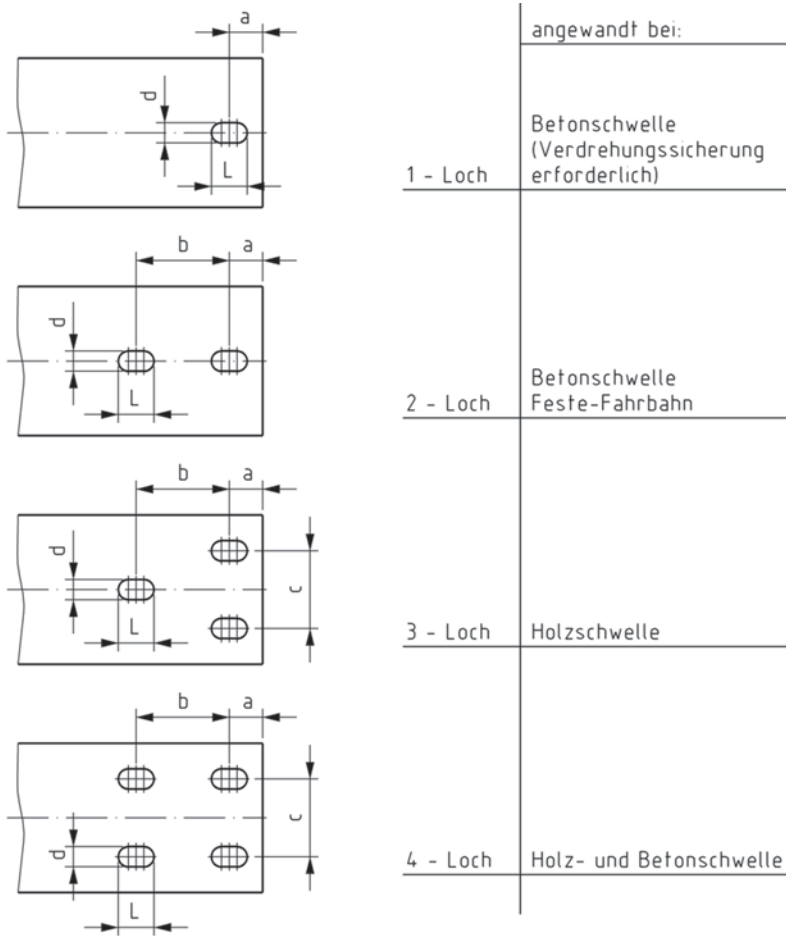


Abb. 14.38 Stromschienenstützpunkt, Lochbild der Fußplatte

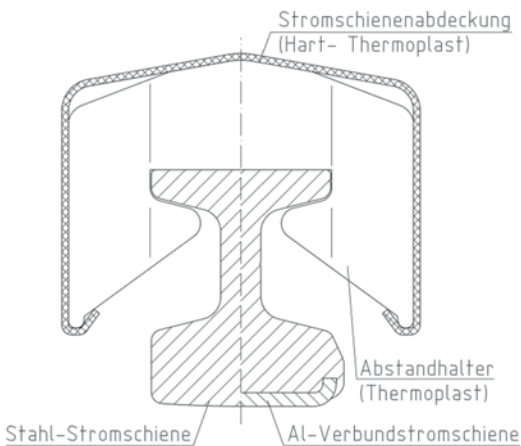


Abb. 14.39 Stromschienenabdeckung

Auslenkung des Fahrdrachts unter Windeinwirkung. Dieser Eckwert der Oberleitung bestimmt die maximale Längsspannweite bzw. die Mastabstände in der Geraden und im Bogen sowie auf Fahrdrachtseitenlage am Stützpunkt (Zick-Zack). Je länger die Wippe bzw. deren horizontaler Arbeitsbereich ist, umso größer sind die zulässige seitliche Auslenkung des Fahrdrachtes unter Windeinwirkung und die maximal mögliche Längsspannweite. Über die Anzahl der notwendigen Maste werden die Kosten der Oberleitung bei Bau und Instandhaltung beeinflusst. Andererseits beeinflusst die Länge der Wippe das dynamische Begrenzungsprofil des Stromabnehmers, welches durch die maximale Hüllkurve des Stromabnehmers, unter allen Betriebsbedingun-

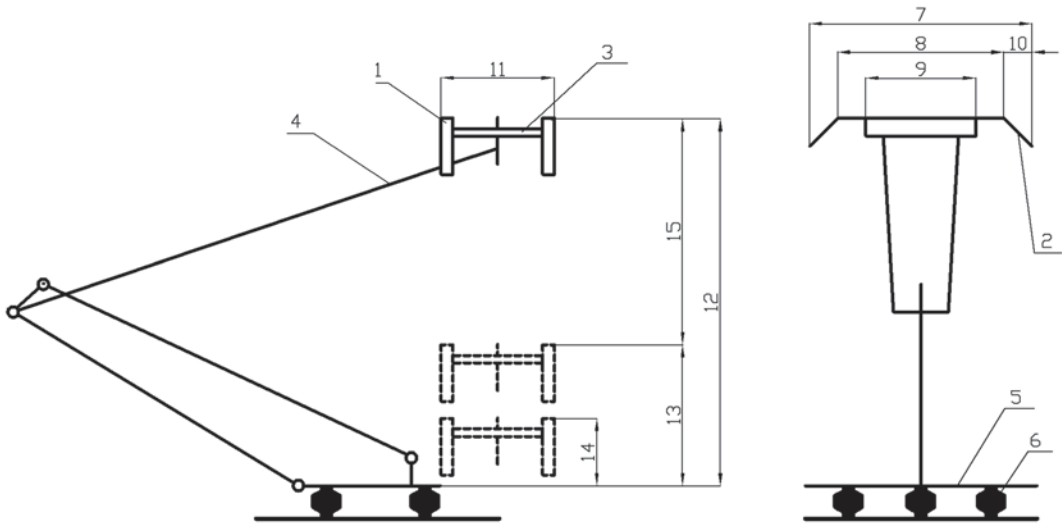


Abb. 14.40 Grundaufbau eines Stromabnehmers (Halbschere). 1. Schleifleiste. 2. Horn. 3. Wippe. 4. Gestell. 5. Grundrahmen. 6. Isolator. 7. Länge der Wippe. 8. Horizontaler Arbeitsbereich. 9. Länge der Schleifleisten. 10.

Notlauf. 11. Breite der Wippe. 12. Maximale Betriebshöhe. 13. Minimale Betriebshöhe. 14. Höhe der Senklage. 15. Vertikaler Arbeitsbereich

gen, beschrieben wird. Das dynamische Begrenzungsprofil des Stromabnehmers und die elektrischen Schutzabstände für die Oberleitung in Luft (Tab. 14.16) ergeben den notwendigen Durchgangsraum für den Stromabnehmer, der durch die Oberleitung und sonstigen Infrastrukturen freigehalten werden muss. Je größer die Länge der Wippe ist, umso größer ist der notwendige Raum für den Durchgang des Stromabnehmers. Der notwendige Durchgangsraum für den Stromabnehmer beeinflusst u. a. das Querschnittsprofil von Tunneln und damit deren Baukosten.

In Abb. 14.41 sind die gebräuchlichsten Wippenprofile mit Beispielen für die Anwendung dargestellt.

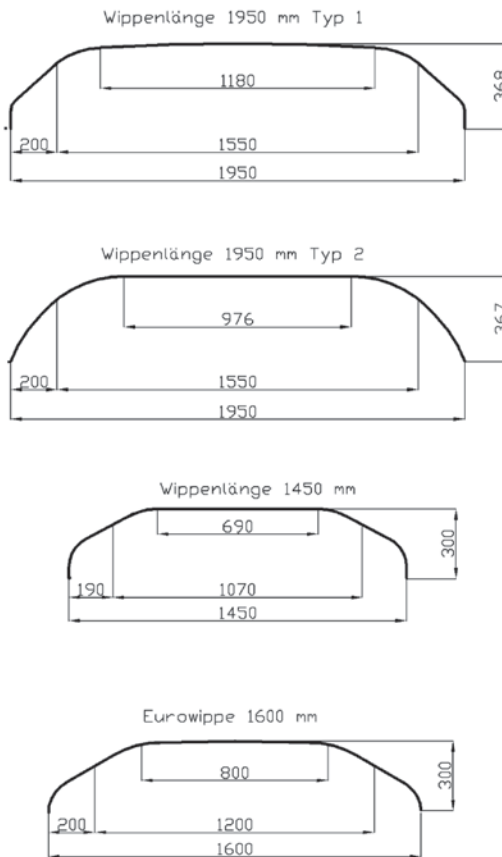
14.5.3 Seitenstromabnehmer bei Grubenbahnen

Das Beladen von Schüttgutwaggons von oben ist bei einer über dem Gleis angeordneten Oberleitung nicht möglich. Daher ist bei Grubenbahnen im Ladebereich von Tagebaugroßgeräten die Oberleitung seitlich angeordnet. Im Vergleich zu Stromabnehmern für über dem Gleis angeordnete

Oberleitungen haben Seitenstromabnehmer eine deutlich geringere Baugröße. Die Hubrichtung zeigt schräg nach oben. Seitenstromabnehmer sind nur für die Stromabnahme bei niedrigen Fahrgeschwindigkeiten ausgelegt.

14.5.4 Stromabnehmer für Stromschienen

Mit dieser Bauart von Stromabnehmern ist es möglich, Traktionsenergie von seitlich neben dem Gleis angeordneten Stromschienen zu den elektrischen Anlagen des Fahrzeugs zu übertragen. Es wird zwischen Stromabnehmern unterschieden, die die Stromschienen von oben, von der Seite oder von unten bestreichen. Die Stromabnehmer sind üblicherweise seitlich an den Drehgestellwangen und auf beiden Fahrzeugseiten angebracht. Damit Lücken in der Stromschienenanlage, z. B. an Bahnübergängen, nicht zur Unterbrechung der Stromversorgung führen, sind die Stromabnehmer an den vorderen und hinteren Drehgestellen der Fahrzeuge bzw. Triebzüge angebracht und über Kabel parallel geschaltet. Hauptbauteile sind Schleifschuh,



Anwendungsbeispiele

D; A; PL; CZ; SK;

F (nur DC 1,5 kV); H;

L (nur DC 3 kV); B;

NL; DK

F (nur AC 25 kV)

L (nur AC 25 kV)

CH; I (nur DC 3 kV)

TSI

Abb. 14.41 Wippenprofile

Schleifschuhhalter, Schwinge mit Druckfeder und Druckluftzylinder und Rahmen. Eine Prinzipskizze eines Stromabnehmers für Stromschiene zeigt Abb. 14.42. Im Bereich von Brücken und sonstigen Profileinschränkungen drückt eine Brückenleitschiene den Schleifschuh in Richtung Gleismitte. Die Brückenleitschiene wird seitlich bestrichen. Daraus ergibt sich eine zweite Arbeitslage des Stromabnehmers.

14.6 Rückstromführung, Bahnerdung und Potenzialausgleich

Die Rückstromführung, die Bahnerdung und der Potenzialausgleich bei Wechselstrom- und Gleichstrombahnen unterscheiden sich grundlegend.

Der wesentliche Unterschied besteht im Auftreten der Streustromkorrosion bei im Erdreich verlegten Leitungen bei Gleichstrombahnen und in induktiven Kopplungsvorgängen bei Wechselstrombahnen.

Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich nur auf Wechselstrombahnen (siehe auch 14.3.2.6)!

An die Anlagenteile der Rückstromführung, Bahnerdung und den Potenzialausgleich werden hohe Forderungen hinsichtlich

- Sicherheit,
- Zuverlässigkeit,
- geringer Verlustleistung,
- elektromagnetischer Verträglichkeit (EMV) und
- Wirtschaftlichkeit gestellt.

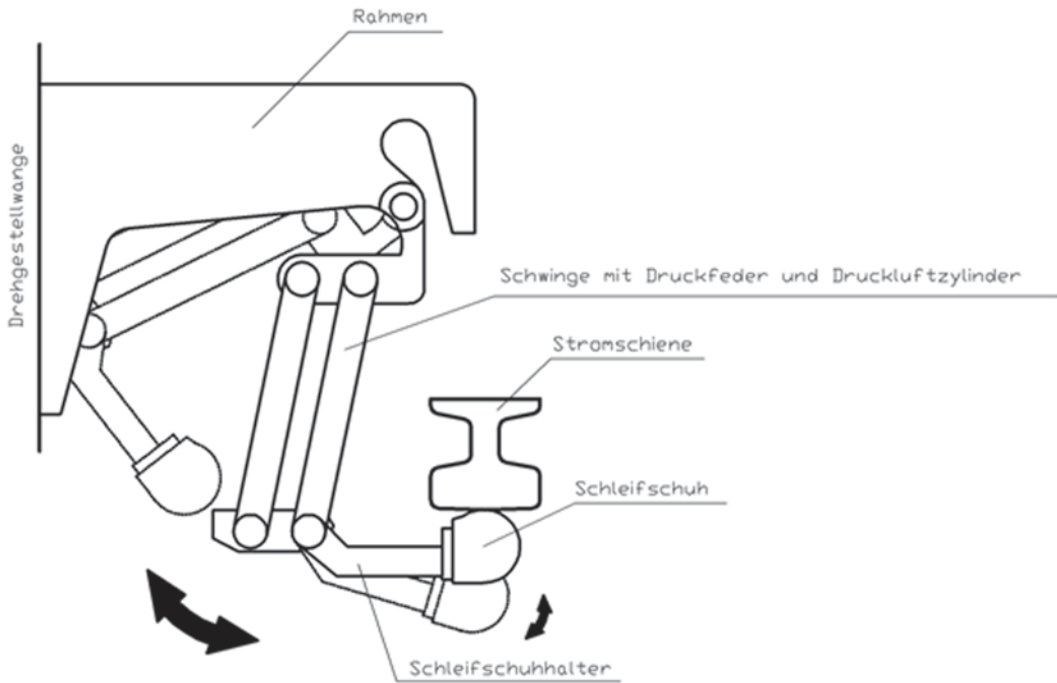


Abb. 14.42 Stromabnehmer für Stromschiene (von unten bestrichen)

14.6.1 Rückstromführung

Die Rückleitungsanlage muss eine elektrisch gut leitende Verbindung zwischen

- den elektrischen Triebfahrzeugen und
- den aus der Oberleitungsanlage gespeisten sonstigen Verbrauchern

und dem Unterwerk herstellen. Diese Verbindung darf an keiner Stelle unterbrochen werden, da sonst als Folge lebensgefährliche Differenzspannungen auftreten können und andere Anlagenteile gefährdet werden.

Zur Rückstromführung müssen während des Betriebes mindestens zwei Fahrschienen bzw. Ersatzleitungen zur Verfügung stehen.

Bei eingleisigen Strecken sind deshalb einschienig isolierte Abschnitte durch zusätzliche Rückleitung (NYY-0, 50 oder 70 mm² oder äquivalente Leitungen (siehe 14.6.2)) zu überbrücken.

14.6.1.1 Verbinder

Hauptelement der Rückleitung sind die Schienen bzw. Gleise. Zur Erhöhung ihres Leitwertes und

der Zuverlässigkeit sind die Schienen elektrifizierter Strecken in Längs- und Querrichtung, soweit es die verwendete Technik der Sicherungsanlagen zulässt, gut leitend zu verbinden.

Schienenstöße müssen in Fahrschienen in Längsrichtung überbrückt werden. Als elektrisch leitende Verbindungen für den Rückstrom sind Laschenverbindungen ausreichend. In Abschnitten mit Gleisstromkreisen sind Laschenverbindungen zusätzlich durch Längsverbinder zu überbrücken. Schienenquerverbinder verbinden die Schienen eines Gleises. Gleisverbinder verbinden die jeweils geeigneten Schienen verschiedener Gleise.

Liegen Gleise mehr als 30 m auseinander, gelten sie als eingleisige Strecken und Gleisverbinder entfallen.

Die Anordnung der Verbinder geht aus Tab. 14.20 hervor.

14.6.1.2 Rückleitungsseile

Die Anwendung von Rückleitungsseilen ist eine zusätzliche Maßnahme

Tab. 14.20 Anordnung von Verbindern [6]

| Gleisisolie- rung | Gleis- freimeldung | maximaler Abstand der Schienenquerverbinder | | maximaler Abstand der Gleisverbinder | |
|----------------------------|-------------------------|---|---|--|--|
| | | allgemein | S-Bahnen (AC) Hochleistungsstrecken | Allgemein | S-Bahnen (AC) Hochleistungsstrecken |
| ohne | ohne bzw. Achszähler | 150 m | 75 m | 300 m | 150 m ²⁾ |
| einschienig | 42 Hz/100 Hz | keine | keine | 300 m | 150 m ²⁾ |
| zweischienig | 42 Hz/100 Hz | 1000 m ¹⁾ bei Neubau (über Gleis- oder Erdungs- drossel) | 1000 m ¹⁾ bei Neubau (über Gleis- oder Erdungsdrossel) | 1000 m ¹⁾ bei Neubau (über Gleis- oder Erdungsdrossel) | 1000 m ¹⁾ bei Neubau (über Gleis - oder Erdungs- drossel) |
| Tonfrequenzgleisstromkreis | | 1000 m | 1000 m | 300 m ²⁾ | 150 m ²⁾ |

¹⁾ bei bestehenden Anlagen und Einhaltung der zulässigen Schienenpotenziale: max. 2300 m bzw. 1800 m bei felsigem Untergrund

²⁾ bei Fester Fahrbahn: 300 m

- zur Verbesserung der Rückleitungsverhältnisse,
- zur Verminderung der Intensität der induktiven Beeinflussung durch Oberleitungsströme und
- zur Verringerung der magnetischen Feldstärke.

Die Rückleitungsseile sind als separate Leitungen an den Masten der Oberleitung so mitzuführen, dass eine optimale induktive Kopplung zum Kettenwerk (und zur Verstärkungsleitung) vorhanden ist. Im Regelfall (zweigleisige Strecke) ist je Kettenwerk ein Rückleitungsseil zu verwenden. Auf Talbrücken kann es aufgrund des Einsatzes eines Brückenbesichtigungsgerätes notwendig werden, auf die Verlegung von Rückleitungsseilen im Bereich der Brücken zu verzichten. Dies setzt die Erfüllung einiger Sonderbedingungen voraus.

Im Regelfall wird als Rückleitungsseil ein Leiterseil DIN 48201-240-E-Al (siehe Tab. 14.5) verwendet.

Rückleitungsseile an Oberleitungsmasten ohne Verstärkungsleitung sind mit einer Höchstzugspannung von 35 N/mm² zu verlegen. Hierbei ist ein Temperaturbereich von -30 °C bis +60 °C zu berücksichtigen.

Bei Rückleitungsseilen an Oberleitungsmasten mit Verstärkungs- und/ oder Speiseleitungen sind am Mast mindestens folgende Abstände zwischen den Rückleitungsseilen und den akti-

ven Teilen von Verstärkungs bzw. Speiseleitungen einzuhalten:

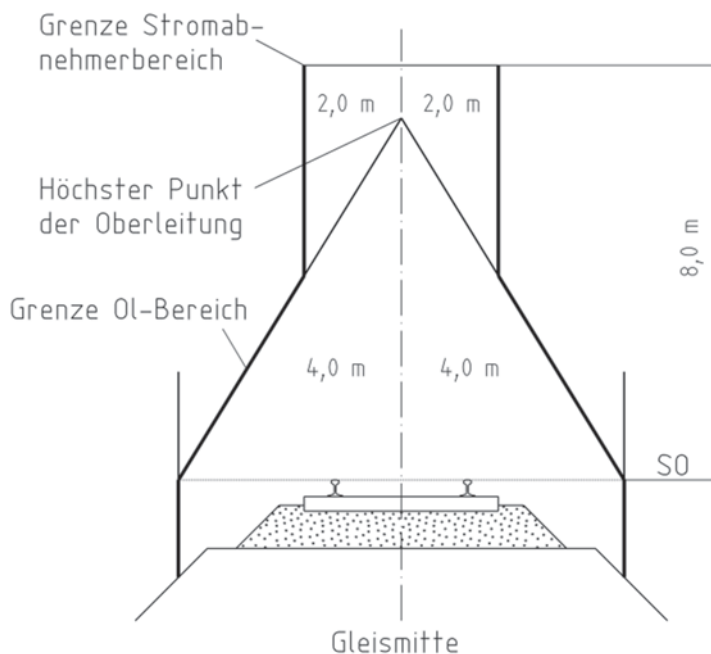
- 500 mm vertikale Anordnung,
- 1250 mm horizontale Anordnung.

Um zwischen Rückleitungsseil und Verstärkungs- und/oder Speiseleitungen im gesamten Temperaturbereich und bei ungünstigen Lastannahmen eine unzulässige Annäherung der Seile zu vermeiden, sind folgende Werte bei der Verlegung zu beachten:

- Regelfall: Für Verstärkungs- und/ oder Speiseleitungen mit Seil DIN 48201-240-E-Al und mit einem Leitertemperaturbereich von $-30\text{ °C} \leq t_0 \leq 80\text{ °C}$ gilt eine Höchstzugspannung von 35 N/mm², für Rückleitungsseile mit Seil DIN 48201- 240-E-Al und mit einem Leitertemperaturbereich von $-30\text{ °C} \leq t_0 \leq 60\text{ °C}$ gilt eine Höchstzugspannung von 20 N/mm².
- Ausnahme: Für Verstärkungs- und/ oder Speiseleitungen mit Seil DIN 48204-24040-Al/St und mit einem Leitertemperaturbereich von $-30\text{ °C} \leq t_0 \leq 80\text{ °C}$ gilt eine Höchstzugspannung von 60 N/mm², für Rückleitungsseile mit Seil DIN 48201- 240-E-Al und mit einem Leitertemperaturbereich von $-30\text{ °C} \leq t_0 \leq 80\text{ °C}$ gilt eine Höchstzugspannung von 35 N/mm².

Rückleitungsseile gelten als Bahnerde. Damit sind die tragenden Oberleitungsmaste als geerdet anzusehen. Zur Bildung von Induktionsschleifen sind die Rückleitungsseile mindestens alle 300 m mit der Erdschiene zu verbinden (NYY-0, 50

Abb. 14.43 Oberleitungs- und Stromabnehmerbereich



oder 70 mm² oder äquivalente Leitungen nach 14.6.2). Dies muss bei zweigleisigen Strecken an gegenüberliegenden Masten erfolgen. Diese Maste werden auch miteinander verbunden. Diese Verbindung gilt als Gleisverbinder (siehe auch 14.6.1.1).

Endet die Rückleitungsseilführung, so ist eine doppelte Verbindung (2 × NYY-0, 70 mm²) vom Rückleitungsseil zur Erdschiene auszuführen.

Um Verwechslungen auszuschließen sind für den Abstand der Rückleitungsseile zu Standflächen (DIN EN 50122-1), siehe auch Abb. 14.27, die Abstände für spannungsführende Teile der Oberleitung einzuhalten.

14.6.1.3 Rückleiteranschluss

Jedes Unterwerk ist mit mindestens zwei Rückleitern mit dem Schienennetz verbunden.

Dabei sind die Rückleiter so zu bemessen, dass es bei einem Ausfall eines Rückleiters nicht zur Überbeanspruchung des in Betrieb befindlichen Rückleiters kommt.

In der Regel sind je Unterwerksumspanner (einschließlich Reserveumspanner) bis zu einer Nennleistung von 15 MVA zwei Rückleiterkabel NYY-0, 150 mm², zu den am Unterwerk vorbeifüh-

renden, durchgehenden Hauptgleisen zu verlegen. Der Anschluss erfolgt an unterschiedliche Schienen.

Die Rückleitungsanschlüsse an Schienen sind als Betriebserder zu kennzeichnen und mit einer Schutzabdeckung zu versehen.

14.6.2 Bahnerdung

Zum Schutz von Personen und Betriebsmitteln im Oberleitungs- und Stromabnehmerbereich (siehe Abb. 14.43) ist die Bahnerdung anzuwenden.

Das Reißen von Speise-, Schalter-, Umgehungs- oder Verstärkungsleitungen braucht nicht berücksichtigt werden.

Bei abgehenden Kettenwerken und Festpunkten ist der Oberleitungsbereich nach dem Verlauf des unter Spannung stehenden Kettenwerkes bzw. Festpunktankers entsprechend zu erweitern.

Bei Gleisradien <1000 m ist der Oberleitungsbereich unten, bogeninnen, bis auf 5 m zu erweitern.

Im Regelfall ist die unmittelbare Bahnerdung anzuwenden. In die Bahnerdung einzubeziehen

Tab. 14.21 Erdungsleitung bei der DB AG [Auswahl]

| Material | Bezeichnung | Bemerkungen |
|------------------|--|------------------------|
| Cu-Kabel | YYY-0 1 × 50 mm ² | I _K ≤ 25 kA |
| Cu-Kabel | YYY-0 1 × 70 mm ² | |
| Al-Kabel | (N)YYY-0 1 × 110 RM 0,6/1 kV ALMG | |
| Al-/St-Kabel | (N)A(ST)YY-0 | I _K ≤ 25 kA |
| Al-/St-Kabel | 1 × 75 RM 0,6/1 kV | |
| Al-/St-Kabel | ALMGST (N)A(ST)YY-0 1 × 100 RM 0,6/1 kV | |
| Al-/St-Kabel | ALMGST (N)A(ST)YY-0 1 × 110 RM 0,6/1 kV | |
| St-Seil | ummanteltes Stahlseil | I _K ≤ 25 kA |
| St-Draht | 95 mm ² ummantelter Stahldraht Ø 10 mm | |
| Composite Cable | PBA806A06–14,5 mm | für Tunnel geeignet |
| Cu-/St-/Al-Kabel | (N)2 × 1 × 70 RF | |
| | CuStAl | |

sind alle nicht zum Betriebsstromkreis gehörenden, leitfähigen Teile der Oberleitungsanlage und alle übrigen ganz oder teilweise leitenden Teile im Oberleitungs- und Stromabnehmerbereich.

Ausgenommen sind leitfähige Teile mit einer Abmessung bis zu 2 m in waagerechter Richtung, die keine elektrotechnischen Betriebsmittel tragen oder enthalten und Teile, die nur vorübergehend gelagert werden.

Die mögliche Ausführung der Bahnerdung richtet sich entscheidend nach den Anforderungen und der Verwendung der Schienen für die Leit- und Sicherungstechnik.

Unterschieden wird nach:

- nicht isolierten Gleisen (ohne Gleisstromkreise; hierzu gehören auch Gleise mit Achszähleinrichtungen),
- einschienig isolierten Gleisen,
- zweischienig isolierten Gleisen,
- Gleisen mit Tonfrequenz-Gleisstromkreisen (eine Schiene muss als Erdschiene freigegeben sein).

Die Anschlüsse von Erdungsseilen dürfen isolierte Abschnitte der Gleisfreimeldeanlagen nicht in ihrer Funktion beeinträchtigen.

Als Material für Erdungsleitungen wurden bisher angewendet:

- bei Kurzschlussströmen am Einbauort ≤ 25 kA: Kabel NYY-0, 50 mm²,
- bei Kurzschlussströmen am Einbauort > 25 kA: Kabel NYY-0, 70 mm².

Aufgrund des zunehmenden Diebstahls von Kupfer, der neben dem Materialverlust vor allem zur Gefährdung der Anlagen und Personen führt, hat die DB AG in den letzten Jahren die Verwendung von alternativen Materialien forciert.

In Tab. 14.21 sind diese Kabel zusammengestellt. Da die alternativen Materialien gegenüber Kupfer schlechtere elektrische Eigenschaften besitzen, ist ihre Anwendung in der Länge, in Abhängigkeit des tatsächlichen Kurzschlussstromes, vor Ort begrenzt. Die Begrenzungen können aus Tab. 14.22 entnommen werden.

Eine Ausnahme gilt bei Verlegung in Beton. Dann sind anzuwenden:

- bei Kurzschlussströmen am Einbauort ≤ 25 kA: Kabel NYY-0, 70 mm²,
- bei Kurzschlussströmen am Einbauort > 25 kA: Kabel NYY-0, 95 mm².

Als Erdungsleitungen können bei ausreichenden Querschnitten (mindestens 120 mm² bei Kurzschlussströmen am Einbauort ≤ 25 kA oder mindestens 200 mm² bei Kurzschlussströmen > 25 kA) auch in Beton eingebettete blanke Stahlleiter, jedoch keine Spannstähle verwendet werden.

Als Material für Prelleiter sind Rund- oder Flachmaterialien aus Stahl, verzinkt, mit einem Mindestquerschnitt von 75 mm², zu verwenden.

Die Zusammenschaltung mehrerer Erdungsleitungen soll vorrangig an Oberleitungsmasten erfolgen. Hierzu sollen bei mehr als zwei Erdungsleitungen entweder Ankerschienen an Mastfundamenten oder die Erdungsbuchsen an Spannkonkretmasten verwendet werden. Das Verklemmen von maximal zwei Erdungsleitungen (z. B. Kabelschuhen) unter einer Erdungsschraube ist zulässig.

14.6.3 Potenzialausgleich

Der Potenzialausgleich dient dem Ausschluss unzulässig hoher abgreifbarer oder Berührungsspannungen. Durch niederohmige Verbindungen zwischen Bauteilen verschiedenen Potentials wird eine Potenzialangleichung erzwungen.

Tab. 14.22 Maximale Längen des Erdungsverbinders

| Kurzbezeichnung | Aussendurchmesser in mm | Maximale Länge des Erdungsverbinders in m | | | |
|------------------------------|-------------------------|---|--------------------------|--------------------------|-----------------------|
| | | $I_K \leq 15 \text{ kA}$ | $I_K \leq 20 \text{ kA}$ | $I_K \leq 25 \text{ kA}$ | $I_K > 25 \text{ kA}$ |
| Cu – 50 mm ² | 15–18 | o. B. | o. B. | o. B. | nicht zulässig |
| Cu – 70 mm ² | 16–19 | | | | o. B. |
| Al – 100 mm ² | 20 | 195 | 139 | 104 | 49 |
| Al/ St – 75 mm ² | 18 | 132 | 91 | 65 | nicht zulässig |
| Al/St – 100 mm ² | 20 | 217 | 156 | 118 | 59 |
| Al/St – 110 mm ² | 20 | 217 | 156 | 118 | 59 |
| St-Seil – 95 mm ² | 13,5 | 30 | 19 | 12 | nicht zulässig |
| St-Draht – Ø 10 mm | 10 | 12 | 12 | nicht zulässig | nicht zulässig |
| Composite cable | 14 | 200 | 142 | 106 | 49 |
| Cu/St/Al | | 147 | 101 | 72 | 30 |

o. B.–ohne Begrenzung

14.7 Arbeiten in der Nähe spannungsführender Ober- und Bahnenergieleitungen (16,7 Hz, 15.000 V)

14.7.1 Abstand von Personen

Der Sicherheitsabstand von Personen (bahn-technisch oder elektrotechnisch unterwiesen) zu spannungsführenden Teilen der Oberleitungsanlage beträgt **1,50 m**.

Dieser Abstand darf auch durch Werkzeuge, Gegenstände und schwingende Teile unter keinen Umständen unterschritten werden.

Kann der Sicherheitsabstand nicht eingehalten werden, sind die Anlagenteile, unter Anwendung der 5-Sicherheitsregeln, auszuschalten.

5-Sicherheitsregeln:

1. Freischalten
2. Gegen Wiedereinschalten sichern
3. Spannungsfreiheit feststellen (Prüfen)
4. Erden und Kurzschließen
5. Benachbarte, unter Spannung stehende Teile abdecken oder abschränken. Ist dies nicht möglich, ist der Sicherheitsabstand zu deren benachbarten Teilen einzuhalten.

14.7.2 Abstand von Baumaschinen und Geräten

Oberleitungen und Bahnenergieleitungen, unter denen mit Baumaschinen gearbeitet wird, sind

grundsätzlich auszuschalten und bahnzuerden. Dabei brauchen die Baumaschinen nicht bahngeerdet werden. Zur Vermeidung von mechanischen Schäden muss bei höhenverstellbaren Baumaschinen die Hubbegrenzung eingeschaltet sein. Dabei muss ein **Mindestabstand von 0,10 m** zur ausgeschalteten und bahngeerdeten Oberleitung eingehalten werden.

Je nach Bauart der Baumaschine müssen folgende Abstandzuschläge für unkontrollierte Bewegungen während der Arbeiten (z. B. Ausleger-schwankungen) berücksichtigt werden:

- schienenfahrbare Baumaschinen 0,15 bis 0,30 m,
- nicht schienenfahrbare Baumaschinen wegen Fahrbahnunebenheiten >0,30 m.

Können Oberleitungen und/oder Bahnenergieleitungen aus betrieblichen Gründen nicht ausgeschaltet werden, ist ein **Sicherheitsabstand von 1,50 m** einzuhalten. Zu diesem Abstand sind die vorgenannten Abstandzuschläge für unkontrollierte Bewegungen zu addieren. Die Baumaschinen müssen bei Arbeiten unter spannungsführender Oberleitung immer *bahngeerdet* werden!

Ein Schienenfahrzeug (auch ein eingeleistes Zweibegefahrzeug) gilt als bahngeerdet, wenn mindestens ein Rad auf einer, als Rückleitung dienenden, nicht unterbrochenen Schiene steht.

Fahrzeuge, Kräne, Baumaschinen und Baugeräte, die auf einem Güterwagen stehen, können an diesem bahngeerdet werden, wenn sich der Wagen auf einer zur Rückleitung benutzten Schiene befindet.

Alle gummibereiteten Fahrzeuge sind grundsätzlich mit einer Schlepperde an das rückleitende Gleis anzuschließen.

Kann bei Bauarbeiten unter eingeschalteter Oberleitung der Sicherheitsabstand von 1,50 m nicht eingehalten werden, darf dieser **im Ausnahmefall bis auf 0,3 m verringert** werden. Die Zuschläge für unkontrollierte Bewegungen während der Arbeit sind gesondert aufzuaddieren, d. h. der Mindestabstand von schienenfahrbaren Arbeitsmaschinen darf 0,45 ... 0,60 m (je nach Art der Baumaschinen) nicht unterschreiten. Bei höhenverstellbaren Arbeitsmaschinen muss die Hubbegrenzung immer eingeschaltet sein und sie darf während der Arbeitsausführung nicht unwirksam gemacht werden.

Arbeitskräfte, die vom Boden aus bewegte Lasten am Ausleger führen, müssen durch eine elektrische Trennung von geführter Last und Tragmittel vor einem eventuellen Überschlag geschützt sein.

Die elektrische Trennung kann durch eine isolierte Aufhängung der Last oder aus Isolierstoff bestehenden Arbeitsmitteln oder durch isolierende Leitseile zum Führen der Last erreicht werden.

Literatur

1. DIN EN 50119 (Januar 2002) Bahnanwendungen – Ortsfeste Anlagen, Oberleitungen für den elektrischen Zugbetrieb; Deutsche Fassung EN 50119: 2001; Klassifikation VDE 0115 Teil 601
2. DIN EN 50122-1 (September 2011) Bahnanwendungen – Ortsfeste Anlagen Teil 1: Schutzmaßnahmen in Bezug auf elektrische Sicherheit und Erdung
3. DIN EN 50367 (Februar 2012) Bahnanwendungen – Zusammenwirken der Systeme – Technische Kriterien für das Zusammenwirken Stromabnehmer und Oberleitung (für einen freien Zugang); Deutsche Fassung EN 50367:2012
4. DIN EN 50149 (Februar 2013) Ortsfeste Anlagen – Elektrischer Zugbetrieb; Rillenfahrdrähte aus Kupfer und Kupferlegierung
5. Ebs-Zeichnungswerk der Regeloberleitung der DB AG
6. Richtlinie Oberleitungsanlagen DB Netz AG 997.0101 (Juli 2001) und 997.0202 (März 2003)
7. Richtlinie-Oberleitungsanlagen DB Netz AG 997.0302 (Januar 2005)
8. Zweig B.-W. et al. (1989) Lehrheft – Fahrleitungen der Deutschen Reichsbahn

Anhang zu Kap. 14: Regelzeichen für Oberleitungslagepläne

| Maste | | Oberleitungsstützpunkte | | Oberleitung | | |
|----------------------|--------|--|--------|--|--------------------|--|
| Benennung | Symbol | Benennung | Symbol | Benennung | Symbol | |
| Flachmast | ○ | Ausleger über 1 Gleis am Flachmast | | Gleis mit befahrbarer Oberleitung | — | |
| Anklammerflachmast | ◡ | 2 Ausleger am Mast (bei nachgespanntem Tragseil) | | Gleis ohne Oberleitung | - - - | |
| Winkelmast | ● | Ausleger über 2 Gleise | | Abgehende Kettenwerke | — | |
| Anklammerwinkelmast | ◡ | Bogenabzug am Flachmast | | Tragseillose Oberleitung | bewegl. Endverank. | |
| Holztragmast | ● | Bogenabzug für 2 und mehr Gleise am Flachmast | | | feste Endverank. | |
| Holzabspannmast | ◡ | Bogenabdrücke ohne Ausleger | | Oberleitung mit festem Tragseil | bewegl. Endverank. | |
| Mast mit Anker | ○— | Sehkeilausleger I (II, III) am Flachmast | | | feste Endverank. | |
| Mast mit Radabweiser | ○ | Querseilauflangung | | Oberleitung mit nachgesp. Tragseil | bewegl. Endverank. | |
| Betontragmast | ⊙ | Abspannjoch mit Zwischen-Flachmast | | | feste Endverank. | |
| Betonabspannmast | ⊙ | Tragjoch | | Oberleitung mit nachgesp. Tragseil und Doppelfahrdraht | bewegl. Endverank. | |
| IPB-Mast | ⊕ | Y-Beilseil Kreuzung Re75, Re100 mit Re160, Re200 | | | feste Endverank. | |

Lageplan

| Maste | | Oberleitungsstützpunkte | | Oberleitung | |
|--|-----------------------------|---|---------------|---|--------|
| Benennung | Symbol | Benennung | Symbol | Benennung | Symbol |
| Querprofil | Mastvorderkante im Querfeld | Oberleitungsstützpunkte im Tunnel | | bewegl. Endverank. an versch. Masten o. Befestigungspunkten | |
| | Mittelmast | | | festen Endverank. an versch. Masten o. Befestigungspunkten | |
| | Mast mit Aufsatz | Benennung | Symbol | Zukunfts Endverankerung | |
| | | an der Decke, ohne Seitenhalter | | Fahrdraht-Verankerung bei festem Tragseil | |
| Oberleitungsstützpunkte im Tunnel Re250 | | an der Decke, mit 1 Seitenhalter | | Fahrdraht-Verankerung bei nachgespanntem Tragseil im Querseil | |
| Benennung | Symbol | an der Decke, mit 2 Seitenhaltern | | Fahrdraht-Verankerung bei nachgespanntem Tragseil am Ausleger | |
| Einzelstützpunkte an der Decke | | an der Wand, ohne Seitenhalter | | Oberleitungen kreuzen sich und sind mit Führungsleiste versehen | |
| Einzelstützpunkte an der Wand | | an der Wand, mit 1 Seitenhalter | | Die kreuzenden Oberleitungen berühren sich nicht (ohne Führungsleiste) | |
| Doppelstützpunkte an der Wand | | an der Wand, mit 1 Seitenhalter | | Oberleitungen kreuzen sich. Doppelte Kreuzzugsweiche mit beige geklemmten Fahrdrahten | |
| Festpunkt mit Stützpunkt an der Decke | | | | Elektrische Verbindung zweier Oberleitungen | |
| Festpunkt mit Stützpunkt an der Wand | | Festpunkte im Tunnel | | Streckentrenner | |
| | | Benennung | Symbol | Zwischenisolation im Fahrdraht und Tragseil o. Richtseil | |
| | | mit Anker an der Decke oder Wand, z. B. am Stützpunkt ohne Seitenhalter an der Hängesäule | | Zwischenisolation nur im Tragseil | |
| | | an der Decke oder Wand, z. B. an der Wand mit je 1 Seitenhalter | | mechanisch verstärkte Isolation im Richtseil (Darstellung im Querprofil) | |
| | | | | doppelte Tragseil-Isolation am Stützpunkt im Querfeld | |
| | | | | Reiter zwischen 2 Fahrdrahten | |
| | | | | Kettenwerk mit Seil statt Fahrdraht | |
| | | | | Fahrdraht-Seilverbindung (ohne Isolation) | |
| | | | | Fahrdraht-Seilwechsel an Zwischenisolation | |
| | | | | Streckentrennung (Darstellung im Übersichtsplan mit Schaltanweisung) | |

| Speiseleitungen | | Schalter | | Sonstiges | |
|--|---|---|--------|---|--------|
| Benennung | Symbol | Benennung | Symbol | Benennung | Symbol |
| Speiseleitung (2 Leitungen 240-E-Al) | | Trennschalter ohne Erdkontakt | | Steuerkabel (3 Leiter Ø 1,5) | |
| 15 kV Speisekabel (1 Kabel Cu 95²) | | Trennschalter mit Erdkontakt | | Erdplatte | |
| Speiseleitungsausleger | | Masttrennschalter für 1000 A mit ortsgesteuertem Antrieb | | Umspanner | |
| Einfachaufhängung | | Masttrennschalter für 1000 A mit ferngesteuertem Antrieb | | Zusatzsignal für den elektr. Betrieb EI 6 "Halt für Fahrzeuge mit Stromabnehmer" (Signalbuch 301) | |
| Doppelaufhängung 1) | | Masttrennschalter für 1700 A mit ortsgesteuertem Antrieb | | Zes-Grenze | |
| Doppelaufhängung z. B. am Winkelmast | | Masttrennschalter für 1700 A mit ferngesteuertem Antrieb | | Bw-Instandhaltungsgrenze | |
| Speiseleitungs-Endverankerung am Mast | | Masttrennschalter für 2000 A mit ortsgesteuertem Antrieb | | Bestimmung d. Gleis-km bei Weichen | |
| Einfache Endverankerung am Ausleger | | Masttrennschalter für 2000 A mit ferngesteuertem Antrieb | | Endverschluß | |
| Doppelte Endverankerung am Ausleger | | handbedienter Schalterantrieb mit Vierkant-Steckschlüssel | | Stromwandler | |
| Speiseleitungs-Zwischenverankerung am Ausleger | | handbedienter Schalterantrieb mit Dreikant-Steckschlüssel | | Standort der Bahnerdungsvorrichtungen | |
| Querprofil | Speiseleitungs-Ausleger in der Querprofilebene | handbedienter Schalterantrieb mit Sonderverschluß | | Standort des Spannungsprüfers | |
| | Speiseleitungs-Ausleger im Winkel zur Querprofilebene | mechanisch fernbedienter Schalterantrieb im Bf. | | Standort der Bahnerdungsvorrichtungen (nur für Rettungsfahrzeug) | |
| 1) = alte Bauart (für Neubau ungültig) | | Leistungsschalter | | | |
| | | Leistungsschalter mit ortsgesteuertem Antrieb | | | |
| | | Leistungsschalter mit ferngesteuertem Antrieb | | | |

15.1 Vorbemerkungen

Neben dem Energieverbrauch für die Traktion von Zügen gibt es bei den Eisenbahnen zahlreiche, stationäre Energieverbraucher der Infrastruktur. Mit der weiteren Entwicklung der Technik und der immer höher werdenden Komplexität werden diese immer intensiver zur Anwendung von Elektroenergie übergehen und zunehmend an Bedeutung gewinnen.

Normalerweise werden die Energieverbraucher aus bahneigenen Starkstromnetzen (3AC 400 V 50 Hz oder 3AC 6/12/20/30 kV 50 Hz) versorgt, die aus den anliegenden Netzen der regionalen Energieversorgung gespeist werden. In den Knotenpunkten nehmen diese zum Teil bedeutende Ausmaße an.

Als allgemeine Verbraucheranlagen seien genannt:

- Bahnhöfe, Haltepunkte einschließlich der Versorgung Dritter,
- Beleuchtungsanlagen in Bahnhöfen und Haltepunkten,
- Tunnelanlagen,
- Zugbehandlungsanlagen,
- Anlagen der LST und Tk.

E. Hunger (✉)

Balfour Beatty Rail GmbH, 10247 Berlin, Deutschland
E-Mail: eberhard.hunger@bbrail.com

J. Mohrich

Balfour Beatty Rail GmbH, 04103 Leipzig, Deutschland
E-Mail: joerg.mohrich@bbrail.com

Soweit es wirtschaftlich und zweckmäßig ist, können Verbraucheranlagen an das Oberleitungsnetz angeschlossen werden. Dies sind zum einen Verbraucherstrukturen, die die Sonderfrequenz des Oberleitungsnetzes (z. B. 16,7 Hz) verwenden können:

- Zugvorheizanlagen (EZVA),
- Schuppenspannungsprüfanlagen,
- Netzersatzanlagen (NEA).

Zum anderen sind es Verbraucherstrukturen an Netzstandorten, an denen die Einspeisung aus dem Oberleitungsnetz stabiler und ökonomischer ist, z. B.

- Weichenheizanlagen (EWhA).

Für bahneigene elektrische Energieanlagen unterliegen die Systemauswahl und -einführung ausgewählter bahnspezifischer Betriebsmittel der technischen Freigabe durch die, die Richtlinienkompetenz abdeckende, Struktureinheit. Das trifft insbesondere zu für:

- Betriebsmittel für EWhA,
- Betriebsmittel für EZVA,
- Sicherheitsbeleuchtungen in Tunnels,
- Lampen und Leuchten für den sicherheits- und betriebsrelevanten Bereich,
- Fernwirk- und Meldesysteme.

Nach dem Errichten, Erweitern und wesentlichen Änderungen sind alle elektrischen Energieanlagen vor ihrer Inbetriebnahme nachweislich zu prüfen und technisch abzunehmen.

Die Verantwortung für die Sicherheit und Funktionsfähigkeit der gesamten elektrischen Anlage trägt der Errichter.

Im Folgenden soll auf wesentliche Verbraucherstrukturen vertiefend eingegangen werden, um die allgemeine Sensibilisierung für Bedeutung, Besonderheit und Verfügbarkeit für das Gesamtsystem der Eisenbahninfrastruktur darzustellen.

15.1.1 Energiebezug vom Versorgungsnetzbetreiber

Während die DB Energie in Eisenbahnknoten eigene Mittelspannungsnetze zur Versorgung der bahneigenen Anlagen und der Verbraucher Dritter mit Elektroenergie betreibt, wird die Energie auf kleineren Bahnhöfen und zur Versorgung der Infrastruktur entlang der Strecke meist direkt vom lokalen Versorgungsnetzbetreiber (VNB) bezogen. An den Übergabestationen bzw. -punkten befinden sich Zähl- und Verrechnungseinrichtungen für die vom VNB bezogenen Energiemengen und ggf. weitere Zähl- und Verrechnungseinrichtungen entsprechend der Abnehmerstruktur auf der Verbraucherseite. Im Jahre 2008 wurden von DB Energie ca. 1.466 GWh 50 Hz-Elektroenergie an DB-eigene Verbraucher und Dritte geliefert, was ca. 83 % der Energielieferung der DB Energie an stationäre Anlagen entspricht.

15.1.2 Energiebezug aus der Oberleitung

Prinzipiell eignet sich die Oberleitung an Eisenbahnstrecken, die mit einem AC-Bahnstromsystem elektrifiziert sind, als Energiebezugsquelle für Nebenverbraucher bis hin zur nahezu alleinigen Energiequelle für Nebenverbraucher und den Hilfsenergiebezug, da die Oberleitung das einzige Netz ist, welches entlang einer elektrifizierten Eisenbahnstrecke immer zur Verfügung steht und im Vergleich zu anderen Energieformen den Energiebezug von einigen 100 kVA zulässt. Aufgrund der niedrigeren Versorgungssicherheit in Oberleitungsnetzen sind bei Notwendigkeit für den angeschlossenen Verbraucher Maßnahmen zur Energiepufferung notwendig.

An Eisenbahnstrecken, die mit einem DC-Bahnstromversorgungssystem elektrifiziert sind, scheidet die Oberleitung als Energiebezugsquelle aus, da aufgrund der niedrigen Oberleitungsspannung (3 kV oder 1,5 kV) zusätzliche Nebenverbraucher einen Spannungsfall verursachen können, der die elektrische Zugförderung beeinträchtigen könnte.

Im Bereich der DB AG ist z. B. der Energiebezug eines Stellwerkes allein aus der Oberleitung dann möglich und zulässig, wenn

- der Bahnhof eine untergeordnete Bedeutung hat oder eine Blockstelle ist oder
- kein öffentliches Energieversorgungsnetz vorhanden ist und die Verlegung eines Kabels zu aufwendig ist.

Als Netzersatz ist der Energiebezug aus der Oberleitung im Bereich der DB AG generell die bevorzugte Variante. Analog zu Elektrischen Weichenheizanlagen (EWHA) wird die Oberleitungsspannung mit einem Transformator auf 2AC 231 V reduziert und auf die Gleichspannung des Gleichstromzwischenkreises umgerichtet. Die Einspeisung aus der Oberleitung wird als getrenntes System von der EWHA realisiert.

Die typische Konfiguration bei Energiebezug aus der Oberleitung bei 1AC 15 kV 16,7 Hz ist:

- Lasttrennschalter am Mast,
- Kabel,
- Hochspannungssicherung,
- Transformator, sekundär 2AC 230 V 16,7 Hz,
- Rückleiter zur Schiene.

Transformatoren stehen in den Leistungsgrößen zwischen 30 kVA und 400 kVA zur Verfügung. In Altanlagen sind Transformatoren bis 100 kVA oft am Mast auf einer Traverse angebracht. Bei der Aufstellung der Transformatoren in Fertigbetonstationen ist die Verwendung von Kompakt-Fertigbetonstationen für Transformatoren bis 100 kVA zulässig. Für Transformatoren mit größerer Leistung sind begehbare Fertigbetonstationen erforderlich. Abbildung 15.1 zeigt die Netzersatzanlage (NEA) für ein ESTW-A mit Oberleitungseinspeisung und Fertigbeton-Kompaktstation und Abb. 15.2 den zugehörigen Prinzipschaltplan.

Für minimale Leistungen ist die Energieversorgung aus der Oberleitung auch über Span-

Abb. 15.1 NEA für ein ESTW-A



nungswandler möglich. Die Spannungswandler werden auf einer Traverse am Mast installiert. Es stehen Wandler mit sekundär 1AC 230 V 16,7 Hz und 300 VA zur Verfügung. Sekundär ist lediglich eine Absicherung über RCD erforderlich. Auf diese Weise können elektronische Geräte, die im Stand-by-Betrieb nur geringe Leistungen benötigen, aus der Oberleitung versorgt und betrieben werden. Statische Umrichter, die als Netzersatz für Tk-Anlagen aus der Oberleitung versorgt und betrieben werden, sind in Entwicklung.

15.2 Stromversorgung von Strecken

15.2.1 Verbraucherstruktur

Die linienförmige Topologie einer Eisenbahnstrecke und die verteilte Anordnung der Infrastruktureinrichtungen verursacht eine dezentrale Verbraucherstruktur. Energieverbraucher entlang einer Eisenbahnstrecke benötigen vorrangig elektrische Energie. Wärmeenergie wird zur Beheizung/Kühlung von Gebäuden mit Aufenthaltsräumen für Personal oder für Betriebsräume benötigt. Die große Längsausdehnung einer Eisenbahnstrecke bedingt, dass sich Energieverbraucher an einer Eisenbahnstrecke weit ab von öffentlichen Energieversorgungsnetzen befinden

können. Die netzferne Energieversorgung stellt häufig ein Problem dar, da die Heranführung der Energie mit der Errichtung kostenintensiver Infrastrukturen für relativ wenige und leistungsschwache Verbraucher verbunden ist.

Für die netzferne Energieversorgung von Energieverbrauchern an einer elektrifizierten Eisenbahnstrecke steht alternativ die Energieversorgung aus der Oberleitung zur Verfügung. Im Bereich der DB AG ist der Energiebezug aus der Oberleitung als alleinige Form des Energiebezugs in Ausnahmefällen bei netzferner Versorgung und im Allgemeinen zur Netzersatzversorgung vorgesehen. Diese Möglichkeit ist auf Eisenbahnstrecken mit AC-Bahnstromversorgung beschränkt. An Eisenbahnstrecken mit DC-Bahnstromversorgung findet die Möglichkeit der netzfernen Energieversorgung keine Anwendung, da aufgrund der niedrigen Oberleitungsspannung nicht ausreichend Übertragungskapazitäten zur Verfügung stehen. Dass die netzferne Energieversorgung aus der Oberleitung mit Ausnahme der elektrischen Weichenheizanlagen kaum Anwendung findet, hat vermutlich historische Gründe. Die großflächige Elektrifizierung der Eisenbahnstrecken in Deutschland erfolgte erst Jahrzehnte nach der Errichtung der übrigen Infrastrukturen der Eisenbahnstrecke. Die Energie verbrauchenden Infrastrukturen wurden dort

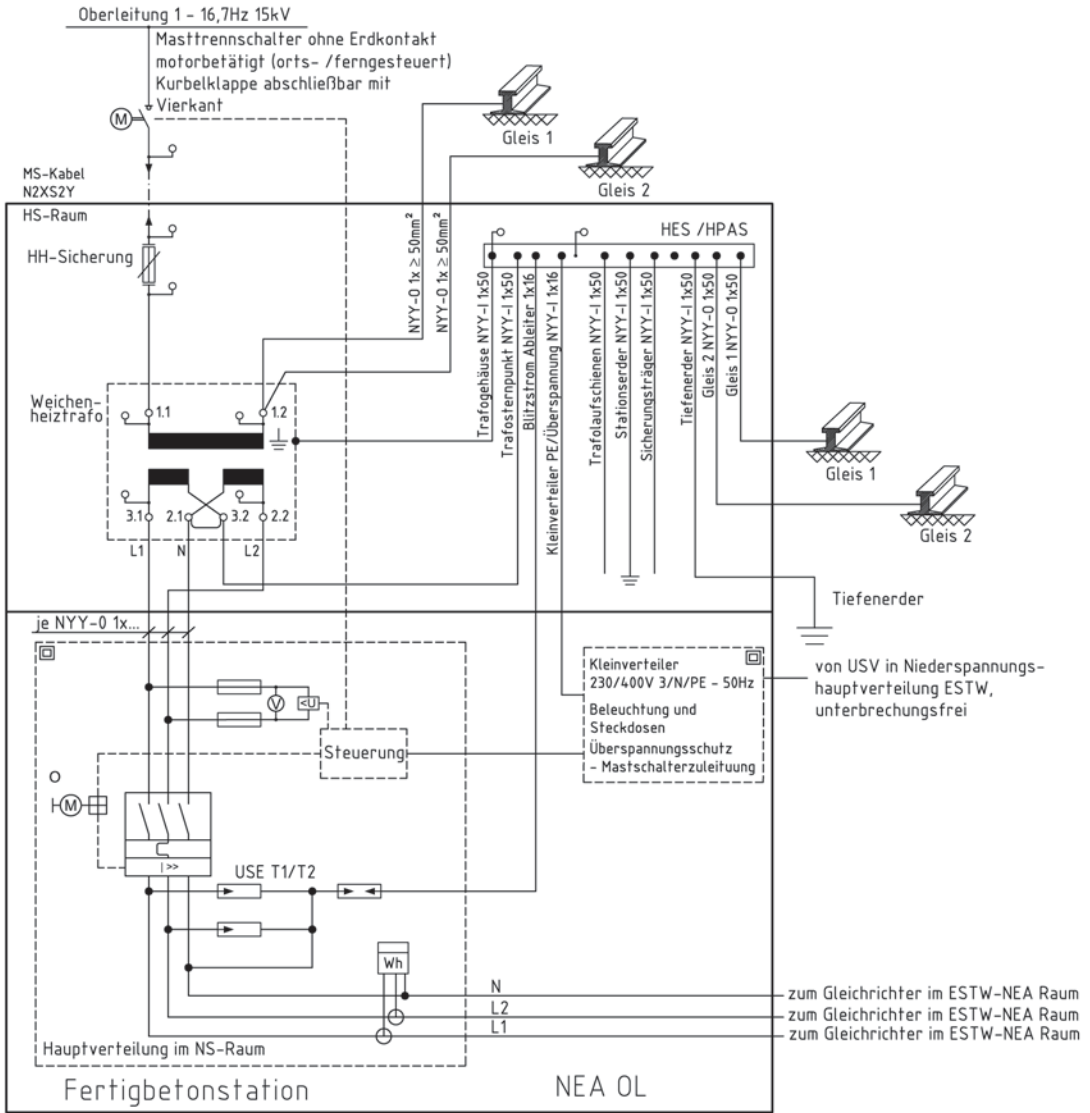


Abb. 15.2 Prinzipschaltplan NEA für ein ESTW-A

errichtet, wo die Energieversorgung mit geringstem Aufwand möglich war, d. h. sie waren im Bereich der Bahnhöfe konzentriert.

Durch den technischen Fortschritt und Rationalisierungsmaßnahmen bei Bahninfrastrukturbetreibern ergeben sich zunehmend Anwendungen, welche die Installation von Infrastrukturen weit ab von Bahnhöfen und der öffentlichen Energieversorgung erforderlich machen. Hierzu zählen z. B.

- Repeater-Stationen für GSM-R-Funk,

- Heißläuferortungsanlagen,
- Tunnel und
- beschränkte Bahnübergangssicherungsanlagen (BÜSA).

Daher sollte das Thema nicht auf die Versorgung der Hilfsbetriebe beschränkt sein, sondern auf die netzferne Stromversorgung von Elektroenergieverbrauchern entlang einer Eisenbahnstrecke erweitert werden.

Die Energieversorgung aus der Oberleitung hat den Nachteil, dass es in Oberleitungsnetzen

im Vergleich zur Energieversorgung aus öffentlichen Energieversorgungsnetzen relativ häufig zu Unterbrechungen der Energieversorgung bedingt durch Kurzschlüsse kommt. Die Kurzschlusshäufigkeit in Oberleitungsnetzen wird mit etwa 1 Kurzschluss je Kilometer einer zweigleisigen Strecke und Jahr angegeben. Die Kurzschlusshäufigkeit beträgt dagegen in öffentlichen 3AC 50 Hz-Energieversorgungsnetzen etwa 0,02 Fehler je Jahr und Kilometer Leitungslänge. Die Energieversorgung aus der Oberleitung hat daher eine relativ geringe Versorgungssicherheit. Im Gegensatz dazu steht die Forderung einer nahezu ununterbrochenen Energieversorgung der Energieverbraucher, die an einer Eisenbahnstrecke häufig eine sicherheitsrelevante Funktion haben. Daher ist am Ort des Energieverbrauchs eine Pufferung der Elektroenergie erforderlich, was i. d. R durch Batterien realisiert wird. Batterien gestatten den Weiterbetrieb der Infrastrukturen für einen bestimmten, vorgegebenen Zeitraum. Aus der benötigten Energiemenge und der zu überbrückenden Zeit ohne externe Energieversorgung ergibt sich die Kapazität der Batterien oder allgemein des Speichermediums.

Nutzt man die am Ort des Energieverbrauchs vorhandenen Energiequellen, ist es möglich, die Kapazität des Speichermediums zu reduzieren oder gänzlich darauf zu verzichten. Für die netzferne Energieversorgung von Eisenbahninfrastrukturen stehen im Allgemeinen Solar- und Windenergie und für Heizzwecke geothermische Energie zur Verfügung. Beispiele für die Nutzung dieser Energieformen werden in Abschn. 15.4.7 gezeigt.

15.2.2 Freie Strecke

In den nachstehenden Abschnitten werden einige ausgewählte Energieverbraucher, die häufig entlang der freien Strecke zu finden sind, vorgestellt.

15.2.2.1 Linienzugbeeinflussung

Eisenbahnstrecken mit einer Betriebsgeschwindigkeit > 160 km/h werden bei der DB AG mit einer linienförmigen Zugbeeinflussung (LZB) ausgerüstet. Die LZB ist ein Zugsicherungs- und

–Steuerungssystem. Sie sichert die Zugfahrten durch kontinuierliche Überwachung der Geschwindigkeit und steuert Zugfahrten mit Hilfe der Führerraumanzeigen für den Triebfahrzeugführer oder direkt in Verbindung mit der automatischen Fahr- und Bremssteuerung. Die LZB gliedert sich in die LZB-Zentrale im Stellwerk und die Streckenausrüstung. Hinsichtlich der Energieversorgung wird in diesem Abschn. nur die Streckenausrüstung beschrieben. Im Gegensatz zu den anderen, in Abschn. 15.2, 15.3 und 15.4 beschriebenen, Energieverbrauchern stellen die Energieverbraucher der LZB-Streckenausrüstung einen quasi linienförmigen Energieverbraucher und durch die verwendete Speisespannung von AC 750 V 50 HZ eine gewisse Besonderheit dar. Zur Einspeisung der Linienleiterschleifen im Gleis dienen Einspeisegeräte, von denen zwei bis sechs Stück in einem Kurzschleifen-Fernspeisegerät (KFS) untergebracht sind. Die Einspeisegeräte haben einen Leistungsbedarf von 25 VA, woraus sich pro KFS ein Leistungsbedarf von 50 VA, 100 VA oder 150 VA ergibt. Entsprechend der Längen der Linienleiterschleifen ergibt sich für die KFS ein Raster von 600 m, in dem die KFS in Form von Freiluft-Außenschranken entlang der Strecke aufgestellt sind. Ausgehend vom Stellwerk erfolgt die Energieversorgung der KFS über eine Stich- bzw. Speiseleitung bis etwa zur Hälfte der Distanz zum benachbarten Stellwerk. Die Länge der Speiseleitungen sollte möglichst kurz sein, ist jedoch vom Abstand der Stellwerke abhängig. Die LZB-Speisebereiche der einzelnen Stellwerke sind i. d. R nicht mit den deutlich längeren LZB-Zentralenbereichen identisch. Zur Einhaltung des Spannungsfalls und zur Reduzierung des Aderquerschnitts wird die LZB-Speiseleitung mit AC 750 V 50 Hz als IT-Netz mit Isolationsüberwachung betrieben. Die Speisespannung wird im Stellwerk mit einem separaten Hochsetztransformator je Speisekabel aus AC 230 V 50 Hz erzeugt. Hinsichtlich der Versorgungssicherheit der Energieverbraucher der LZB-Außenanlage ist eine Versorgungslücke von 20 s zulässig. Für die Speiseleitung kommen die Kabeltypen NYCY-0 bzw. NYCWY-0 zum Einsatz. Ist ein Nagetierschutz notwendig, wird der Kabeltyp (N)YYZg2Y verwendet. Im Regelfall

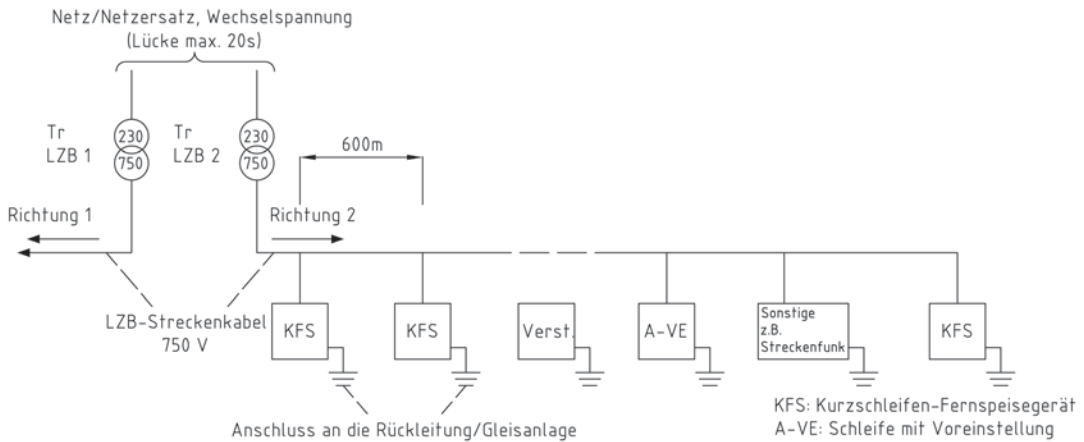


Abb. 15.3 Prinzip der Energieversorgung der LZB-Außenanlage

werden zweiadrige Kabel verwendet. Zur Querschnittserhöhung können auch vieradrige Kabel ohne gelb/grün gekennzeichnete Ader bei Parallelschaltung von jeweils zwei Adern verwendet werden. Der minimale Aderquerschnitt beträgt 4 mm^2 und der minimale Kabelaußendurchmesser 23 mm (Nagetierschutz). Der Aderquerschnitt des LZB-Speisekabels wird so dimensioniert, dass am entferntesten Verbraucher unter Berücksichtigung einer Leistungsentnahme von 500 VA an einer Gerätesteckdose in einem KFS noch mindestens 600 V zur Verfügung steht. Abbildung 15.3 zeigt das Prinzip der Energieversorgung der LZB-Außenanlage.

15.2.2.2 Heißläuferortungsanlagen

Ortsfeste Heißläufer- und Festbremsortungsanlagen (HOA/FBOA) dienen der Erkennung unzulässiger Temperaturen an Radsatzlagern oder Bremsrichtungen fahrender Züge. Die Anlagen an der Strecke messen die Temperaturen der an den Fahrzeugen zu überwachenden Einrichtungen und übermitteln die relevanten Daten an die Meldeeinrichtung beim zuständigen Fahrdienstleiter und ggf. an weitere Stellen.

Grundsätzlich wird das Kernnetz der DB AG mit HOA/FBOA ausgestattet. Folgende Abstände zwischen zwei HOA/FBOA werden angestrebt:

- Strecken mit $v > 200 \text{ km/h}$ (SFS): 30 bis 35 km ,
- übrige Strecken: 40 bis 70 km .

Die HOA/FBOA-Elektronik wird in einem abgeschlossenen Raum, z. B. Tk-Raum, möglichst in einem vorhandenen Gebäude untergebracht. Ansonsten wird ein separates Schalthaus (Netzstation) vorgesehen. Die Entfernung zwischen Detektoren und Elektronik beträgt maximal 50 m . Ein separates Schalthaus wird in Regelfahrtrichtung etwa 5 m nach der Messstelle so angeordnet, dass von innen der Blick auf Züge möglich ist.

Erforderliche Spannungen für die Versorgung der Hilfsbetriebe: $3AC 400/230 \text{ V } 50 \text{ Hz}$.

Leistungsanforderungen:

Für HOA/FBOA-Elektronik, Heizung, Lüftung, MAS 90, Beleuchtung

- ca. 3.5 kVA für Einzelanlage (1 Gleis),
- ca. 5.0 kVA für Doppelanlage (2 Gleise).

Autonome Arbeitszeit: 10 min , dabei wird nur die Elektronik versorgt. Die Detektorenheizung und die Heizung des Frostwächters (300 VA) werden nicht versorgt.

Batteriedimension:

- ca. 10 Ah für Einzelanlagen (1 Gleis),
- ca. 20 Ah für Doppelanlagen (2 Gleise).

Abbildung 15.4 zeigt die Gleisrüstung einer HOA.

15.2.2.3 Windmesseinrichtungen

Windmesseinrichtungen zählen zu den betrieblichen Gefahrenmeldeanlagen und diese wiederum zu den Telekommunikationsanlagen. Windmesseinrichtungen sind z. B. in Form von Windmelde-



Abb. 15.4 Gleisrüstung einer HOA

anlagen auf hohen Brücken installiert. Starkwind als betriebsgefährdender Zustand wird an die Betriebsleitzentrale gemeldet, welche ggf. Streckensperrungen oder Fahrt mit verringerter Geschwindigkeit veranlassen kann. Luftströmungsmeldeanlagen sind in Tunneln ab 1000 m Länge installiert (2 Stück pro Tunnel) und übermitteln Informationen zur Strömungsrichtung der Luft im Tunnel. Die Informationen werden von den Rettungskräften im Brand- und Katastrophenfall benötigt, um Rettungsaktionen unbeeinflusst von der Strömungsrichtung giftiger Brandgase durchführen bzw. den Einsatz von Atemschutzgeräten koordinieren zu können. Für die Energieversorgung ist ein Anschluss AC 230 V 50 Hz oder AC 750 V 50 Hz (LZB-Speisespannung) erforderlich. Die Informationsübertragung erfolgt über das Melde- und Anlagensystem MAS 90.

15.2.2.4 GSM-R Repeaterstationen

Global System for Mobile Communications – Railway (GSM-R) ist ein Mobilfunksystem, welches auf dem weltweit dominierenden GSM aufbaut, jedoch für die Verwendung bei den Eisenbahnen angepasst wurde. Neben Sprachkommunikation, die anders als bei GSM neben einer funktionalen Rufnummer unter anderem auch Gruppenrufe, Prioritäten und ein Verdrängen niedriger priorisierter Gespräche unterstützt, soll GSM-R vor allem auch der Zugsicherung dienen.

GSM-R wird bei der UIC als EIRENE (European Integrated Railway radio Enhanced Net-

work) Projekt geführt. Neben GSM-R/EIRENE arbeitet die UIC in diesem Zusammenhang an ETCS (European Train Control Systems) und ERTMS (European Rail Traffic Management Systems). Als gesamteuropäischer Standard sollen GSM-R/EIRENE, ETCS und ERTMS mittelfristig die meist zueinander inkompatiblen nationalen Zugsicherungssysteme ablösen. Auf GSM basierend kann GSM-R relativ schnell und kostengünstig entwickelt und aufgebaut werden.

Die Deutsche Bahn hat 24.500 km ihrer 36.600 Netzkilometer mit GSM-R/EIRENE ausgestattet. Der analoge Zugfunk wird zurzeit nach und nach durch GSM-R ersetzt.

Entlang einer Eisenbahnstrecke, die mit GSM-R ausgerüstet ist, befinden sich so genannte Base Transceiver Station (BTS) (engl. für Basis Send- und Empfangsstation). Die BTS ist ein Netzelement des digitalen GSM-R-Mobilfunknetzes. Die BTS versorgt unmittelbar eine Funkzelle.

Die Größe der Zellen liegt von 100 m bis 5 km.

Über den Standort der BTS entscheiden vorrangig funktechnische Erfordernisse. Daher kann es zu netzfernen Aufstellungsorten entlang einer Eisenbahnstrecke kommen.

Erforderliche Spannungen für die Versorgung der Hilfsbetriebe: 3AC 400/230 V 50 Hz

Leistungsanforderungen Typische Leistung: 7–10 kVA

Abbildung 15.5 zeigt die Sendeantenne und die -technik im Freiluft-Außenschrank.

15.2.2.5 Ortssteuereinrichtungen

In Oberleitungsnetzen sind für die Sektionierung und Freischaltung im Fehlerfalle Schalteinrichtungen erforderlich, die i. d. R. als Lasttrennschalter auf Oberleitungsmasten oder an Schaltgerüsten installiert sind. Die Schalter selbst werden häufig mittels Schalterantrieben betätigt. Die Schalterantriebe benötigen für ihre Funktion Elektroenergie.

Auf Bahnhöfen sind üblicherweise andere Eisenbahninfrastrukturen zu finden, die mit Elektroenergie versorgt werden müssen. Daher stellt der Anschluss der Ortssteuereinrichtung (OSE) bzw. der Schalterantriebe an die Elektroenergieversorgung normalerweise kein Problem



Abb. 15.5 Sendeanlage einer GSM-R-Station

dar. Selbst an weit abgelegenen Abzweigstellen ist häufig Stellwerkstechnik vorhanden, die mit Elektroenergie versorgt werden muss.

Schutzstrecken, Phasentrenn- oder Systemtrennstellen im Oberleitungsnetz können weit entfernt von anderer Bahninfrastruktur angeordnet sein. Hier stellt die netzferne Energieversorgung ein Problem dar.

Oberleitungsschalter sind i. d. R. an den Bahnhofsstellen angeordnet, damit die Oberleitung im Bahnhof von der Oberleitung der freien Strecke elektrisch getrennt werden kann. Innerhalb des Bahnhofs werden häufig sog. Querkupplerschalter installiert, um die Oberleitungen der

durchgehenden Streckengleise miteinander verbinden zu können. Die Oberleitung von Nebengleisen wird ebenfalls über Oberleitungsschalter mit Traktionsenergie versorgt.

Oberleitungsschalter bzw. deren Schalterantriebe werden i. d. R. an eine sog. OSE angeschlossen. Die OSE versorgt die Schalterantriebe mit der benötigten Energie, übernimmt die Steuerungsfunktion und befindet sich häufig im Stellwerk oder im Dienstraum des Fahrdienstleiters. Diese Anordnung ist nicht zwingend. Von der OSE aus können die Mastschalter betätigt werden. Durch Anschluss an eine Fernwirkleinrichtung können die Oberleitungsschalter auch von Zentralen Schaltstellen (ZeS) betätigt werden.

Erforderliche Spannungen für die Versorgung der Hilfsbetriebe Bei der OSE werden drei Verbraucherkategorien unterschieden, die mit AC 230 V 50 Hz versorgt werden müssen:

- Unterstation OSE (PC-OSE),
- Fernwirkunterstation,
- Masttrennschalterebene.

Die OSE muss insgesamt über eine gesicherte Stromversorgung mit AC 230 V 50 Hz versorgt werden. Die Unterstation OSE und die Fernwirkunterstation werden vorzugsweise unterbrechungsfrei über eine USV versorgt. Die Fernwirkunterstation kann bei Erfordernis mit DC 48 V/60 V (unterbrechungsfrei, gesichert) aus der Energieversorgung eines ESTW versorgt werden, damit weitere Fernwirkunterstationen anderer OSE, die an diese Fernwirkunterstationen angeschlossen sind, trotz eines Spannungsausfalls der OSE-Energieversorgung weiterhin von einer zentralen Schaltstelle aus bedienbar bleiben. Bei nicht vorhandener AC 230 V 50 Hz-Versorgung ist die Versorgung mit AC 230 V 16,7 Hz über Wandler und Gleichrichter mit DC 24 V zulässig.

Leistungsanforderungen

Leistungsaufnahme: 0,63–1 kVA

Autonome Arbeitszeit

Die Ausrüstung der OSE mit einer internen USV ist allgemein nicht gefordert. Sie wird dann notwendig, wenn an die Fernwirkunterstation im

Abb. 15.6 Vollschranken-
anlage mit Betonschaltheus
und Gefahrenraumfreimel-
deanlage



weiteren Verlauf weitere Fernwirkunterstationen angeschlossen sind oder auf die Fernwirkunterstation weitere Meldungen aufgeschaltet werden. Ein Beispiel hierfür ist die Unterbringung der OSE in einer 50 Hz-Schaltanlage auf der NBS Nürnberg Ingolstadt, wo Meldungen aus der 50 Hz-Schaltanlage an die Fernwirkunterstation angeschlossen wurden. Die Überbrückungszeit wird mit 3 h, im Maximum mit 5 h angegeben.

Batteriedimension: ca. 20 Ah.

15.2.2.6 Bahnübergänge

Bahnübergangssicherungsanlagen (BÜSA) sichern niveaugleiche Übergänge von Straßen und Wegen über Gleise und signalisieren Zugfahrten. Die technische Ausführung ist in den Technischen Unterlagen der DB AG in der Modulfamilie 819.1203 bis 819.1210 beschrieben.

BÜSA befinden sich teilweise weit ab von Bahnhöfen und Ortschaften. Dort arbeiten BÜSA unter Umständen unabhängig von der übrigen Signal- und Sicherungstechnik. Für diese Anlagen ist eine separate Energieversorgung erforderlich. Die Zuführung der Elektroenergie ist in diesen Fällen häufig mit großem Aufwand verbunden.

Die Stromversorgung der BÜSA erfolgt aus einem bahneigenen oder öffentlichen Energieversorgungsnetz mit 3AC 230/400 V 50 Hz. Außerhalb des Betonschaltheuses werden

- Schrankenansätze,
- Straßensignale,
- Überwachungssignale,
- Gleisschaltmittel,

- Straßenbeleuchtung,
- eventuell Rangiersignale oder
- automatische Gefahrenraumfreimeldeanlagen mit Energie versorgt.

Erforderliche Spannungen für die Versorgung der Hilfsbetriebe In Abhängigkeit vom Hersteller werden Pufferbatterien mit 36 V, 2×18 V oder 24 V eingesetzt. Informationen zu den Versorgungsspannungen der einzelnen Verbraucher sind in den zugänglichen Unterlagen nicht enthalten.

Leistungsanforderungen

Leistungsaufnahme: 3 kVA

Autonome Arbeitszeit: normalerweise 3 h.

Ist die BÜSA in ein Stellwerk integriert, so gilt die Batteriereservezeit des Stellwerks.

Batteriedimension: Bis 200 Ah, bei größerer Batteriekapazität separater Batterieraum erforderlich.

Abbildung 15.6 zeigt eine Vollschrankenanlage mit Betonschaltheus und Gefahrenraumfreimeldeanlage.

15.2.2.7 Elektrische Weichenheizanlagen

Auf der freien Strecke werden Weichen für Überleitverbindungen und Streckenabzweige benötigt. Um diese in der kalten Jahreszeit schnee- und eisfrei und damit betriebsbereit zu halten, werden Weichenheizanlagen benötigt. Wird als Heizenergie Elektroenergie verwendet, kommen elektrische Weichenheizanlagen (EWHA) zum

Einsatz. Diese werden in Abschn. 15.4.2 beschrieben.

15.2.3 Tunnel

15.2.3.1 Allgemeines

Nachfolgende Ausführungen beschreiben die Anlagen der 50 Hz-Energieversorgung und der Tunnelsicherheitsausrüstung. Die Ausführungen beziehen sich in Bezug auf Tunnelsicherheitsausrüstungen, wenn nicht anders angegeben, auf gesetzliche und bahneigenen Vorschriften und technische Normen aus Deutschland.

Internationale Vorschriften für Tunnelsicherheitsausrüstung im Bereich des Eisenbahnwesens existierten früher in Form des UIC-Codex „Tunnelsicherheit in Eisenbahntunneln“. Im Rahmen der Harmonisierung der Vorschriften im europäischen Eisenbahnwesen ist eine Technische Spezifikation Interoperabilität für Tunnelsicherheit in Eisenbahntunneln (TSI SRT) seit 2008 gültig. Als europäische Rechtsverordnung ist die TSI SRT bei Tunnelneubauten oder wesentlichen –umbauten anzuwenden. Die TSI SRT definiert Mindeststandards für die Tunnelsicherheit in Eisenbahntunneln und deren technische Ausrüstung.

Als Eisenbahntunnel werden im Bereich der Deutschen Bahn (DB) Fahrtunnel für den Zugverkehr bezeichnet. Eisenbahntunnel ab einer Länge $l > 500$ m werden mit Tunnelsicherheitstechnik ausgerüstet. Ausgenommen aus den nachstehenden Betrachtungen sind Anlagen der Bahnenergieversorgung, Oberleitungsanlagen und Anlagen für die Bahnrückstromführung und Erdung sowie den Potentialausgleich.

Grundlage für die Konzeption der Energieversorgungsanlage eines Tunnels ist die Ermittlung des Energiebedarfes aller dem Bauwerk zuzuordnenden 50 Hz-Verbraucher. Dazu gehören u. a.:

- Telekommunikationsanlagen, wie Fernmelde- und Funkeinrichtungen,
- Einbruch- und Brandmeldeanlagen, Übertragungsanlagen, z. B. MAS 90,
- Entrauchungs- und Entwässerungsanlagen (Pumpenanlagen),

- Aufzüge, ggf. Hubschrauberlandeplatz-Befeuerung,
- Beleuchtungsanlagen (Tunnelsicherheitsbeleuchtung),
- Oberleitungsspannungs-Prüfeinrichtungen (OLSP), Ortsteuereinrichtung (OSE),
- Heißläuferortungsanlagen (HOA/FBOA),
- Elektranten.

Aus dem Energiebedarf, Bauwerksspezifika des Tunnels, lokalen Besonderheiten und Dimensionen, insbesondere der Länge des Tunnels, ergibt sich die Notwendigkeit der Festlegung für eine Spannungsebene (Mittel-/Niederspannung).

Als Netzsystem wird das IT-System angewandt. Damit ist eine Isolations- und Netzspannungsüberwachung erforderlich. Störungsmeldungen werden über ein Fernwirk- und Meldesystem übertragen.

Transformatoren außerhalb von Eisenbahntunneln sind als Öltransformatoren in hermetisch geschlossener Ausführung und innerhalb von Eisenbahntunneln als Gießharztransformatoren vorzusehen.

Transformatoren für die Energieversorgung von elektrischen Energieanlagen 50 Hz in Eisenbahntunneln werden für unsymmetrische Belastung im erforderlichen Umfang ausgelegt. Bei der Leistungsbemessung ist für die Anschlussleistung der Elektranten der 1,5-fache Wert der maximalen Abnahmeleistung anzusetzen.

15.2.3.2 Besonderheiten der Stromversorgung von Tunneln

Bezüglich der Versorgung mit AC 50 Hz-Energie kann für Eisenbahntunnel eine Klassifizierung nach der Länge vorgenommen werden:

- Eisenbahntunnel mit einer Länge $500 \text{ m} < l < 1000 \text{ m}$:
Dimensionierung der Energieversorgung für Tunnelsicherheitsbeleuchtung (TSB) und sonstige elektrische Verbraucher, keine Elektranten,
- Eisenbahntunnel mit einer Länge $l \leq 1000 \text{ m}$:
Dimensionierung der Energieversorgung für TSB, Elektranten und sonstige elektrische Verbraucher,
- Eisenbahntunnel mit einer Länge $l \leq 1500 \text{ m}$:
Einspeisung von einem Tunnelportal aus,

- Eisenbahntunnel mit einer Länge $l > 1500$ m: Einspeisung von beiden Tunnelportalen aus,
- Lange Eisenbahntunnel: zusätzliche Einspeisungen an Querschlägen, Notausgängen bzw. Notausstiegen.

Die Notwendigkeit zusätzlicher Einspeisungen innerhalb des Tunnels ergibt sich aus den zu übertragenden, elektrischen Leistungen und Kabellängen sowie den daraus resultierenden Leiterquerschnitten und den einzuhaltenden Spannungstoleranzen. Unter Umständen sind höhere Spannungen als die beim bevorzugt verwendeten Stromsystem 3 AC 230/400 V 50 Hz erforderlich.

Der Einsatz von Transformatorenstationen (TST) ist bei der Entscheidung für die Mittelspannungsversorgung zu optimieren. Bei sehr langen Tunnelbauwerken sind Betriebsräume innerhalb des Tunnels zu planen, die mit Mittel-/Niederspannungs-TST bestückt werden können. Die Energieversorgung der Verbraucher erfolgt dann auf der Niederspannungsebene im IT-System mit Überwachung.

Kabel und Leitungen im Tunnel werden so verlegt, dass sie durch die Folgewirkung von Unfällen nicht beschädigt werden können bzw. ihre Funktion nicht beeinträchtigt wird. Alle Kabel sind vorzugsweise brandsicher (geschützt) zu verlegen (Klasse F90). Für Kabel, die nicht brandsicher verlegt sind, werden nicht brennbare, halogenfreie Materialien verwendet. Sie müssen der Brandklasse E90 entsprechen. Übergänge (z. B. Kabeldurchführungen) von brandsicherer zu nicht brandsicherer Verlegungsart sind brandsicher zu verschließen. Ausdrücklich besteht Einsatzverbot für PVC-haltige Materialien mit Ausnahme von Steckdosen, Kleinteile, wie Schalter, Taster, Klemmen, Schellen

15.2.3.3 Elektranten

Elektranten sind an den Tunnelwänden am Rand des Sicherheitsraumes in Höhe von ca. 1.10 m über FOK und längs im Abstand von höchstens 125 m anzubringen. Die Anbringung der Elektranten erfolgt bei:

- zweigleisigen Eisenbahntunneln beidseitig,
- eingleisigen Eisenbahntunneln einseitig auf der Seite des Rettungsweges.

Gegenüberliegende und benachbarte Elektranten dürfen nicht vom gleichen Stromkreis versorgt werden.

Die Energieversorgung der Elektranten ist so zu dimensionieren, dass je 8 kW an zwei benachbarten Elektranten je Tunnelseite entnommen werden können. Die Netzspannung wird an jedem Elektranten überwacht. Das Vorhandensein der Versorgungsspannung ist innerhalb der Elektranten optisch anzuzeigen. Elektranten sind in Schutzklasse II und mindestens Schutzart IP65 auszuführen. Eine mögliche Bestückung mit Steckdosen gibt nachstehendes Beispiel an:

- 1x CEE 16/20 A 3 P/N/PE nach EN 60309 (DIN VDE 0623),
- 1x CEE 16/20 A 1 P/N/PE nach EN 60309 (DIN VDE 0623),
- 2x Schutzkontaktsteckdosen 10/16 A nach DIN 49440.

Weitere Anforderungen an Elektranten enthält DS 954.9107. Abbildung 15.7 zeigt einen Elektranten im Tunnel mit geöffneter Tür

15.2.3.4 BOS-Tunnelfunk

Der BOS-Funk ist ein nichtöffentlicher, analoger, mobiler UKW-Landfunkdienst in Deutschland, der von Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) verwendet wird. Der BOS-Tunnelfunk wird als eigenständiges Funksystem in neue und bereits vorhandene Tunnel ab einer Länge > 500 m eingebracht, um den Organisationen, die die DB AG bei Unglücksfällen unterstützen, die interne Kommunikation an jeder Stelle im Tunnel zu gewährleisten. Die komplette Funktionalität wird erst mit Aufschalten einer Einsatzzentrale von Feuerwehr, Polizei, Bundesgrenzschutz o.ä. auf das BOS-Funksystem erreicht. Der BOS-Tunnelfunk gewährleistet im Einsatzfall die Kommunikation der Einsatzkräfte innerhalb des Tunnels, der Notausgänge und auf den Freiräumen an den Tunnelportalen bis zu einer Entfernung von ca. 200 m. In Abhängigkeit von der schrittweise Einführung des digitalen Bündelfunks TETRA bei Behörden und Organisationen, der als Nachfolger des heutigen BOS-Funks gilt, wird diese Technik in neue Tunnel eingebaut bzw. in Bestandstunnel auf diese Technik umgestellt.

Abb. 15.7 Elektrant im Tunnel mit geöffneter Tür



Für die Funkversorgung im Tunnelbereich werden im Regelfall sog. Leckkabel oder strahlende Kabel verwendet. Es handelt sich hierbei um herkömmliche HF-Koaxialleitungen, welche als Schlitzkabel ausgeführt sind. Jedes Leckkabel (ca. 1000 m Länge) wird an beiden Enden an eine Funkanlage angeschlossen und das Signal somit von beiden Seiten in das Kabel eingespeist. Bei Unterbrechung des Leckkabels wird durch die beidseitige Einspeisung gewährleistet, dass auf der gesamten Kabellänge auch weiterhin ein Signal anliegt.

Die Stromversorgung der BOS-Funkanlagen erfolgt über Anschlüsse 3AC 230/400 V 50 Hz bei einer Anschlussleistung von ca. 3 kVA. Bei Netzausfall muss automatisch eine Ersatzstromversorgung (USV) den BOS-Funk über die Dauer von 12 h bei Volllast funktionsfähig halten. Die BOS-Funkanlagen außerhalb der Tunnel werden im Regelfall in Betonschalhäusern untergebracht. Bei Erfordernis werden die Funkanlagen auch in Tk-Räumen innerhalb der Tunnel untergebracht, z. B. in Notausgängen oder Rettungsschleusen. Abbildung 15.8 zeigt ein Betonschalhaus für BOS-Funk mit Außenantenne zur Freiraumversorgung in der Nähe des Tunnelportals.

15.2.3.5 Tunnelsicherheitsbeleuchtung

Die Tunnelsicherheitsbeleuchtung (TSB) ist eine bedarfsorientierte Sicherheitsbeleuchtungsanlage in Bereitschaftsbetrieb zur Unterstützung der Selbstrettung von Reisenden im Unglücksfall und des Einsatzes von Rettungskräften in



Abb. 15.8 Betonschalhaus für BOS-Funk mit Außenantenne zur Freiraumversorgung am Tunnelportal

Tunneln und angrenzenden Trogbauwerken. Sie dient der Beleuchtung der Rettungswege und wird in Tunnel > 500 m eingebaut. Die Einschaltung ist im Tunnel über im Abstand von 125 m angebrachten Tastern und über Fernwirkeinrichtungen möglich. Die TSB ist als Einzelbatterieanlage aufgebaut. Die Batterien sind in Notlichtversorgungsgeräten (NVG) untergebracht und versorgen bei Ausfall der Energieversorgung maximal zwei nicht benachbarte Einzelleuchten mit Energie. Die Reservezeit beträgt 3 h. Bei funktionierender Energieversorgung im Tunnel laden die NVG die Batterien bzw. speisen die angeschlossenen Leuchten direkt. Die Leuchten (2×11 W Leuchtstoffleuchten) sind entweder über dem Rettungsweg angebracht oder als LED-Leuchten in den Handlauf des Rettungsweges



Abb. 15.9 Tunnel mit eingeschalteter TSB

integriert. Für eine gleichmäßige Beleuchtung des Rettungsweges sind die von NVG gespeisten Leuchten in Abständen von 15–17 m angebracht. Abbildung 15.9 zeigt einen Rechtecktunnel mit eingeschalteter TSB.

Dementsprechend muss eine relativ große Anzahl von NVG im Tunnel installiert und mit Energie versorgt werden. Um den Installationsaufwand gering zu halten, werden mehrere NVG nebeneinander an der Tunnelwand angebracht und aus einer Unterverteilung der Energieversorgung des Tunnels mit AC 230V 50 Hz oder höheren Spannungen gespeist. Die Leistungsaufnahme beträgt ca. 50 VA/NVG. Wenn neben dem NVG ein Elektrant installiert ist, übernimmt das NVG zusätzlich die Spannungsüberwachung im Elektranten. Damit alle Leuchten im Tunnel von

einer Stelle aus eingeschaltet werden können, sind die NVG untereinander und mit einer in der Nähe des Tunnelportals situierten Tunnelüberwachungszentrale (TÜZ) über eine Busleitung verbunden. Über die Busleitung werden neben den Einschaltbefehlen auch andere Befehle, Meldungen und Statusinformationen übertragen und von der TÜZ weiterverarbeitet. Die TÜZ in Form eines Rechners ist entweder in einem Freiluftaußenschrank oder in einem Betonschaltheus gemeinsam mit anderen technischen Einrichtungen des Tunnels untergebracht. Sie stellt die Schnittstelle zu den übergeordneten Fernwirkssystemen her, koordiniert den Datenverkehr auf der Busleitung und speichert die Betriebsdaten der TSB. Die TÜZ wird mit AC 230V 50 Hz versorgt und verfügt über eine eigene USV, die die TÜZ bei Netzausfall für 100 h mit Energie versorgen kann. Abbildung 15.10 zeigt das Prinzipschaltbild der TSB.

15.2.3.6 Sonstige elektrische Verbraucher

Weitere Energieverbraucher in Tunneln sind u. a.:

- Telekommunikationsanlagen, wie Fernmelde- und Funkeinrichtungen,
- Einbruch- und Brandmeldeanlagen,
- Fernwirkeinrichtungen, z. B. MAS 90-Übertragungsanlagen,

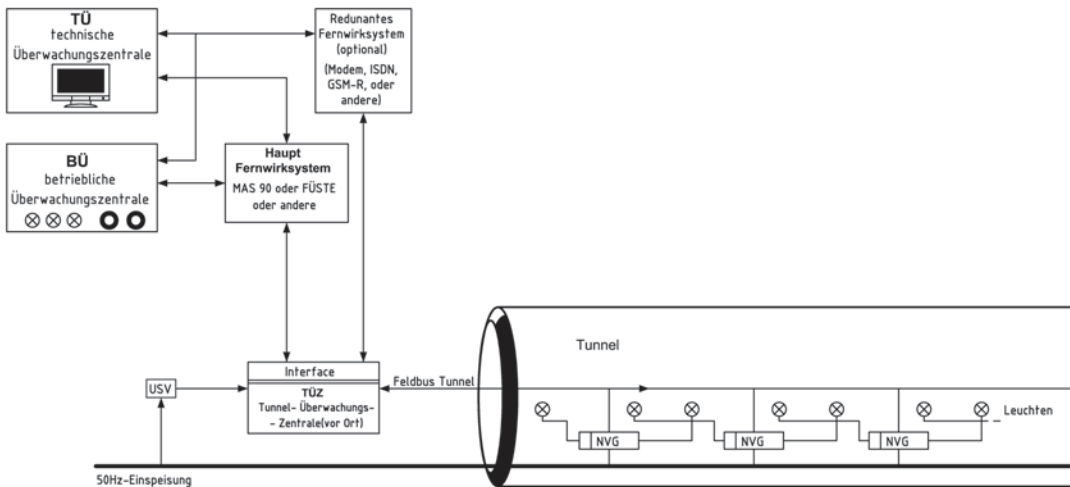


Abb. 15.10 Prinzipschaltbild der TSB

- Entrauchungs- und Entwässerungsanlagen (Pumpenanlagen),
- Aufzüge, ggf. Hubschrauberlandeplatzbeheizung,
- Oberleitungsspannungs-Prüfeinrichtungen (OLSP),
- Ortsteuereinrichtungen (OSE),
- Heißläuferortungsanlagen (HOA/FBOA) (s. Abschn. 15.2.2.2),
- GSM-Repeaterstationen (s. Abschn. 15.2.2.4).

15.2.4 Stellwerke an Strecken

Elektronische Stellwerke (ESTW) werden im Bereich der DB AG verstärkt eingesetzt, da diese Technik die teilweise über 100 Jahre alte, mechanische und elektromechanische Stellwerkstechnik ablöst. Nachfolgend werden ausschließlich ESTW-A, sog. abgesetzte Stellrechner an Hauptbahnen, und ESTW-R, an Nebenbahnen, betrachtet. ESTW Unterzentralen, an die mehrere ESTW-A angeschlossen werden oder ESTW-R Bedienzentralen, befinden sich i. d. R. in Knotenpunkten, wo die Energieversorgung der Infrastruktur häufig auf eigene Verteilernetze abgestützt ist.

ESTW-A und ESTW-R werden entlang der Eisenbahnstrecken zur Steuerung und Anschluss von Signalen, Weichenantrieben und Achszähleinrichtungen eingesetzt. Die maximalen Stellentfernungen (Distanz zwischen ESTW-A und der angeschlossenen Peripherie) und die maximale Distanz zwischen zwei ESTW-A bestimmen u. a. die Aufstellungsorte der ESTW-A. Aufgrund dieser technischen Erfordernisse kann es dazu kommen, dass ein ESTW-A relativ weit entfernt von der Infrastrukturen der öffentlichen Energieversorgung aufgestellt werden muss und eine netzferne Energieversorgung erforderlich wird. Hierbei obliegt es dem Planer, die wirtschaftlichste Lösung zu finden. ESTW-R übernehmen darüber hinaus das Ein- und Ausschalten sowie die Übertragung von Störungs- und Statusmeldungen anderer, nicht zu den LST-Anlagen gehörenden Energieverbraucher, z. B. Bahnsteig- und Verkehrsflächenbeleuchtung, EWHA.

Die Betriebserfordernisse einer Eisenbahnstrecke bestimmen deren Ausrüstung und die Standorte der Signal- und Sicherungstechnik. Dabei können Weichen, Signale und Achszähleinrichtungen nur bis zu einer bestimmten Entfernung vom ESTW abgesetzt angeschlossen werden. Die Stellentfernung schwankt herstellerspezifisch. Als Anhaltspunkt dienen folgende Werte für die maximalen Stellentfernungen (Länge Kabelweg):

- Weichen: ca. 6 km,
- Signale: ca. 8 km,
- Achszähler: ca. 30 km.

Daraus abgeleitet ergäbe sich ein minimaler Abstand von 12 km bei Anschluss von Weichen und 16 km beim Anschluss von Signalen (Blockstelle).

Ein Beispiel der Stromversorgung eines ESTW bzw. einer Blockstelle ohne Ersatznetz mit zusätzlich angeschlossener Bahnübergangssicherungsanlage zeigt Abb. 15.11.

Erforderliche Spannungen für die Versorgung der angeschlossenen Peripherien:

- 1AC 230 V 50 Hz (einphasige Verbraucher),
- 3AC 400/230 V 50 Hz (Weichenantriebe),
- DC 60 V (Relais, Achszähler),
- DC 24 V (Rechentechnikbaugruppen).

Leistungsanforderungen Die Leistungsanforderungen differieren stark nach der Größe des ESTW-A bzw. dem Umfang der angeschlossenen Peripherien (Stelleinheiten), mit zu versorgenden Tk-Anlagen etc. und sonstige betriebswichtige Verbraucher. ESTW-A bzw. ESTW-R an Blockstellen, Überleitverbindungen oder kleinen Unterwegsbahnhöfen haben z. T. Anschlussleistungen < 15 kVA. Dieser Anschlusswert hat hinsichtlich der Auslegung der Energieversorgung der ESTW und der Bestückung mit Pufferbatterien Konsequenzen, die sie von ESTW mit größerer Anschlussleistung unterscheiden und an dieser Stelle erwähnt werden sollen.

Im Gegensatz zu ESTW mit einer Anschlussleistung ≥ 15 kVA können ESTW mit Anschlussleistungen < 15 kVA aus nur einem Energieversorgungsnetz gespeist werden. Generell wird die Anschlussmöglichkeit eines mobilen Netzer-

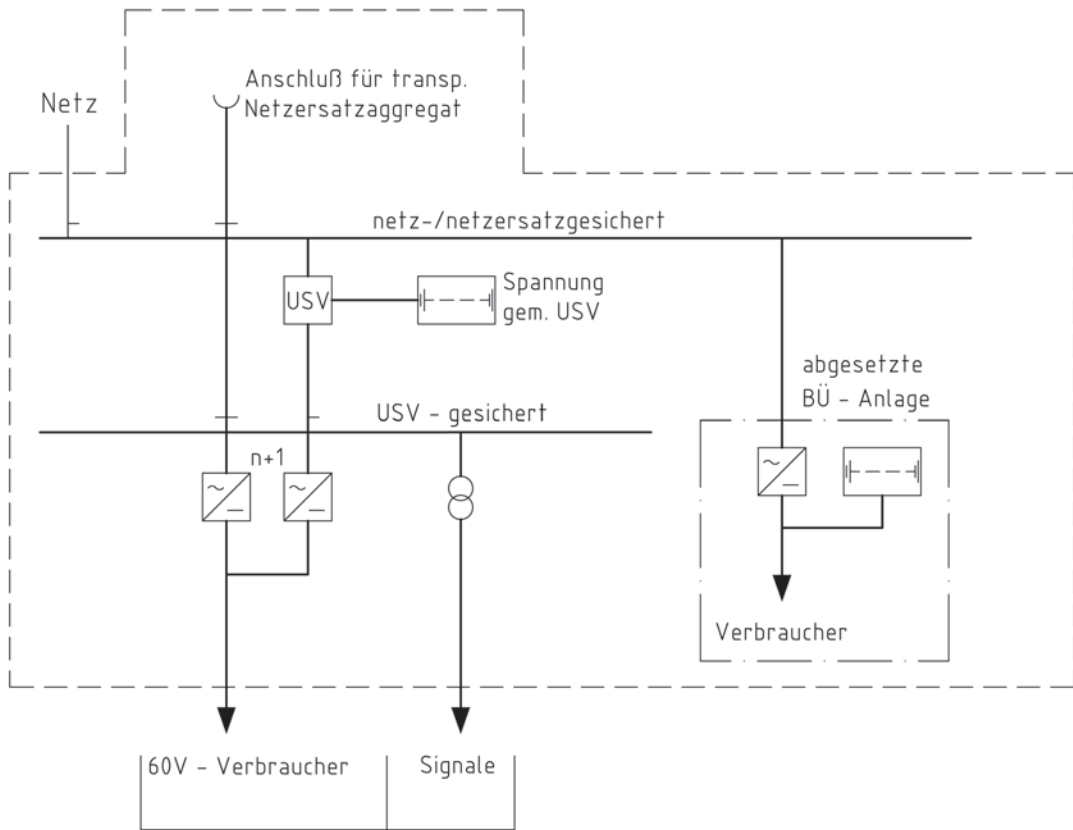


Abb. 15.11 Beispiel der Stromversorgung einer Blockstelle

satzaggregates vorgesehen. Das Versorgungsnetz kann ein bahneigenes Netz oder das eines EVU 3AC 230/400 V 50 Hz sein oder alternativ das Oberleitungsnetz mit 1AC 15 kV 16,7 Hz.

Zur Erhöhung der Versorgungssicherheit bei Speisung aus nur einem Netz wird die Kapazität der Stellwerksbatterien erhöht und beträgt bei Versorgung aus einem 3AC 230/400 V 50 Hz-

Abb. 15.12 Modulgebäude eines ESTW-A



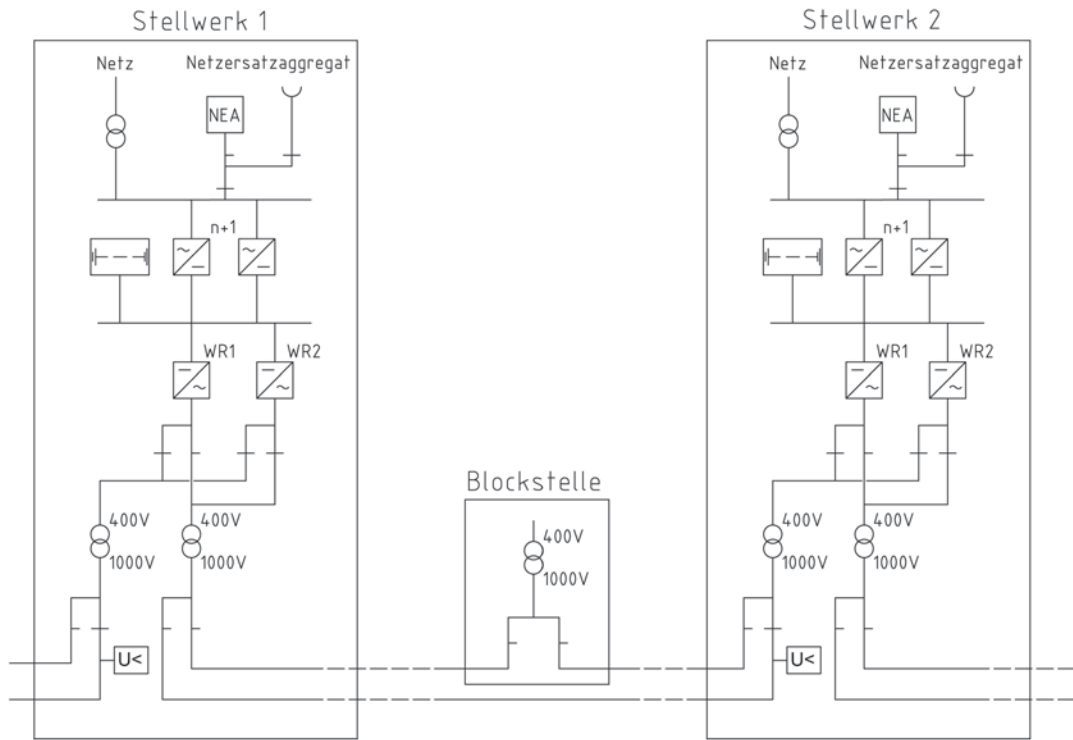


Abb. 15.13 Beispiel der Speisung einer Blockstelle von den benachbarten Stellwerken

Netz 3 h bzw. die Zeit, die benötigt wird, um eine mobiles Netzersatzaggregat bereitzustellen. Werden Telekommunikationsanlagen vom ESTW-A mitversorgt, beträgt die Batteriereservezeit mindestens 4 h. Bei alleiniger Versorgung des ESTW-A aus dem Oberleitungsnetz mit 1AC 15 kV 16,7 Hz wird eine Batteriereservezeit 5 h vorgesehen.

Bei ESTW-R an Nebenbahnen kann die Batteriereservezeit reduziert werden und beträgt bei Volllastbetrieb 15 min und bei reinem Rechnerbetrieb und Aufrechterhaltung der Gleisfreimeldung 1 h.

Abbildung 15.12 zeigt ein Modulgebäude, in dem neben anderen LST-Anlagen ein ESTW-A untergebracht ist.

Alternativ dazu besteht die Möglichkeit, z. B. eine Blockstelle von den benachbarten Stellwerken mit zu versorgen. Abbildung 15.13 zeigt eine Prinzipschaltung.

15.2.5 Bahnhöfe, Haltepunkte an Strecken

In einem Bahnhof können Züge enden, wenden und beginnen. Der einfachste Fall eines Bahnhofes besteht daher aus einer Weiche und zwei Gleisen (siehe § 4 EBO). Bahnhöfe unterscheiden sich zunächst ausgehend von der betrieblichen Infrastrukturplanung in Grundtypen

- nach dem Zweck: Überholungs-, Trennungs- oder Kreuzungsbahnhof,
- nach der Lage: Kopf-, Durchgangs- oder Begegnungsbahnhof,
- nach der Struktur der Gleisanlagen: Linien-, Richtungsbetrieb oder Turmbahnhof.

Hinweise zu Abstellbahnhöfen und Zugbehandlungsanlagen s. Abschn. 15.4.4 und zu Bahnhöfen des Güterverkehrs bzw. Rangierbahnhöfen s. Abschn. 15.4.1.

Maßgebend für die Nutzung eines Bahnhofes im Personenverkehr sind Bahnsteige, obwohl

die Existenz eines Bahnsteigs allein zwar einen Haltepunkt, aber noch keinen Bahnhof begründet. Ein Personenbahnhof ist nach § 2(3c) AEG eine Serviceeinrichtung der Eisenbahn, darunter fallen Bahnhöfe und Haltepunkte.

Für Anlagen des Personenverkehrs wird umgangssprachlich noch häufig das Empfangsgebäude eines Bahnhofs als Bahnhof bezeichnet, ungeachtet der Tatsache, dass Bahnhöfe für den Betrieb kein Empfangsgebäude brauchen. Die ca. 5400 Personenbahnhöfe und Haltepunkte im Netz der DB AG sind in 7 Kategorien strukturiert, für die einheitliche Richtlinienvorgaben gelten.

Je nach Kategorie erhalten Bahnhöfe mindestens folgende Ausstattungsmerkmale:

- Fahrplan,
- Abfallbehälter,
- Namensschild,
- Wegeleitsystem,
- Uhr,
- Sitzgelegenheit,
- Wetterschutz,
- Fahrgastinformationssystem(FIA),
- Bahnsteigabschnittsmarkierungen,
- Service-Mitarbeiter,
- DB-Informationsstand.

Dabei gilt für die in diesem Kapitel beschriebenen Kategorien 6 und 7 nur der Mindeststandard:

- Fahrplan,
- Abfallbehälter,
- Namensschild,
- Wegeleitsystem.

Kategorie 6: Die 2.500 Bahnhöfe und Haltepunkte der zweitniedrigsten Kategorie weisen eine geringe Zahl an Reisenden auf. Sie liegen oft in schwach besiedelten Gegenden oder dienen hauptsächlich dem Berufsverkehr.

Kategorie 7: Zur niedrigsten Bahnhofskategorie gehören etwa 870 Stationen, die sich fast immer in ländlichen Gegenden befinden. Es handelt sich dabei überwiegend um Bedarfshalte auch so genannte „Landhalte“. Sie verfügen häufig über nur eine Bahnsteigkante. Aufgrund der sehr geringen Anzahl an Zughalten und Reisenden ist das Ausstattungsniveau niedrig.

Alle weiteren Kategorien sind in Abschn. 15.3.4 beschrieben. Aufgrund der Erläuterungen ist festzustellen, dass sich die elek-



Abb. 15.14 Beleuchtungsanlage einer oberirdischen Personenverkehrsanlage

trischen Energieanlagen (EEA) im Sinne der Bahnrichtlinien wesentlich beschränken. Das Versorgungsnetz stellt fast ausschließlich ein Niederspannungsnetz (Niederspannungsebene $\leq 1000 \text{ V}/50 \text{ Hz}$) des jeweiligen Versorgungsnetzbetreibers(VNB) dar. Wenn kein Verteilnetz der Bahn vorhanden ist oder aufgebaut wird, können einzelne Verbraucheranlagen direkt eingespeist werden.

Die Verbraucheranlagen beschränkt sich häufig auf die Beleuchtungsanlage, die nach den geltenden Grundsätzen für Beleuchtungsanlagen in Personenverkehrsanlagen zu gestalten sind. Die Nomenklatur für Beleuchtungsanlagen im Freien, nicht überdacht und gleisnah, gilt teilweise noch für die Bahnsteigzugänge und Bahnhofsvorplätze gleisfern. Gleisnah im Sinne dieser Richtlinie ist der unmittelbar an das Gleis grenzende, zu beleuchtende Bereich für den Ein- bzw. Ausstieg von Personen. Abbildung 15.14 zeigt ein Beispiel der Beleuchtungsanlage einer oberirdischen Personenverkehrsanlage außerhalb von Hallen.

Folgende Beleuchtungsarten werden unterschieden:

- Allgemeinbeleuchtung,
- temporäre Beleuchtung,
- Bauphasenbeleuchtung,
- Event- und Architekturbeleuchtung.

Die Anlagen sind überwiegend Einzellichtpunkte auf Eingrab- oder Aufsatzmasten. Die Auswahl der Leuchten erfolgt aus der Leuchtauswahlliste. Die Anlagen sind in hohem Masse standardi-

siert und die Beleuchtung als sicherheitsrelevanter Verbraucher fernüberwacht.

15.3 Stromversorgung von Eisenbahnknoten

15.3.1 Verbraucherstruktur

Vom Grundsatz her finden sich fast alle Verbraucherstrukturen, die bereits im Abschn. 15.2 erläutert wurden, auch in Eisenbahnknoten wieder, allerdings zum Teil in wesentlich komplexerer Ausbildung. Vorteile ergeben sich aus dieser Zentralisierung von Versorgungsleistungen, in dem relativ gesichert Versorgungsnetzbetreiber oder bahneigene Verteilnetze zur Verfügung stehen. Daraus resultierend ergeben sich neue und zum Teil wesentlich anspruchsvollere Anforderungen an die Elektroenergieanlagen (EEA). Insbesondere seien die in den Personenbahnhöfen der Eisenbahnknoten erwähnt.

15.3.2 Netzstruktur

Vom Grundsatz lassen sich die EEA in drei Kategorien unterscheiden:

- Versorgungsnetz,
- Verteilnetz und
- Verbraucheranlagen sowie eisenbahnspezifische Anlagen.

Alle sind einzelnen Betreibern fest zugeordnet.

Das Versorgungsnetz ist dem Verteilnetzbetreiber, d. h. dem vorgelagerten externen VNB, früherer auch unter dem Begriff Energieversorgungsunternehmen (EVU) bekannt, zugeordnet. Das Verteilnetz ist dem Verteilnetzbetreiber der DB AG, z. B. DB Energie, zugeordnet. Die Verbraucheranlagen sowie eisenbahnspezifische Anlagen, wie EWHA, EZVA, NEA aus OL, sind dem Anschlussnehmer zugeordnet. Der jeweilige Betreiber ist für die Anlagen in seinem Zuständigkeitsbereich eigenverantwortlich.

15.3.2.1 Versorgungsnetze

Zum Versorgungsnetz gehören alle Bestandteile der Mittel- und Niederspannungsanlagen bis zur

Übergabestelle, z. B. zwischen VNB und DB Energie. Die Übergabestelle wird i. d. R. vom VNB festgelegt. Wenn örtlich kein bahneigenes Verteilnetz vorhanden ist, können einzelne Verbraucheranlagen direkt aus dem externen Versorgungsnetz eingespeist werden.

15.3.2.2 Verteilnetze

Zum Verteilnetz gehören alle Leitungen und Kabel, Transformatorstationen und zugehörige Schalt- und Verteilungsanlagen der Mittel- und Niederspannungsanlagen zwischen der Übergabestelle vom Versorgungsnetz und der Übergabestelle zur Verbraucheranlage. Jeder Anschluss an das bahneigene Verteilnetz bzw. jede Änderung des Anschlusswertes, auch vorübergehend, ist anzumelden.

Eisenbahninfrastrukturunternehmen (EIU) betreiben zum Teil eigene Verteilnetze. 2008 betrieb die DB Energie 184 Mittelspannungsnetze, vorzugsweise zur Elektroenergieversorgung von Eisenbahnknoten. Innerhalb dieser Mittelspannungsnetze befanden sich insgesamt 1.975 Transformatorstationen mit insgesamt 2.724 Transformatoren, deren installierte Leistung 1.129 MVA betrug. Die Mittelspannungsnetze werden mit den Spannungsebenen 6 kV, 10 kV, 15 kV oder 20 kV betrieben. Die Elektroenergie wurde über 9.501 Mittelspannungsfelder und ca. 4.000 km Mittelspannungskabeltrassen und 11.454 Niederspannungsverteilungen zu den Verbrauchern verteilt. 2008 wurden 53 Mittelspannungsstationen neu errichtet, 30 davon als Ersatzneubau bei ersatzloser Stilllegung (Rückbau) von 21 Stationen.

Niederspannungsverteilstnetze unterschiedlichster Ausprägung gibt es grundsätzlich an jedem Standort einer Eisenbahninfrastrukturanlage. Sie werden mit der Spannungsebene $\leq AC 1000 V$ betrieben.

15.3.2.3 Verbraucheranlagen

Die Verbraucheranlage ist die Gesamtheit aller elektrischen Betriebsmittel hinter der Übergabestelle vom

- Verteilnetz des EIUs oder
- Versorgungsnetz eines externen VNB, sofern eine Direkteinspeisung besteht.

EEA im Sinne der Bahnrichtlinien sind elektrische Anlagen mit Betriebsmitteln zum Erzeugen, Umwandeln, Speichern, Fortleiten, Verteilen und Nutzen (Verbrauchen) von elektrischer Energie. Ausgenommen sind elektrotechnische Anlagen für Bahnstrom und elektrische Anlagen in Eisenbahnfahrzeugen.

Bei der Planung und Errichtung der EEA im Bereich und in der Nähe der Gleisanlagen sind spezifische Vorgaben der DB AG zu beachten. Diese betreffen u. a.:

- Lichtraumprofil und Gleisabstand,
- Kabelverlegung, Kabelquerung,
- Hoch- und Tiefbau,
- Beeinflussungen der Leit- und Sicherungstechnik,
- Beeinflussung der Telekommunikationsanlagen,
- Erdungsanlagen, Potenzialausgleich,
- Rand- und Zwischenwege.

Grundsätzlich sind auf elektrisch betriebenen Eisenbahnstrecken Besonderheiten bei allen EEA zu beachten. Diese sind strukturiert und unterliegen besonderen Anforderungen hinsichtlich Planung, Errichtung und Betrieb.

Die Notwendigkeit des Einsatzes von Ersatzstromversorgung, Sicherheitsstromversorgung bzw. Ersatzbeleuchtung und Notbeleuchtung für Betriebsanlagen der EIU erfolgt auf Grundlage von gesetzlichen Vorgaben oder aus Vorgaben des Betreibers dieser Anlagen. Die Ausführung ist in den jeweiligen Technischen Unterlagen geregelt.

15.3.3 Stellwerke von Eisenbahnknoten

Nachfolgend werden ausschließlich ESTW's mit einer Anschlussleistung ≥ 15 kVA betrachtet. Aufgrund der hohen Anzahl der an ein Knoten-ESTW angeschlossenen Peripherien (Stelleinheiten) und der hohen Dichte von vom ESTW mit zu versorgenden, sonstigen Verbrauchern, z. B. Telekommunikationseinrichtungen (Tk-Anlagen), wird vorgenannte Anschlussleistung von Knoten-ESTW i. d. R. überschritten. Bei den Knoten-ESTW kann es sich um ESTW-A, sog.

abgesetzte Stellrechner, oder um ESTW-UZ, sog. Unterzentralen, handeln. ESTW-UZ sind ESTW, die über einen Notbedienplatz verfügen, der bei unterbrochener Kommunikation zur Betriebszentrale mit Bedienpersonal besetzt werden kann und eine Vor-Ort-Bedienung des Stellbezirks ermöglicht. Analog gilt dies auch für Bedienzentralen von ESTW-R an Nebenbahnen.

Ein Übersichtsschaltbild mit einem Beispiel der Stromversorgung eines ESTW mit USV und Ersatznetz aus der Oberleitung zeigt Abb. 15.15.

Erforderliche Spannungen für die Versorgung der Hilfsbetriebe (auch für Alttechnik) sind:

- 1AC 230 V 50 Hz (einphasige Verbraucher),
- 3AC 400/230 V 50 Hz (Weichenantriebe),
- 3AC 400/230 V 42 Hz (Gleisstromkreise),
- 3AC 400/230 V 100 Hz (Gleisstromkreise),
- DC 60 V (Relais, Achszähler, LZB-Rechner),
- DC 24 V (Rechentechnikbaugruppen).

Leistungsanforderungen Die Leistungsanforderungen differieren stark nach der Größe des ESTW bzw. dem Umfang der angeschlossenen Peripherien, mit zu versorgenden Tk-Anlagen etc. und sonstigen betriebswichtigen Verbrauchern.

- mittleres ESTW (mittlere Bahnhöfe, Abzweigenstellen): um 45 kVA,
 - Knoten ESTW (z. B. Leipzig): 2×120 kVA.
- ESTW werden generell aus zwei Energieversorgungsnetzen gespeist, dem primären Versorgungsnetz, meist ein bahneigenes Netz oder das eines EVU mit 3AC 230/400 V 50 Hz, und einem Ersatznetz, um eine sehr hohe Versorgungssicherheit zu erreichen. Für das Ersatznetz gibt es in Abhängigkeit von den örtlichen Gegebenheiten und der Anschlussleistung des ESTW unterschiedliche Möglichkeiten und Vorgaben, die ihrerseits Auswirkungen auf die erforderliche Kapazität und Art der Pufferbatterien haben.

Eine Anschlussmöglichkeit für ein mobiles, externes Netzersatzaggregat ist für ein ESTW immer vorzusehen. Als Ersatznetz wird vorzugsweise eine Einspeisung aus der Oberleitung verwendet. Die Oberleitungsspannung 1AC 15 kV 16,7 Hz wird über eine Netzersatzanlage (NEA) in 2AC 231 V 16,7 Hz transformiert und zur Energieversorgung des ESTW

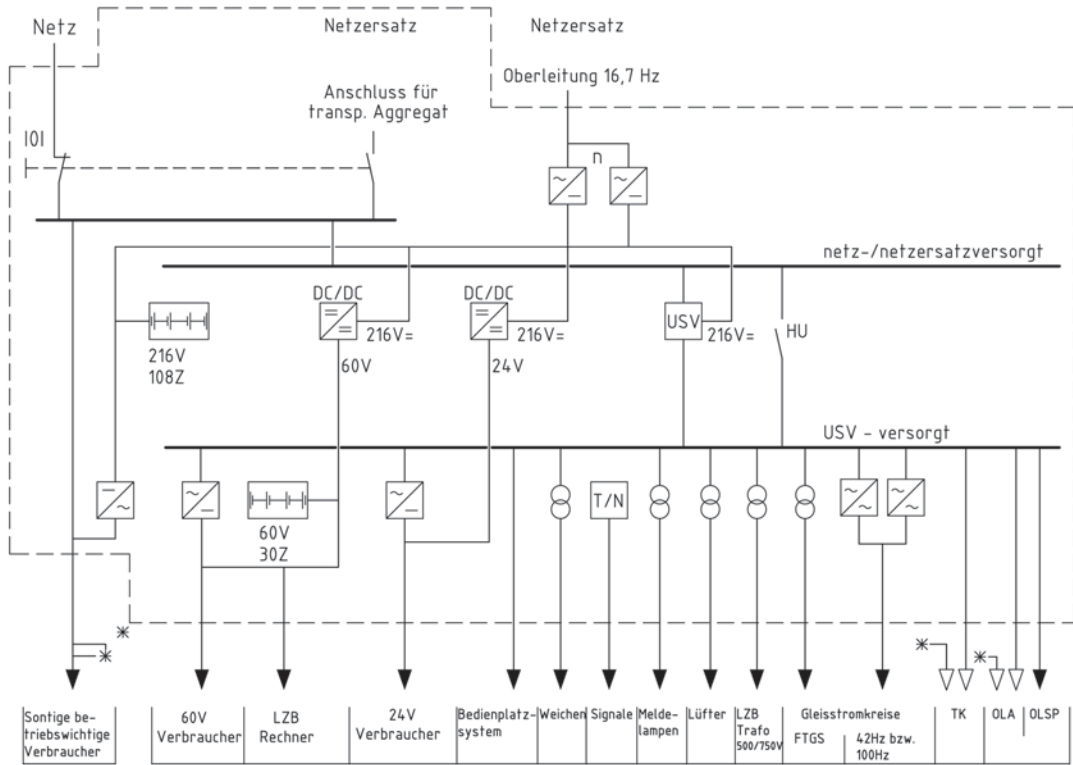


Abb. 15.15 Stromversorgung eines ESTW mit Netzersatz aus der Oberleitung

verwendet (s. Abschn. 15.1.2). Mit diesen 2AC 231 V 16,7 Hz werden entweder die Gleichrichter des stellwerksinternen Gleichstromzwischenkreises oder ein rotierender Umformer gespeist, der seinerseits 3AC 230/400 V 50 Hz erzeugt. Ist der Netzersatz aus der Oberleitung nicht möglich, z. B. an nicht elektrifizierten Strecken, werden ortsfeste, automatisch startende Netzersatzaggregate in Form von Hubkolben-Verbrennungsmotoren mit Generator verwendet, der 3AC 230/400 V 50 Hz erzeugt. Netzersatzaggregate mit Verbrennungsmotor und Generator wie auch rotierende Umformer müssen nach Ausfall des primär versorgenden Netzes automatisch starten und binnen 15 sec die Speisung der Verbraucher übernehmen.

Abbildung 15.16 zeigt das Gebäude eines Knoten-ESTW.

Batterieanlagen in ESTW werden je nach Kapazität vorzugsweise mit DC 60 V (30 Zellen)

oder DC 216 V (108 Zellen) ausgeführt. Der Vorteil der DC 60 V ist die niedrige Spannung, die die Schutzmaßnahmen vereinfacht. Bei großer Batteriekapazität würde dieser Vorteil durch große Leiterquerschnitte kompensiert werden, so dass DC 216 V mit entsprechenden Schutzmaßnahmen vorgesehen wird. Bei ESTW mit stationären Netzersatzaggregaten werden die Batterien für eine Reservezeit von 1 h ausgelegt. Bei Netzersatz aus der Oberleitung beträgt die Batteriereservezeit je nach Priorität des Stellwerks eine 1/2 h bis 3 h. Werden vom ESTW Tk-Anlagen mit versorgt, beträgt die Batteriereservezeit 2 h.

Bei Ausfall des primär versorgenden Netzes kann es zu einer kurzzeitigen Unterbrechung der Energieversorgung der angeschlossenen Verbraucher kommen, die bei einigen Verbrauchern, z. B. computergestützten Anlagen, zu einer längeren, nicht tolerierbaren Funktionsunterbrechung füh-

Abb. 15.16 ESTW-UZ
Leipzig-Ostseite



ren kann. Daher werden die Verbraucher nach der zulässigen Speiselücke unterschieden, und zwar Speiselücke 2 sec, < 1 sec und ohne Speiselücke. Verbraucher mit einer tolerierbaren Speiselücke von 2 sec werden direkt aus dem primär versorgenden Netz oder dem Ersatznetz gespeist. Bei Netzausfall wird ein Wechselrichter zugeschaltet, auf den die Verbraucher umgeschaltet werden (kalte Redundanz). Verbraucher mit einer tolerierbaren Speiselücke von < 1 sec werden direkt aus dem primär versorgenden Netz oder dem Ersatznetz gespeist. Bei Netzausfall werden die Verbraucher auf einen im Stand-by mitlaufenden Wechselrichter umgeschaltet (heiße Redundanz). Alle Verbraucher, die eine Speiselücke nicht tolerieren, werden von verbrauchereigenen USV oder aus der Stellwerksbatterie, direkt oder über DC-DC-Wandler, versorgt.

15.3.4 Bahnhöfe von Eisenbahnknoten

Vom Grundsatz haben die Bahnhöfe in den Eisenbahnknoten ausgehend von ihrer betrieblichen Bedeutung höchste Priorität, z. B. die Bahnhöfe des Personenverkehrs. Im Folgenden soll auf diese komplexe Infrastruktur näher eingegangen werden. In der Nomenklatur der betrieblichen Infrastrukturplanung sind das die Bahnhofarten:

- Knotenpunktbahnhof,
- kleinerer Knotenpunktbahnhof,

- Überholbahnhof und
- Kreuzungsbahnhof.

Bahnhöfe werden auch als Personenverkehrsanlagen (PVA) bezeichnet. Die komplexe Infrastruktur in den Bahnhöfen funktioniert rund um die Uhr. Dazu gehört sämtliche eisenbahnspezifische und sicherheitsrelevante Infrastruktur, z. B. Signale, Weichen, Stellwerke sowie die Gleisfeldbeleuchtung, aber auch die Rolltreppen, Aufzüge und Beleuchtungen. Diese sind jederzeit störungsfrei und zuverlässig mit elektrischer Energie zu versorgen. Es wird darüber hinaus auch zuverlässig die Energieversorgung der externen, gewerbetreibenden Energiekunden in den Bahnhöfen gesichert, egal ob Einzelhandel, Industrie oder Gewerbe und ganz gleich wie die standortspezifischen Anforderungen gestellt werden. Unter Zugrundelegung des öffentlichen Baurechts gelten sie für Neu- oder umfassende Umbauten an Anlagen der Personenbahnhöfe.

Für Baumaßnahmen in Personenbahnhöfen im Transeuropäischen Eisenbahnnetz (TEN), die als erstmalige Inbetriebnahme, Wiederinbetriebnahme, Erneuerung oder Umrüstung nach der Transeuropäischen Interoperabilitätsverordnung (TEIV) einzustufen sind, gelten zusätzlich die nach TEIV gültigen und jeweils anwendbaren Technischen Spezifikationen für Interoperabilität (TSI). Alle Betriebsanlagen und Einrichtungen sind so zu bauen und zu ändern, dass die Einhaltung sowohl der öffentlichen Sicherheit und Ordnung sowie die besonderen Anforderungen,

die aus dem Bahnbetrieb herrühren, gewährleistet sind.

Alle Anlagen sind unter Beachtung betrieblicher Belange so zu planen und zu bauen, dass:

- die Anlagen in das verkehrliche Gesamtkonzept eingebunden sind,
- die Anlagen funktionsgerecht, übersichtlich sowie umwelt- und instandhaltungsfreundlich gestaltet sind,
- die Anlagen in die örtliche städtebauliche, architektonische Gesamtsituation eingebunden und dabei die Belange des örtlichen Umfeldes berücksichtigt sind,
- die Anlagen so angeordnet sind, dass die Anforderung nach der öffentlichen Ordnung und Sicherheit erfüllen,
- die Benutzung der Anlagen durch mobilitätseingeschränkte Personen ohne besondere Erschwernis ermöglicht wird.

Planungen und Arbeiten an den EEA der Personenbahnhöfe mit ihrer Anbindung an den öffentlichen Verkehrsraum sind eine komplexe Aufgabe, bei denen Verantwortliche der Länder und Kommunen, verschiedener Ressorts des Eisenbahnbetriebes, der Sicherheitsbehörden und der Baulastträger zusammenwirken müssen. Der Betreiber der Eisenbahninfrastrukturanlage ist verantwortlich für den Bau und Betrieb der Personenverkehrsanlagen, also für Bahnsteige, Zugangsanlagen und Empfangsgebäude.

Es ist zu unterscheiden zwischen:

- Betriebsanlagen der Eisenbahnen des Bundes (EdB),
- keine Betriebsanlagen der EdB.

Betriebsanlagen der EdB sind:

- Bahnsteige und Bahnsteigzugänge,
- gewidmete Bahnhofsvorplatzflächen,
- Empfangsgebäude, einschließlich Vermarktungsflächen, die primär dem Reisebedarf dienen,
- Service Store DB.

Bahnsteigzugänge sind Verkehrsflächen für Bahnreisende zwischen Bahnsteigen und dem öffentlichen Straßenraum. Sie können im Außenbereich, innerhalb von Bahnhofsgebäuden, innerhalb von unterirdischen Personenbahnhöfen oder im Bereich von Überbauungen von Anlagen liegen.

Keine Betriebsanlagen der EdB sind:

- Vermarktungsflächen, die nicht primär dem Reisebedarf dienen,
- nicht gewidmete Bahnhofsvorplatzflächen.

Wie bereits in Abschn. 15.2.5 erwähnt, erhalten die Bahnhöfe je nach Kategorie mindestens folgende Ausstattungsmerkmale:

Beleuchtung in Personenverkehrsanlagen

| Merkmal | Kategorie | | | | | | |
|----------------------------------|-----------|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Fahrplan | X | X | X | X | X | X | X |
| Abfallbehälter | X | X | X | X | X | X | X |
| Namensschild | X | X | X | X | X | X | X |
| Wegeleitsystem | X | X | X | X | X | X | X |
| Uhr | X | X | X | X | X | | |
| Sitzgelegenheit | X | X | X | X | X | | |
| Wetterschutz | X | X | X | X | | | |
| Fahrgastinformationssystem (FIA) | X | X | X | | | | |
| Bahnsteigabschnittsmarkierungen | X | X | | | | | |
| Service-Mitarbeiter | X | X | | | | | |
| DB Information | X | | | | | | |

- Kategorie 1: Dazu gehören 21 Bahnhöfe, die stark frequentiert und stufenfrei ausgebaut sind. In repräsentativen Gebäuden, die meist im Zentrum der Großstädte liegen, finden Reisende und Besucher sämtliche Dienstleistungen rund um die Bahn. In der Regel sind solche Stationen zugleich auch mit umfassenden Einkaufsmöglichkeiten kombiniert. Zum Teil haben die Bahnhöfe besondere Wartezonen für Kunden erster Klasse und Vielfahrer, die DB Lounges. Die vier größten deutschen Städte Berlin, Hamburg, München und Köln verfügen über mehrere Bahnhöfe dieser höchsten Kategorie.
- Kategorie 2: Die 82 Bahnhöfe dieser Kategorie sind häufig wichtige Zustiege für den Fernverkehr mit Halt von ICE-, InterCity- oder EuroCity-Zügen, also Schnittstellen zu großen Flughäfen oder Hauptbahnhöfen größerer Städte. Alle wichtigen Funktionen und Dienstleistungen im Zusammenhang mit einer Bahnreise sind vorhanden. Die Betreuung der Reisenden

durch Mitarbeiter wird in der Hauptverkehrszeit gewährleistet. Die Ausstattung ist ähnlich wie die für die Bahnhöfe der Kategorie 1.

- Kategorie 3: Das sind die etwa 230 Bahnhöfe, vor allem Hauptbahnhöfe kleiner oder mittelgroßer Städte. Viele dieser Bahnhöfe sind regelmäßige Fernverkehrshalte. Meist gibt es ein Empfangsgebäude mit verschiedenen Einkaufsmöglichkeiten.
- Kategorie 4: Dieser Kategorie werden etwa 600 Bahnhöfe zugeordnet. Die Stationen liegen meist in städtischen Ballungsräumen, weisen i. d. R. eine hohe Dichte an Regionalbahnen oder Regional-Express-Zügen auf und werden vor allem von Pendlern genutzt. An einigen Bahnhöfen der Kategorie 4 halten auch Fernverkehrszüge. Die Ausstattung dieser Bahnhöfe entspricht im Wesentlichen denen der Kategorie 3. Auch S-Bahnhöfe bzw. -Haltepunkte, die in dichtem Takt bedient werden, gehören zu dieser Kategorie.
- Kategorie 5: Die 1.070 Bahnhöfe und Haltepunkte der Kategorie 5 befinden sich oft in kleineren Städten oder es handelt sich um Stadtteilbahnhöfe. Auch sie werden überwiegend von Pendlern genutzt. Weil eher schwach frequentiert, wird auf eine widerstandsfähige Ausstattung geachtet, die Vandalismus unterbinden soll. Diese Bahnhöfe sind der Zugang zum System Bahn und gleichzeitig die Visitenkarte der Städte und Regionen. Daneben sind Bahnhöfe heute ein zentraler Treffpunkt städtischen Lebens mit einem vielfältigen Angebot von Handel und Dienstleistung.
- Kategorie 6 und 7 siehe Abschn. 15.2.5.

15.3.4.1 Beleuchtung in Personenverkehrsanlagen

Den Beleuchtungsanlagen in PVA gilt eine besondere Aufmerksamkeit verbunden mit strengen Richtlinien, strenger Überwachung und vorausgewählten Produkten gemäß den Leuchtauswahllisten der DB AG. Diese Richtlinien beschreiben die Anforderungen an die Innen- und Außenbeleuchtungsanlagen in PVA, die sich in

- gleisnah und
- Vermarktungsbereich unterteilen.

| | Innenraumbeleuchtung | Beleuchtung im Freien | |
|-----------|---|---|--|
| gleisfern | – Treppen, – Fahrtreppen, – Fahrsteige, – Rampen | | |
| | – Empfangshallen, – Warteräume | | – Bahnhofsvorplätze, – Bahnsteigzugänge |
| | – Personenunterführungen, – deren Zu- und Abgänge | – Personenüberführungen, – deren Zu- und Abgänge | – Aussenfassaden |
| gleisnah | – Unterirdische Bahnsteige, – Bahnsteighallen | | – überdachte Bahnsteige – nicht überdachte Bahnsteige |

Gleisnaher Bereich: Gleisnah ist der unmittelbar an das Gleis grenzende, zu beleuchtende Bereich für den Ein- bzw. Ausstieg von Personen.

Vermarktungsbereich: Beleuchtungsanlagen in Vermarktungsbereichen sind entsprechend den anerkannten Regeln der Technik zu planen, zu errichten und zu betreiben. Es muss sichergestellt sein, dass keine unzulässigen Beeinträchtigungen, z. B. Blendwirkungen, des Eisenbahnbetriebs auftreten können.

Es wird zwischen den Beleuchtungsarten:

- Allgemeinbeleuchtung,
- temporäre Beleuchtung,
- Bauphasenbeleuchtung,
- Eventbeleuchtung,
- Architekturbeleuchtung,
- Fassadenbeleuchtung

unterschieden. Je nach Aufgabenstellung gelten als Anforderungen lichttechnische Güteermkmale für gute Sehbedingungen im Bahnbereich, um den Nutzern der PVA Sicherheit, qualitätsgerechten Betrieb sowie die Orientierung und Information zu gewährleisten. Wesentliche zu beachtende Qualitätskriterien sind:

- Leuchtdichteverteilung,
- Beleuchtungsniveau und Gleichmäßigkeit,
- Blendungsbegrenzung,
- Lichtrichtung und Schattigkeit,
- Lichtfarbe und Farbwiedergabe,
- Vermeidung von Signalverfälschungen.

Grundsätzlich sind Beleuchtungsanlagen sicherheitsrelevante Infrastrukturen, die zum Teil der Fernüberwachung und Übertragung von Meldungen an eine ständig besetzte Stelle unterlie-

gen. Die Anlagen werden unter Beachtung der oben genannten Anforderungen realisiert mittels Mastleuchten, Deckenleuchten, Hallenleuchten, Medienträgersysteme und sonstigen Leuchten. Auszuwählen sind die Leuchten für das Portfolio der PVA aus den freigegebenen Leuchtenauswahllisten.

Die Ausführungen gelten ganz allgemein und verbindlich sowohl für oberirdische Personenverkehrsanlagen(OPVA) als auch für unterirdische Personenverkehrsanlagen(UPVA) mit folgenden Besonderheiten:

- UPVA und OPVA in Hallen: Für Bahnsteige in UPVA und in OPVA innerhalb von Bahnsteighallen sind im Brandschutzkonzept (BSK) „Rettungswege“ in Anlehnung an das Hochbaurecht vorzusehen und grundsätzlich entsprechend den anerkannten Regeln der Technik auszustatten. Die ausreichende Kapazität der Rettungswege ist im BSK nachzuweisen. Dazu gehören die Festlegungen zu Notbeleuchtungsanlagen. Vom Grundsatz her ist die Notbeleuchtung gemäß den gesetzlichen Anforderungen und anerkannten Regeln der Technik in Abhängigkeit von den objektbezogenen organisatorischen Festlegungen als Sicherheits- oder Ersatzbeleuchtung auszuführen. Die Sicherheitsbeleuchtung dient im Ereignisfall der Ausleuchtung der Flucht- und Rettungswege bis zum gesicherten Bereich. Die Ersatzbeleuchtung als eine Art der Notbeleuchtung ermöglicht bei Störung der Allgemeinbeleuchtung die Bereitstellung eines Beleuchtungsniveaus zur Weiterführung des Eisenbahnbetriebs. Für unterirdische Personenverkehrsanlagen sind generell Ersatzbeleuchtungsanlagen einzurichten. Die Notwendigkeit einer Ersatzbeleuchtung für oberirdische Personenverkehrsanlagen ist vom Betreiber festzulegen. Ein weiteres Hauptaugenmerk gilt grundsätzlich der gesicherten Stromversorgung der Entrauchungsanlagen. Diese können je nach Detailtopologie der PVA erhebliche Komplexität und Priorität gemäß Rettungskonzept erreichen.
- OPVA außerhalb von Hallen: Für oberirdische Bahnsteige außerhalb von Bahnsteighallen sind „Rettungswegmöglichkeiten“ vorzusehen. Die technischen Ausstattungsvorgaben

für Rettungswege gelten für Rettungswegmöglichkeiten nicht. Es ist grundsätzlich weder eine Rettungswegbeschilderung noch eine Notbeleuchtungsanlage erforderlich. Für Treppenabgänge, Treppenaufgänge oder Rampen sowie Personenunterführungen oder Personenüberführungen können vom Betreiber für die Beleuchtungsplanung ergänzende Festlegungen getroffen werden. Die Kriterien für die im Hochbau üblichen, teilweise umfangreichen Ausstattungen von Rettungswege sind auf Bahnsteige OPVA außerhalb von Bahnsteighallen nicht übertragbar. Daher wird hier der Begriff der Rettungswegmöglichkeiten zur Abgrenzung zum Begriff Rettungsweg aus dem Hochbaurecht verwendet.



Abb. 15.17 Aufzugsanlage in einem Bahnhof, 3AC 230/400 V 50 Hz, ca. 5 kVA



Abb. 15.18 Fahrtrepppe in einem Bahnhof,
3AC 230/400 V 50 Hz, ca. 2–5 kVA



Abb. 15.19 Fahrsteig in einem Bahnhof,
3AC 230/400 V 50 Hz, ca. 2–5 kVA

15.3.4.2 Maschinentechnische Anlagen in PVA

Eine weitere wesentliche Verbrauchergruppe in den PVA stellen die maschinentechnischen Anlagen sowie anderer Anlagen zur Abwicklung des Bahnbetriebs dar. Diese sind wie folgt strukturiert:

- Aufzüge innerhalb und außerhalb von Verkehrsstationen,
- Fahrtreppen und -steige in Verkehrsstationen oder Vermarktungsbereichen,
- Automatikturen,
- Befahranlagen,
- Betriebsräume.

Beispiele für maschinentechnische Anlagen in PVA zeigen die Abb. 15.17, 15.18 und 15.19.

15.4 Sonderanlagen

15.4.1 Zugbildungsanlagen

Zugbildungsanlagen der DB Netz AG sind Drehscheiben für die Warenströme des Güterverkehrs. Der Schienengüterverkehr vollzieht durch geänderten Bedarf hervorgerufen einen Strukturwandel dahingehend, dass heute im Wesentlichen Ganzzug- und Einzelwagenverkehr stattfindet, der wiederum häufig containerbasiert ist. Zugbildungsanlagen sind in Deutschland die ca. 1.750 Betriebsstellen, zu denen alle Zugbildungseinrichtungen wie Rangier- oder Güterbahnhöfe mit den dazugehörigen Ladestellen zählen.



Abb. 15.20 Balkengleisbremse, hydraulisch, mit Hydraulikstation, 100 kVA, 3 AC 400 V 50 Hz

Die im Einzelwagenverkehr beförderten Güterwagen müssen für den Transport zu Zügen zusammengestellt und die Züge wieder zerlegt werden. Dafür müssen alle Einrichtungen der technischen Infrastruktur zur Verfügung stehen.

Im Gegensatz zu Personen- dienen Rangierbahnhöfe nicht als Zugangsstelle zum Eisenbahnnetz, also nicht verkehrlichen, sondern innerhalb des Netzes als Betriebsbahnhöfe des Güterverkehrs betrieblichen Aufgaben. Rangierbahnhöfe sind hinsichtlich der Ausdehnung ihrer Gleisanlagen die größten Bahnhöfe überhaupt.

Abb. 15.21 Schiebebühne, 3 AC 400 V 50 Hz



Aus diesen betrieblichen Zusammenhängen heraus leiten sich die enormen und zum Teil auch sehr komplexen Anforderungen hinsichtlich der Qualität und der Anforderungen an die elektrischen Energieanlagen ab. Das Hauptaugenmerk ist neben der sicheren Stromversorgung für alle Verbraucheranlagen die Qualität der Beleuchtungsanlagen für alle erforderlichen Sehanforderungen unter Eisenbahnbetrieb.

Beispiele der Ausrüstung von Zugbildungsanlagen sind:

- Balkengleisbremsen,
 - Druckluftanlagen, Bremsprobeanlage,
 - Beidrückenanlage,
 - Krananlagen,
 - Seilzuganlagen,
 - Drehscheiben und Schiebebühnen,
- von denen zwei Beispiele in Abb. 15.20 und 15.21 gezeigt werden.

15.4.2 Elektrische Weichenheizanlagen

Alle elektrischen Weichenheizanlagen (EWHA) im gesamten Streckennetz der DB AG sind in der Summe ein nicht zu vernachlässigender Energieverbraucher. Dies betrifft sowohl die installierte Anschlussleistung der EWHA, für die entspre-

chende Netz- und Energieerzeugerkapazitäten vorzuhalten sind, als auch die verbrauchten Energiemengen. 2008 wurden für die EWHA rund 110.000 MWh benötigt, was ca. 6% der Energielieferung der DB Energie an stationäre Anlagen entspricht. Davon waren 77,9% 16,7-Hz-Heizenergie und 22,1% 50-Hz-Heizenergie. Die installierte Anschlussleistung der EWHA berechnet sich aus der Heizstabelleistung. Da EWHA selbsttätig und in Abhängigkeit vom Wettergeschehen in den Heizbetrieb übergehen, zudem während des Heizbetriebs getaktet arbeiten, heizen im gesamten Streckennetz nie alle EWHA gleichzeitig. Dies ist für die Berechnung des Leistungspreises für EWHA mit 16,7-Hz-Heizenergiebezug wichtig. Dazu wird ein Gleichzeitigkeitfaktor verwendet, der durch die Auswertung des deutschlandweiten Wettergeschehens während der zurückliegenden Heizperiode ermittelt wird. Ein typischer Wert für den Gleichzeitigkeitfaktor ist 0,55. Bei deutschlandweiten Dauerfrostwetterlagen ergab sich ein Gleichzeitigkeitfaktor von 0,67.

15.4.2.1 Allgemeiner Aufbau einer EWHA

Um einen reibungslosen Zugverkehr in der kalten Jahreszeit zu gewährleisten, müssen Weichen störungsfrei betätigt werden können. Schneefall, -verwehungen und Eisbildung können dies behindern oder unmöglich machen. Mit elektrischen Weichenheizanlagen (EWHA) werden die beweglichen Teile der Weichen (Weichenzungen, bewegliche Herzstücke, Verschlusskästen) schnee- und eisfrei gehalten.

Elektrische Weichenheizanlagen im Bereich der DB werden nach der technischen Unterlage DS 954.9101 „Elektrische Weichenheizanlagen“ erstellt.

Nachstehende Ausführungen beziehen sich i. d. R. auf elektrische Weichenheizanlagen mit Bezug der Heizenergie aus AC 15 kV 16,7-Hz Oberleitungsnetzen.

Alternativ dazu kann der Bezug der Heizenergie einer elektrischen Weichenheizanlage aus öffentlichen oder bahneigenen 3 AC 400 V 50-Hz-Versorgungsnetzen erfolgen. Diese Form des Heizenergiebezuges wird vor allem bei nicht elektrifizierten Eisenbahnstrecken, DC-Bahnen

und in wirtschaftlich begründeten Fällen auch bei AC-Bahnen angewandt.

Im Nahverkehrsbereich (Straßenbahnen) können Weichenheizungen direkt aus dem DC 750 V bzw. DC 600-V-Oberleitungsnetz versorgt werden.

Eine Weichenheizanlage besteht i. Allg. aus:

- 1) Energieeinspeisung für den Bezug der Heizenergie wahlweise aus:
 - a) Oberleitung AC 15 kV 16,7 Hz über
 - Mastschalter,
 - Kabelendverschluss,
 - Mittelspannungskabel,
 - Transformator AC 15 kV 16,7 Hz auf AC 462 V 16,7 Hz
 - bzw. 2 AC 231 V 16,7 Hz,
 - Kabel zur Niederspannungsverteilung (NS-V),
 - b) DC-Oberleitung über
 - Mastschalter,
 - Kabelendverschluss und
 - Kabel direkt zur Verteilung,
 - c) bahneigenem bzw. öffentlichen 3 AC 400 V 50 Hz-Netz über
 - Kabel direkt zur NS-V.
- 2) Niederspannungsverteilung (NS-V)

Die Heizenergie wird auf die einzelnen Weichen bzw. Heizstäbe verteilt und gesteuert.
- 3) Kabel

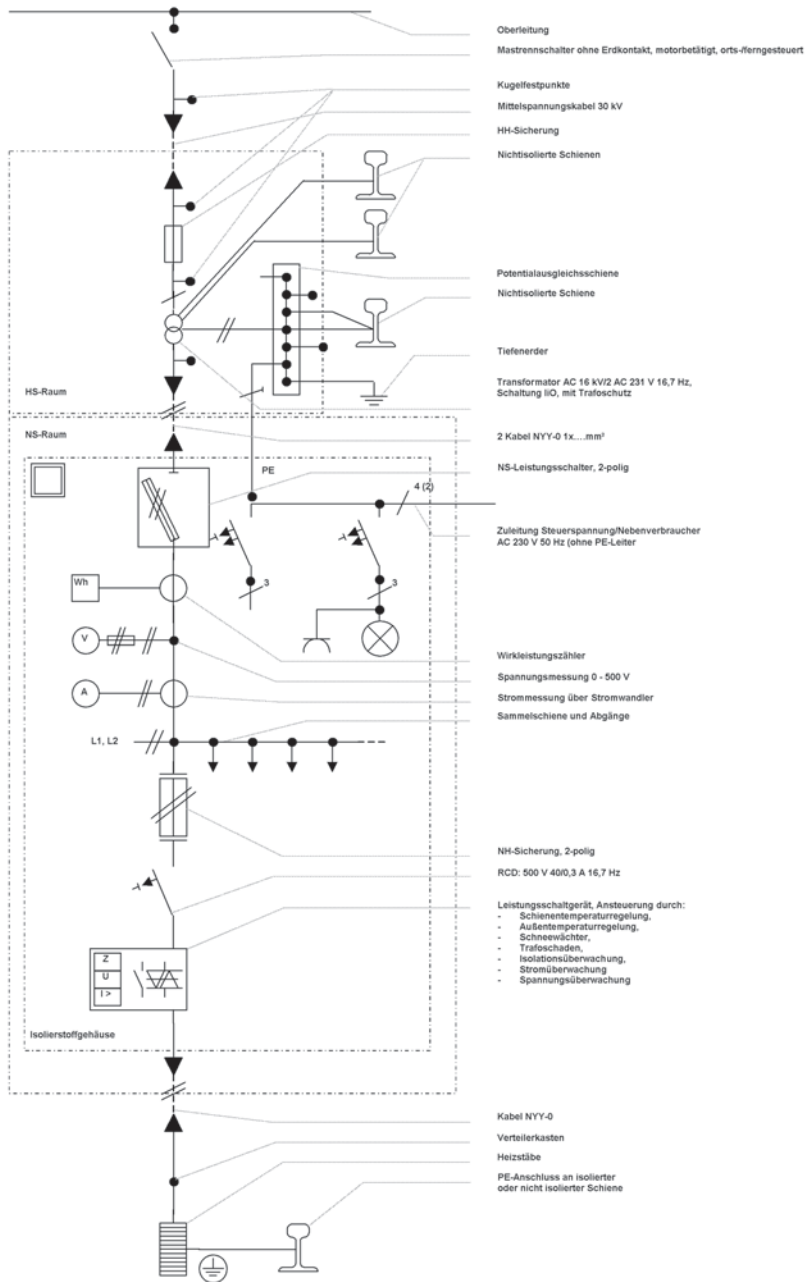
zwischen der NS-V und den Verteilerkästen an den Weichen.
- 4) Heizstäbe

direkt an Backenschienen, Weichenzungen, Herzstücken und in Verschlussfächern angebracht. Die Heizstäbe werden am Verteilerkasten angeschlossen.
- 5) Steuerung

untergebracht in der NS-V, mit Temperatur- und Feuchtigkeitsfühler, für die automatische Steuerung der EWHA.
- 6) Erdung

Die elektrische Schaltung einer EWHA entspricht einem TT-System, d. h. es wird kein Schutzleiter mitgeführt. Alle leitenden Bauteile werden daher in die Schutzmaßnahme Erdung (Anschluss an die Rückleitung) einbezogen.

Abb. 15.22 Allgemeiner Systemaufbau einer elektrischen Weichenheizeanlage am AC 15 kV 16,7 Hz-Netz



15.4.2.2 Energiebezug aus Oberleitungsnetz AC 15 kV 16,7 Hz

Die elektrische Energie zum Betrieb der Weichenheizanlagen wird dem AC-Oberleitungsnetz entnommen.

Die elektrische Weichenheizanlage wird an der Oberleitung über einen Masttrennschalter

mit elektrischem Schalterantrieb angeschlossen. Im Bereich der DB werden die Masttrennschalter ohne Erdkontakt ausgeführt. Die Schalter werden mit W1, W2 usw. bezeichnet.

Die Schnittstelle von Oberleitungs- und Weichenheizanlage bezüglich der Anlagenzuordnung liegt zwischen der Abgangsklemme des Mast-

trennschalters und dem Kabelendverschluss des Speisekabels der Weichenheizung.

Die zum Betrieb der Weichenheizanlage notwendige Niederspannung für die Heizenergie wird mit einem Transformator erzeugt. Die Verteilung und Steuerung der Heizenergie zu den Weichenheizstäben erfolgt in einer Niederspannungsverteilung (NS-V). Zusätzlich ist eine Zuleitung aus einem 50 Hz-Versorgungsnetz zum Betrieb der Weichenheizungssteuerung und von Nebenverbrauchern erforderlich.

Abbildung 15.22 zeigt beispielhaft den allgemeinen Systemaufbau einer elektrischen Weichenheizanlage am AC 15 kV 16,7 Hz Oberleitungsnetz mit Transformator und Niederspannungsverteilung in einer Fertigbetonstation.

15.4.2.3 Energiebezug aus bahneigenem Versorgungsnetz 3 AC 400 V 50 Hz

Bei Vorhandensein eines bahneigenen 3 AC 400 V 50 Hz Versorgungsnetzes können Weichenheizanlagen auch mit 3 AC 400 V 50 Hz betrieben werden. Die 50 Hz-Heizenergie wird einer vorhandenen oder zu erweiternden Transformatorstation entnommen. Die galvanische Trennung der Weichenheizanlage erfolgt über einen Trenntransformator in der Transformatorstation. Von der Transformatorstation wird die 3 AC 400 V 50 Hz Heizenergie über ein Starkstromkabel zur Weichenheizanlage übertragen.

Die Schnittstelle zwischen dem bahneigenen 3 AC 400 V 50 Hz Versorgungsnetz und Weichenheizanlage bezüglich der Anlagenzuordnung liegt projektabhängig

- an der Abgangsklemme des Starkstromkabels zur Weichenheizanlage oder
- an der Eingangsklemme der NS-V der Weichenheizanlage.

Soweit möglich, werden alle standardisierten 16,7 Hz Weichenheizbauteile verwendet. Versorgungskabel, Niederspannungsverteilerschrank sowie Anschlusskasten werden den technischen Erfordernissen angepasst. Bei der Schaltung wird auf eine symmetrische Belastung der Außenleiter geachtet.

Die Schutzmaßnahmen müssen entsprechend Abschn. 15.5.2 ausgeführt werden.

15.4.2.4 Energiebezug aus Versorgungsnetz eines VNB AC 400 V 50 Hz

Falls kein bahneigenes 3 AC 400 V 50 Hz Versorgungs- und kein Oberleitungsnetz vorhanden ist bzw. die Versorgung der Weichenheizanlage aus diesen Netzen nicht zweckmäßig erscheint, können Weichenheizanlagen auch aus einem 3 AC 400 V 50 Hz Netz eines kommerziellen Versorgungsnetzbetreibers (VNB) mit Heizenergie versorgt werden. Die Heizenergie wird einer vorhandenen, zu erweiternden oder neu zu errichtenden Transformatorstation entnommen. Von der Transformatorstation wird die 3 AC 400 V 50 Hz Heizenergie über einen Trenntransformator und ein Starkstromkabel zur Weichenheizanlage übertragen.

Die Schnittstelle zwischen dem 3 AC 400 V 50 Hz Netz des VNB und Weichenheizanlage bezüglich der Anlagenzuordnung liegt am Anschlusskasten der NS-V der Weichenheizanlage mit anschließender Zähl- und Verrechnungseinheit.

Abbildung 15.23 zeigt beispielhaft den prinzipiellen Aufbau einer elektrischen Weichenheizanlage am 3 AC 400 V 50-Hz-Versorgungsnetz.

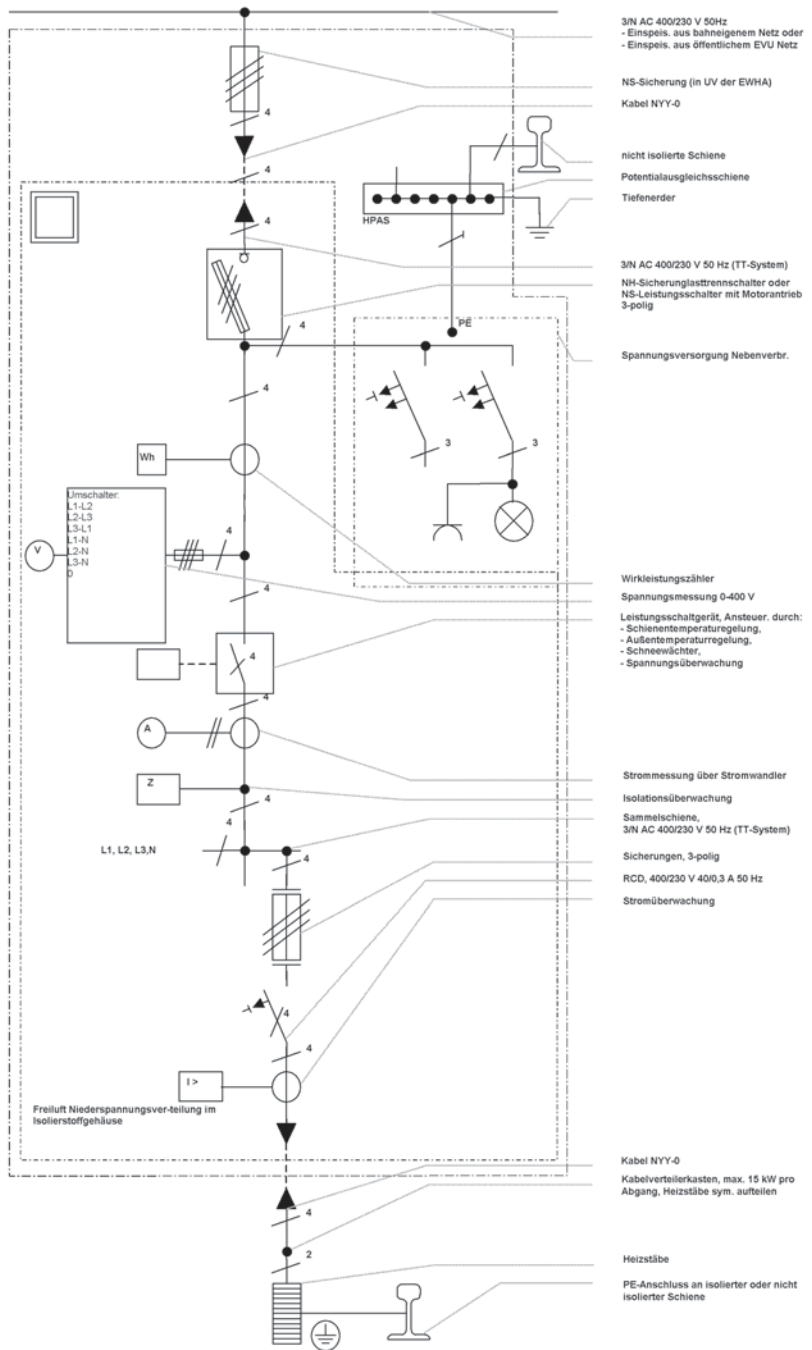
15.4.2.5 Energiebezug aus Oberleitungsnetz DC 750 V oder DC 600 V

Die elektrische Energie zum Betrieb der Weichenheizanlagen wird dem DC 750 V- oder DC 600 V-Oberleitungsnetz entnommen. Die elektrische Weichenheizanlage wird an der Oberleitung über einen Masttrennschalter angeschlossen. Die Steuerung der Weichenheizanlage versorgt die Heizstäbe direkt ohne Änderung der Spannungsebene. Die Hilfsenergie zum Betrieb der Steuerung kann aus der Oberleitungsspannung erzeugt werden.

15.4.3 Zugvorheizanlagen

Elektrische Zugvorheizanlagen (EZVA) sind stationäre Anlagen zur Bereitstellung von Energie zum Zwecke der Vorheizung oder –Klimatisierung und allgemeinen Energieversorgung von

Abb. 15.23 Allgemeiner Systemaufbau einer elektrischen Weichenheizanlage am 3 AC 400 V 50 Hz Netz



abgestellten Reisezugwagen ohne gekuppeltes Triebfahrzeug. Im Jahre 2008 befanden sich im Bestand der DB AG 362 Anlagen mit einer installierten Leistung von ca. 437 MW und insgesamt mit rund 3000 Steuersäulen bzw. Heizanschlüssen.

Alle elektrischen Zugvorheizanlagen im gesamten Streckennetz der DB AG sind ein nicht zu vernachlässigender Energieverbraucher. Dies betrifft sowohl die installierte Anschlussleistung der EZVA, für die entsprechende Netz- und Energieerzeugerkapazitäten vorzuhalten sind, als

auch die verbrauchten Energiemengen. Im Jahre 2008 wurden für die EZVA rund 188.000 MWh benötigt, was ca. 11 % der Energielieferung der DB Energie an stationäre Anlagen entspricht. Davon waren 92 % 16,7 Hz-Heizenergie und 8 % 50 Hz-Heizenergie.

Unabhängig von den vorgenannten Daten geht die Bedeutung der EZVA sukzessive zurück, da der Anteil elektrischer Triebzüge im Fahrzeugbestand stark zunimmt. Diese können sich – abgestellt über den gehobenen Stromabnehmer – selbst mit Energie aus der Oberleitung versorgen und machen EZVA entbehrlich. Dies drückt sich auch darin aus, dass im Bereich der DB AG im Jahre 2008 nur 4 EZVA neu errichtet wurden, 2 davon als Ersatzneubau bei ersatzloser Stilllegung von 4 EZVA.

15.4.3.1 Allgemeiner Aufbau einer EZVA

Reisezugwagen beziehen die Energie zum Heizen, Klimatisieren und zum Betrieb aller sonstigen elektrischen Betriebsmittel, gepuffert durch die Bordbatterie, aus der Zugsammelschiene. Während der Fahrt wird die Zugsammelschiene von der Lokomotive mit Energie versorgt. Zulässige Spannungssysteme auf der Zugsammelschiene sind u. a.:

- AC 1000 V 16,7 Hz,
- AC 1000 V oder 1500 V 50 Hz,
- DC 1500 V oder 3000 V.

Bei abgestellten Reisezugwagen ohne gekuppeltes Triebfahrzeug erfolgt die Energieversorgung über eine elektrische Zugvorheizanlage. Aufgabe der EZVA ist es, Elektroenergie bereitzustellen, um:

- die angeschlossenen Reisezugwagen zur Abzugszeit auf die gewünschte Innenraumtemperatur zu heizen oder in Verbindung mit der internen Klimaanlage der Reisezugwagen zu kühlen,
- eine Innentemperatur von +7 °C während der Standzeit der Reisezugwagen nicht zu unterschreiten,
- die Ladung der Batterien der Reisezugwagen und die Versorgung der an die Zugsammelschiene angeschlossenen sonstigen Betriebsmittel im nötigen Umfang zu gewährleisten

bzw. generell die durchgängige Versorgung mit Elektroenergie sicherzustellen.

Elektrische Zugvorheizanlagen im Bereich der DB werden nach der technischen Unterlage DS 954.9102 „Elektrische Zugvorheizanlagen“ erstellt.

Nachstehende Ausführungen beziehen sich i. d. R auf elektrische Zugvorheizanlagen mit Bezug der Heizenergie aus AC 15 kV 16,7 Hz Oberleitungsnetzen. Alternativ dazu kann der Bezug der Heizenergie einer elektrischen Zugvorheizanlage aus öffentlichen oder bahneigenen 3 AC 400 V 50-Hz-Versorgungsnetzen erfolgen. Diese Form des Heizenergiebezuges wird vor allem bei nicht elektrifizierten Eisenbahnstrecken, DC-Bahnen und in wirtschaftlich begründeten Fällen auch bei AC-Bahnen angewandt.

Eine elektrische Zugvorheizanlage besteht i. Allg. aus:

- Hochspannungsschaltanlage (HS-Schaltanlage),
- Traforaum,
- Niederspannungsschaltanlage (NS-Schaltanlage),
- Außenanlage.

Die Innenraumkomponenten sind in einer Fertigbetonstation mit mehreren Einzelräumen für die jeweiligen Komponenten untergebracht.

- 1) Einspeisung und HS-Schaltanlage für den Bezug der Heizenergie wahlweise aus:
 - a) Oberleitung AC 15 kV 16,7 Hz über
 - Mastschalter,
 - Kabelendverschluss,
 - Mittelspannungskabel,
 - einschaltfester Erdungsschalter,
 - Leistungsschalter,
 - (Lasttrennschalter)
 - b) bahneigenem bzw. öffentlichen 3 AC xx kV 50 Hz-Netz über
 - Mittelspannungskabel von VNB-Übergabestation,
 - einschaltfester Erdungsschalter,
 - Leistungsschalter,
 - (Lasttrennschalter)
- 2) Transformator bei Einspeisung aus:
 - a) Oberleitung AC 15 kV 16,7 Hz
 - 1 oder 2 Transformatoren 800 kVA oder 1250 kVA

- AC 15 kV 16,7 Hz auf AC 1000 V 16,7 Hz
- b) bahneigenem bzw. öffentlichen 3 AC xx kV 50 Hz-Netz über
- 1 oder 2 Transformatoren 630 kVA, 800 kVA oder 1250 kVA
- 3 AC xx kV 16,7 Hz auf AC 1000 V 50 Hz
- 3) Niederspannungsverteilung (NS-V)
- Trennschalter,
 - Sammelschiene(n), bei 50 Hz separate Sammelschienen für L1 und L3,
 - Heizschütz
- 4) Außenanlage, für jeden Heizabgang:
- Kabel (1000 V) NYSY $1 \times 185 \text{ mm}^2$ $\text{rm}/25 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$,
 - Heizleitungsanschlusskasten mit Sollbruchstelle,
 - Heizleitung NSGAFCMöu $1 \times 185 \text{ mm}^2/25 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$,
 - Heizstecker(RIC-Stecker) in Blinddose,
 - Steuersäule mit Steuerkabel
- 5) Steuerung
- Bei der Steuerung einer EZVA muss zwischen der internen Steuerung der Schaltanlage in der Fertigbetonstation und der Steuerung für Bedienhandlungen über die Steuersäulen der Außenanlage unterschieden werden. Die interne Steuerung verarbeitet Messwerte, Meldungen und ankommende Steuersignale von den Steuersäulen der Außenanlage oder abgesetzten Bedientableaus und bildet daraus Steuerbefehle für den Betrieb und Schutz der Anlage, z. B. für Leistungsschalter, Verriegelung von Schalteinrichtungen, Heizschütze und Meldelampen. Außerdem verfügt die interne Steuerung über Funktionen zur Anlagendiagnose sowie Aufzeichnung und Speicherung von Betriebsdaten. An den Steuersäulen der Außenanlage werden Betriebszustände und Störungen der Anlage angezeigt und durch den Bediener Betriebsarten zur Steuerung des einzelnen Heizkreises eingestellt. Dazu zählen Vorheizen mit Zeitvorwahl, Batterieerhaltungsladung, Frostschutz, Klimatisieren. Die Steuerung und Überwachung der EZVA kann alternativ von einer Betriebsleitzentrale erfolgen.

- 6) Erdung
- Die elektrische Schaltung einer EZVA entspricht einem TT-System, d. h. es wird kein Schutzleiter mitgeführt. Alle leitenden Bauteile werden daher in die Schutzmaßnahme Erdung (Anschluss an die Rückleitung) einbezogen.
- 7) Rückstromführung
- Die Rückleitung des Primärstromkreises einer EZVA bei 16,7-Hz-Anlagen wird über 2 Kabel NYY-0 $1 \times 50 \text{ mm}^2$ oder größer mit den nicht isolierten Schienen zweier Gleise verbunden und mit Abdeckblechen gemäß Ebh 165 versehen. Bei 50-Hz-Anlagen stellt der Heiztrafo gleichzeitig den Trenntrafo zum vorgelagerten Netz des VNB dar, so dass keine Verbindung des Primärstromkreises mit Schienen erforderlich ist.

Im Sekundärstromkreis fließt der Rückstrom von den Verbrauchern in den Reisezugwagen über deren Wagenkasten und Achsen zu den Schienen. Besondere Bedeutung für die Rückstromführung der EZVA in teilweise weit verzweigten Gleisanlagen hat die Vermaschung der Schienen untereinander und die Verbindung mit der Rückleitersammelschiene (RSS) der EZVA. Die Vermaschung der nicht isolierten Schienen untereinander erfolgt im Abstand von mindestens 150 m mit Kabel NYY-0 $1 \times 150 \text{ mm}^2$ und unabhängig von der Vermaschung der Rückleitung der Oberleitung. Am Anfang und Ende der Gleisgruppen erfolgt die Vermaschung je nach Trafoleistung mehrfach. Die Rückleitung zwischen der Gleisanlage und der RSS der EZVA wird an den nicht isolierten Schienen zweier Gleise je Gleisgruppe über mindestens 2 Kabel NYY-0 $1 \times 95 \text{ mm}^2$ verbunden. Die Schienenanschlüsse werden mit Abdeckblechen gemäß Ebh 165 versehen.

Abbildung 15.24 zeigt die erforderlichen Kabelverbindungen für Erdung und Rückstromführung einer aus dem AC 15 kV 16,7 Hz-Oberleitungsnetz gespeisten EZVA.

Neben den vorgenannten Hauptkomponenten gehören Schutz- und Messeinrichtungen, Zähl- und Verrechnungseinheiten, Fernwirkkomponenten, Überspannungsschutz sowie die Stationsausrüstung zur Ausstattung einer EZVA.

Rückstromführung und Erdungsmaßnahmen; 16,7-Hz-Anlagen

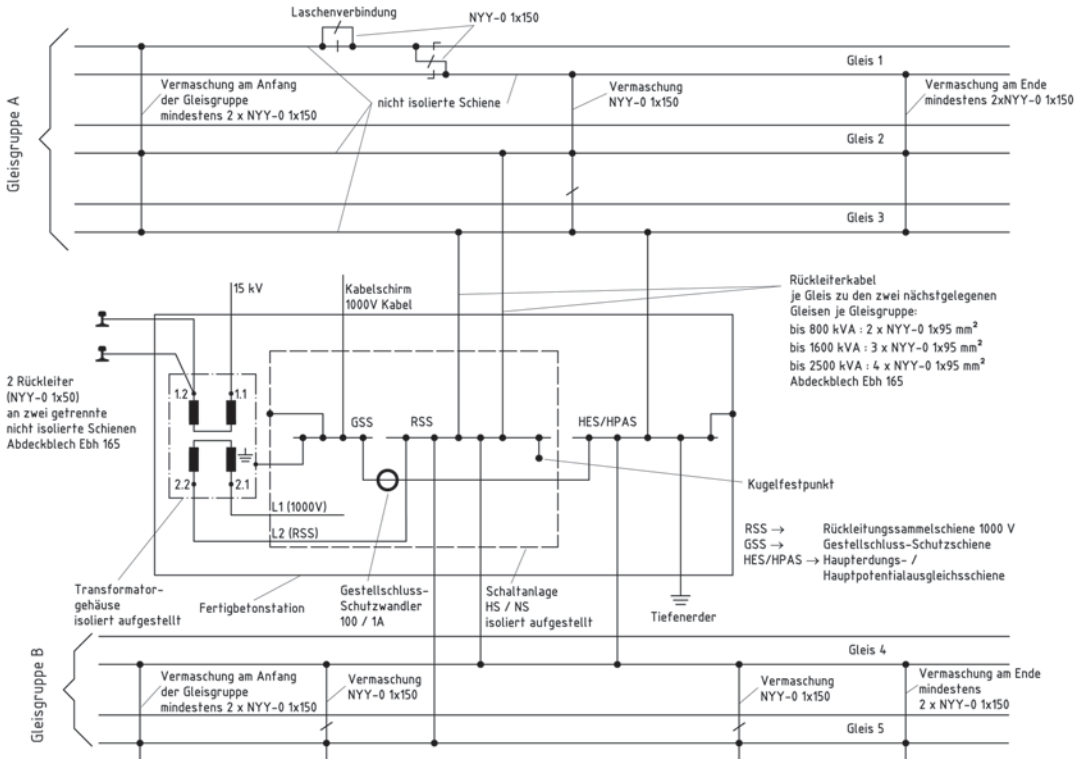


Abb. 15.24 Erdung und Rückstromführung einer aus dem AC 15 kV 16,7-Hz-Oberleitungsnetz gespeisten EZVA

15.4.3.2 Energiebezug aus Oberleitungsnetz AC 15 kV 16,7 Hz

Die elektrische Energie zum Betrieb der EZVA wird dem AC-Oberleitungsnetz entnommen.

Die elektrische EZVA wird an der Oberleitung über einen handbedienten Masttrennschalter angeschlossen. Im Bereich der DB werden die Masttrennschalter ohne Erdkontakt ausgeführt. Die Schalter werden mit Z1, Z2 usw. bezeichnet.

Die Schnittstelle von Oberleitungs- und Zugvorheizanlage bezüglich der Anlagenzuordnung liegt zwischen der Abgangsklemme des Masttrennschalters und dem Kabelendverschluss des Speisekabels der Weichenheizung.

Die zum Betrieb der EZVA notwendige 1000-V-Heizspannung wird mit einem oder zwei, parallel geschalteten Transformatoren erzeugt. Die Verteilung und Steuerung der Heizenergie zu

den Heizleitungsanschlusskästen erfolgt in einer Niederspannungsverteilung (NS-V). Zusätzlich ist eine Zuleitung aus einem 50-Hz-Versorgungsnetz zum Betrieb der EZVA-Steuerung und von Nebenverbrauchern (Eigenbedarf) erforderlich.

Abbildung 15.25 zeigt beispielhaft den allgemeinen Systemaufbau einer elektrischen Zugvorheizanlage am AC 15 kV 16,7-Hz-Oberleitungsnetz mit HS-Schaltanlage, Transformator und Niederspannungsverteilung in einer Fertigbetonstation.

15.4.3.3 Energiebezug aus Versorgungsnetz 3 AC 400 V 50 Hz

Bei Vorhandensein eines bahneigenen 3 AC 50-Hz-Versorgungsnetzes oder dem eines kommerziellen Versorgungsnetzbetreibers (VNB) können EZVA auch mit 3 AC 50 Hz betrieben

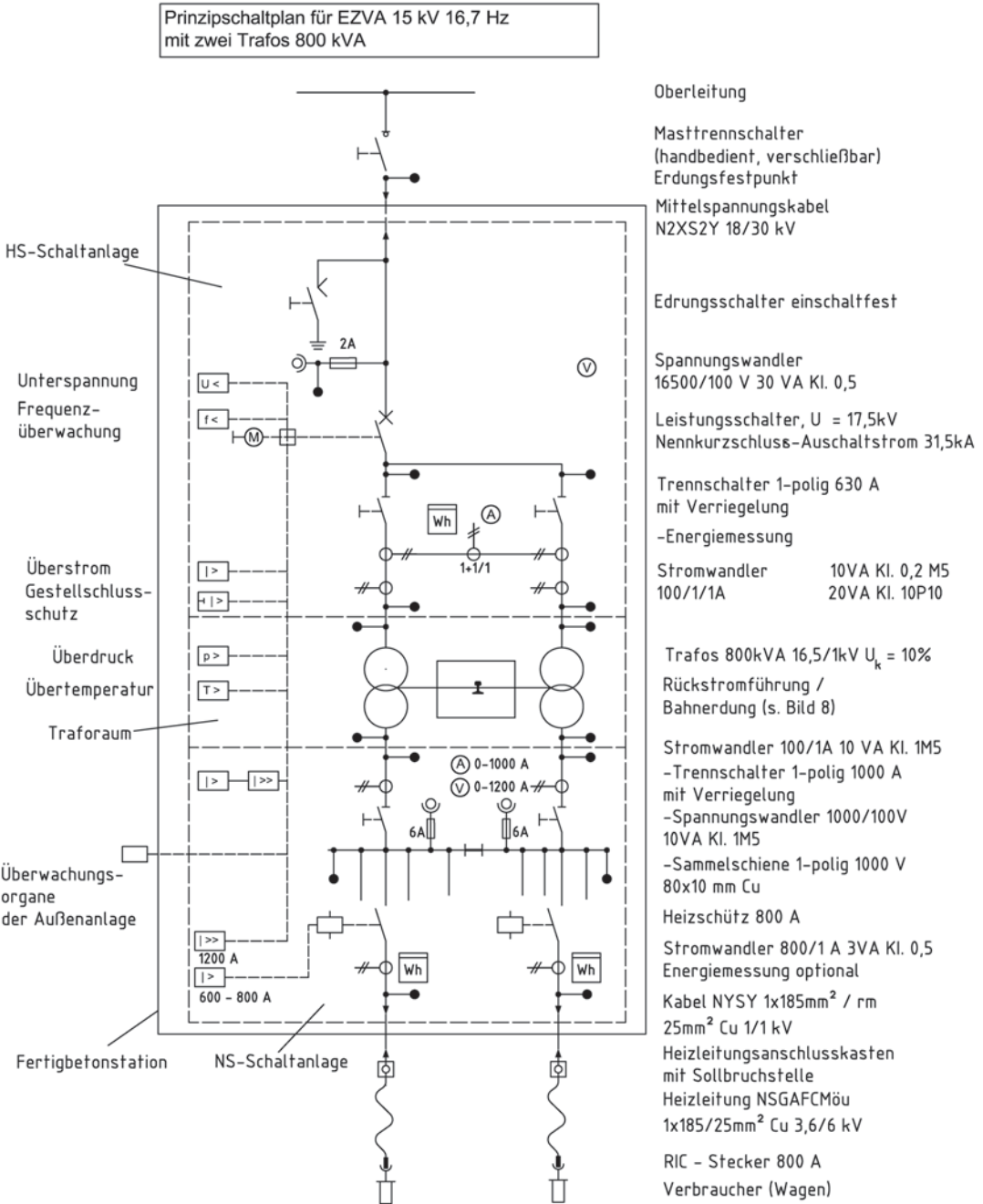


Abb. 15.25 Allgemeiner Systemaufbau einer EZVA am AC 15 kV 16,7-Hz-Netz

werden. Die 50-Hz-Heizenergie wird einem Mittelspannungsnetz, z. B. 20 kV, entnommen. Die galvanische Trennung der EZVA vom Versorgungsnetz erfolgt durch den oder die Transformatoren der EZVA.

Die Schnittstelle zwischen dem 3 AC 50 Hz Versorgungsnetz und EZVA bezüglich der Anlagenzuordnung liegt projektabhängig

Prinzipschaltplan für EZVA 50-Hz-Verteilnetz,
beispielhaft für zwei Trafos 630 kVA, 20 kV

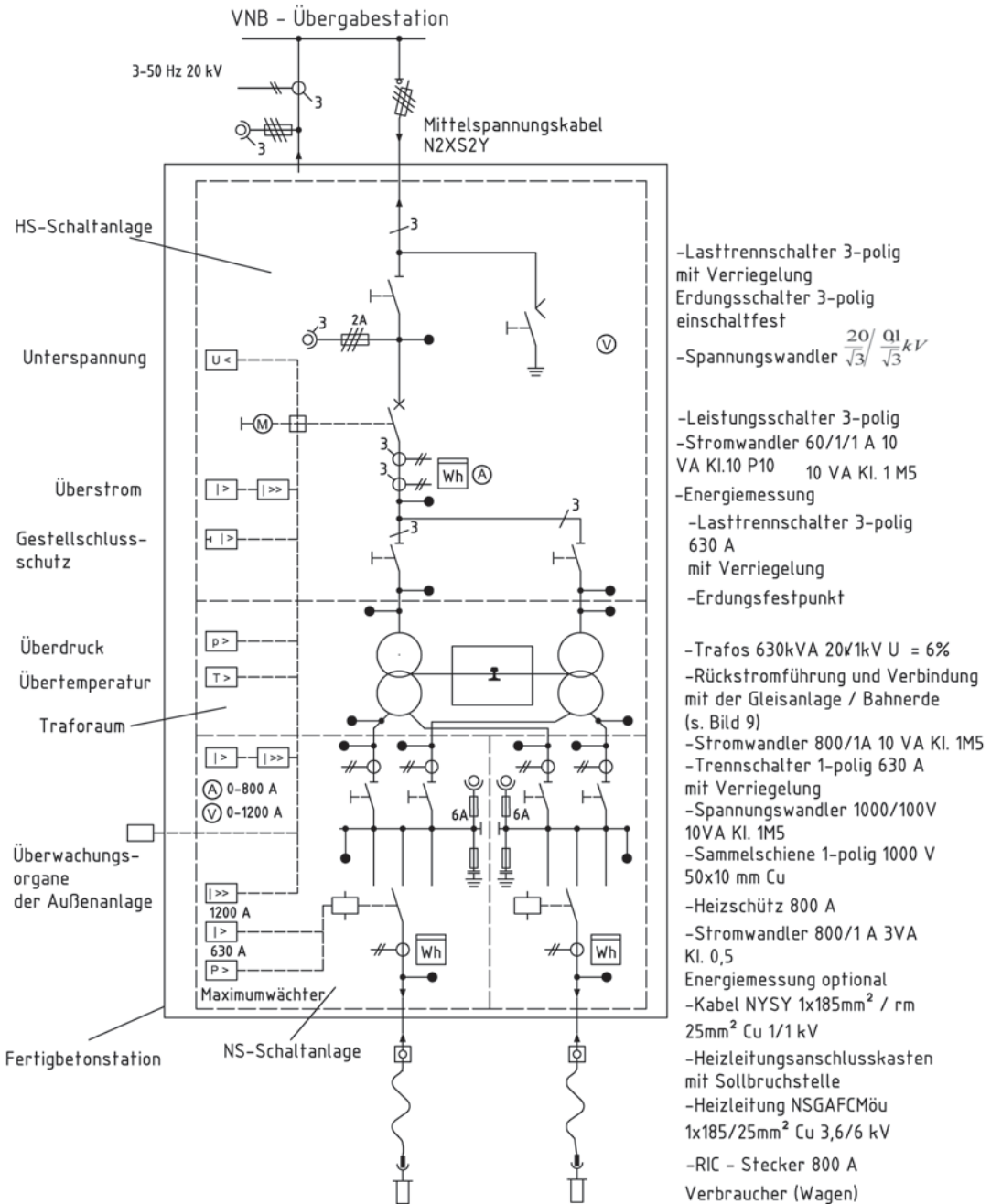


Abb. 26 Allgemeiner Systemaufbau einer EZVA am 3 AC 20 kV 50-Hz-Netz eines VNB

- an der Abgangsklemme des Mittelspannungskabels in der Übergabestation des Versorgungsnetzes des VNB zur EZVA oder
- an der Eingangsklemme der HS-Schaltanlage der EZVA

mit Zähl- und Verrechnungseinheit.

Die 50-Hz-EZVA werden soweit wie möglich nach dem Konzept der 16,7-Hz-EZVA erstellt. Versorgungskabel, Transformatoren, HS- und NS-Schaltanlage werden den technischen Erfordernissen angepasst und mehrpolig ausgeführt. Im Heizbetrieb lässt sich, bedingt durch die einphasigen Verbraucher, eine unsymmetrische Belastung des Versorgungsnetzes nicht vermeiden. Die maximal zulässige Schiefelast im Versorgungsnetz des VNB muss beachtet werden.

Abbildung 15.26 zeigt beispielhaft den prinzipiellen Aufbau einer EZVA am 3 AC 50-Hz-Versorgungsnetz.

15.4.4 Zugbehandlungsanlagen

Moderne Zugbehandlungsanlagen sind für Wartung und Pflege von Personenverkehrszügen mit Einzelwagen als auch für Triebzüge erforderlich. Für die Qualität im Nah- und Fernverkehr sind sie eine wichtige Basis. Jedes Eisenbahnverkehrsunternehmen mit Personenverkehrsaufkommen verfügt über Abstell- und Behandlungsanlagen für Züge.

In den Anlagen werden täglich die Züge, die in einem Knoten beginnen oder enden, zentral abgestellt und behandelt. Von hier aus werden sie gereinigt und technisch geprüft und für den Einsatz vorbereitet. Es werden die Toiletten entleert, die Wassertanks wieder aufgefüllt und Kleinstschäden – sogenannte Komfortschäden – im Zug behoben. Die Graffiti-Entfernung wird vorgenommen und alles unter zeitkritischen Abläufen. Die Anlagen umfassen insgesamt Abstellgleise, Reinigungsbahnsteige, Waschanlagen für die Außenreinigung und andere Serviceeinrichtungen. Abbildung 15.27 zeigt ein Beispiel einer Außenreinigungsanlage. Darüber hinaus sind Nebengebäude für die Mitarbeiter, eine Einsatzzentrale sowie ein elektronisches Rangierstellwerk erforderlich.



Abb. 15.27 Waschanlage für die Außenreinigung

Die Anforderungen an die elektrischen Energieanlagen der Verbraucher sind sehr vielseitig geprägt. Insbesondere auch aus der zunehmenden Internationalisierung des Verkehrs erwachsen daraus neue Aufgaben für die Bereitstellung unterschiedlicher Spannungssysteme schon für Fahrzeugunterhaltung und -wartung.

15.4.5 Werke

Die Werke der Deutschen Bahn liegen zentral im Netz und verfügen über eine gute Anbindung an die Ballungszentren und damit günstige Voraussetzungen für eine schnelle Zuführung der Fahrzeuge. Die Fahrzeuginstandhaltung bietet, verpflichtend aus der Tradition, hohe Standards und exzellente Leistung. Die hoch qualifizierten Spezialisten werden durch modernste Technik und leistungsfähige Spezialanlagen unterstützt. Hier wird konsequent die hochspezialisierte Qualitätssicherung für das rollende Material der DB AG als auch bei einer wachsenden Zahl anderer in- und ausländischer Eisenbahnunternehmen betrieben.

Um die hohen Standards auch in Zukunft zu bestätigen, werden Produktionsabläufe permanent optimiert. Die Werke sind mit Qualitäts- und Umweltmanagementsystemen zertifiziert und besitzen alle erforderlichen fahrzeugspezifischen



Abb. 15.28 Krananlage in einem Instandsetzungswerk der DB AG



Abb. 15.29 Arbeitsgrubenbeleuchtung in einem Instandsetzungswerk der DB AG

Zulassungen. Die werkübergreifenden Strukturen der Organisation und die Konzentration der Kapazitäten führen zu Vorteilen. Die Anforderungen an die Elektrischen Energieanlagen der Verbraucher sind sehr vielseitig geprägt. Einige Standorte verfügen dabei je nach ihrer Spezialisierung über ein enorm umfangreiches Portfolio aller möglichen speziellen Anwendungen. Insbesondere auch aus der zunehmenden Internatio-

nalisation des Verkehrs erwachsen daraus neue Aufgaben für die Bereitstellung unterschiedlicher Spannungssysteme für die durchzuführenden Prüfaufgaben. Die Abb. 15.28 und 15.29 zeigen Beispiele für maschinentechnische und Beleuchtungsanlagen in Werken.

15.4.6 Nebenverbraucher an der Oberleitung

Nebenverbraucher sind alle zur ordnungsgemäßen Aufrechterhaltung des Bahnbetriebes beitragenden Verbraucher, die mit elektrischer Energie aus dem Oberleitungsnetz versorgt werden. Die Nebenverbraucher müssen vom Oberleitungsnetz über Schalter abtrennbar sein. Über nachgeordnete Schutz- und Überwachungseinrichtungen muss sichergestellt werden, dass nach Auftreten von Fehlern im Oberleitungsnetz das Ergebnis der Oberleitungsprüfung nicht verfälscht wird und Störungen an Nebenverbrauchern möglichst keine Auswirkungen auf das Oberleitungsnetz haben. Dieser Anforderung wird i. d. R. entsprochen, in dem die Nebenverbraucheranlagen das Vorhandensein der Oberleitungsspannung überwachen. Fehlt diese, unterbrechen die Nebenverbraucheranlagen die Energieentnahme aus dem Oberleitungsnetz selbsttätig. Kehrt die Oberleitungsspannung wieder, schalten die Nebenverbraucheranlagen zeitverzögert zu.

Typische Nebenverbraucher der Oberleitung sind:

- Elektrische Weichenheizanlagen (EWHA); s. Abschn. 15.4.2,
- Elektrische Zugvorheizanlagen (EZVA); s. Abschn. 15.4.3,
- Netzersatzanlagen (NEA), s. Abschn. 15.1.2.

15.4.7 Alternative Stromversorgungsanlagen

15.4.7.1 Solarenergie

Solare Energie zählt zu den erneuerbaren Energieformen und steht prinzipiell überall auf der Welt zur Verfügung, selbstverständlich auch an Eisenbahnstrecken, die zum überwiegenden

Teil an der Erdoberfläche verlaufen. Die solare Energie kann über marktverfügbare Solargeneratoren direkt in elektrische Energie umgewandelt werden. Vorteil der Solargeneratoren ist es, dass mehrfache, verlustbehaftete Energieumwandlungen wie bei der Umwandlung von thermischer Energie über mechanische Energie in elektrische Energie entfallen. Dies macht Solargeneratoren zu einem technisch einfachen System ohne mechanisch bewegte Bauteile, was sich günstig auf die Kosten auswirkt. Unabhängig davon muss beachtet werden, dass marktverfügbare Solargeneratoren derzeit lediglich einen Wirkungsgrad zwischen 11 und 18 % aufweisen, das heißt, dass nur der vorgenannte Prozentsatz der zur Verfügung stehenden solaren Energie in elektrische Energie umgewandelt werden kann.

Da die solare Energie nicht kontinuierlich zur Verfügung steht, muss diese in Abhängigkeit von den Anforderungen auf der Verbraucherseite gepuffert werden. In Verbindung mit Laderegler und Batterien stehen Solargeneratoren am Markt auch zur netzfernen Stromversorgung zur Verfügung.

15.4.7.2 Windenergie

Die Energie des Windes zählt zu den erneuerbaren Energieformen. Bei Windenergieanlagen wird die Strömungsenergie der bewegten Luft mittels eines Rotors in mechanische Rotationsenergie überführt. Mit Hilfe eines Generators kann die Rotationsenergie in elektrische Energie umgewandelt werden. Windenergieanlagen erreichen einen physikalisch maximal möglichen Wirkungsgrad von 59,3 %. Weitere Verluste der Anlage in Getriebe, Generator und elektrischen System ergeben einen Gesamtwirkungsgrad von 30–45 %.

Aufgrund der diskontinuierlichen Verfügbarkeit der Windenergie ist bei netzunabhängigen Anlagen eine Energiepufferung für die zu versorgenden Verbraucher erforderlich. Hierzu werden zweckmäßigerweise Windenergieanlagen mit Gleichstromausgang verwendet, die über einen Laderegler mit der Batterie des Gesamtsystems verbunden sind. Windenergieanlagen sind bereits ab 0,12 kW verfügbar. Je nach Standort (geeignetes Windrevier) und Dimensionierung der Anlage



Abb. 15.30 Nutzung von Solar- und Windenergie bei der Verkehrsüberwachung

betragen die Gesteungskosten zwischen 0,04 €/kWh und 0,20 €/kWh.

Windenergieanlagen eignen sich besonders in Verbindung mit Photovoltaik-Anlagen, um diese in Schlechtwetterperioden zu unterstützen und zur Stabilität des zu versorgenden Netzes beizutragen, Abb. 15.30.

15.4.7.3 Brennstoffzellen

Bei Brennstoffzellenanlagen wird chemisch gebundene Energie direkt in elektrische Energie umgewandelt. Dieser einzige Energieumwandlungsprozess weist einen potentiell hohen Wirkungsgrad auf. Zum Betrieb der Brennstoffzelle wird Wasserstoff benötigt, der selbst Energieträger und keine Primärenergie ist sowie unter Einsatz von Energie erzeugt werden muss. Nur wenn der Wasserstoff unter Verwendung von erneuerbaren Energien erzeugt wird, ist die Ökobilanz besser, als bei konventionellen Techniken.

In Bezug auf die alternative Hilfsenergieerzeugung bzw. netzferne Energieversorgung ist zu beachten, dass der Energieträger nicht als Primärenergie uneingeschränkt zur Verfügung steht und vor Ort gelagert werden muss. Damit wird die Betriebsdauer u. a. von der gelagerten Brennstoffmenge abhängig ist. Die Lagerung des Brennstoffs kann zum Beispiel in Druckflaschen erfolgen.

Bei Brennstoffzellenanlagen werden unterschiedliche Technologien bezüglich der Energieumwandlung angewandt. Sie unterscheiden sich

u. a. hinsichtlich der Betriebstemperatur, die im Bereich von 300 K bis 2000 K liegen kann. Im Bereich der stationären Brennstoffzellenanlagen reichen die Leistungsklassen von etwa 5 kW bis 100 MW.

Marktverfügbare Systeme sind bisher nicht über das Vorserien-Stadium hinaus gekommen. Das bedeutet nicht, dass Brennstoffzellenanlagen in Zukunft keine breite Anwendung erlangen werden. Dies gilt insbesondere in Verbindung mit der Erzeugung des Brennstoffs aus erneuerbaren Energien. Hier dient der Brennstoff sozusagen als Energiespeicher und –puffer, dessen Funktion sonst von Batterien übernommen wird. Für die netzferne Stromversorgung eignen sich Brennstoffzellenanlagen dann, wenn der Brennstoff vor Ort aus erneuerbaren Energien erzeugt wird. Muss der Brennstoff zum Einsatzort transportiert werden, ist dies die gleiche Verfahrensweise wie bei Netzersatzaggregaten, die mit konventionellen Verbrennungskraftmaschinen angetrieben werden.

15.4.7.4 Geothermie

Als Geothermie wird die durch den geothermischen Gradienten mit der Tiefe ansteigende Temperatur des Bodens/Gesteins bezeichnet. Die saisonal bedingten Temperaturschwankungen der Erdatmosphäre dringen nur bis zu einer geringen Tiefe in den Boden- bzw. Felskörper ein. Ab einer Tiefe von etwa 15 m bleibt die Temperatur konstant und steigt mit zunehmender Tiefe weiter an. Eisenbahnbauwerke stehen, bedingt durch ihre große Längsausdehnung (Tunnel, Bahnhöfe, Dämme), mit einer großen Fläche von Boden- bzw. Felskörper in Berührung. Somit ist der Bodenkörper als Wärmespeicher unter Verwendung einer Wärmepumpe nutzbar. Geothermische Energie zählt zu den erneuerbaren Energieformen. Primär kann geothermische Energie in Verbindung mit einer Wärmepumpe zur Beheizung oder Klimatisierung genutzt werden, da hierbei weitere, den Wirkungsgrad reduzierende Energieumwandlungen entfallen. Geothermie hat vor allem in der Gebäudebeheizung eine beachtliche Verbreitung erlangt. Erste Anlagen zur Beheizung von Weichen zwecks Schnee- und Eisfreihaltung im Winter absolvieren seit mehreren Jahren erfolgreich Erprobungen. Für eine Erzeu-

gung von Elektroenergie ist die oberflächennahe Geothermie nicht wirtschaftlich nutzbar, da die Entzugsleistungen je Meter Bohrtiefe relativ gering sind.

15.5 Schutzmaßnahmen

Oberstes Gebot des Personenschutzes in elektrischen Anlagen ist der Schutz gegen elektrischen Schlag. Durch Schutzvorkehrungen ist zum einen dafür zu sorgen, dass gefährliche aktive Teile nicht berührbar sind und dass andererseits berührbare leitfähige Teile sowohl unter normalen Betriebsbedingungen, wie auch beim Auftreten eines Einzelfehlers nicht zu aktiven Teilen werden können.

Mittels folgender Schutzmaßnahmen kann der Schutz gegen direktes Berühren (Basisschutz) realisiert werden:

- Schutz durch Isolierung von aktiven Teilen,
- Schutz durch Abdeckung oder Umhüllung,
- Schutz durch Hindernisse,
- Schutz durch Abstand.

Der Schutz bei indirektem Berühren (Fehler-schutz) ist gemäß den anerkannten Regeln der Technik durch folgende Schutzmaßnahmen erreichbar:

- Schutz durch automatische Abschaltung der Stromversorgung,
- Schutz durch doppelte oder verstärkte Isolierung (Schutzisolierung) bzw. Verwendung von Betriebsmitteln der Schutzklasse II,
- Schutz durch Schutztrennung,
- Schutz durch nicht leitende Räume,
- Schutz durch erdfreien örtlichen Potentialausgleich.

Erdungsanlagen können für Schutz- und/oder Funktionszwecke verwendet werden. Vorrang haben immer die Festlegungen für Schutzzwecke. Mittels Erdungsleitern werden dafür zuverlässige und korrosionsbeständige Verbindungen zur Erde hergestellt, die Erdfehler- bzw. Schutzleiterströme sicher zur Erde ableiten können. Werden Infrastrukturanlagen der Bahn über das öffentliche Versorgungsnetz eingespeist, könnten Rückströme des Bahnsystems in dieses Netz verschleppt werden und dort zu ungewollten

Beeinflussungen führen. Es könnten dadurch auch Überlastungen von Neutralleitern, Schutzleitern oder PEN-Leitern hervorgerufen werden. Deshalb wird der Anschluss an die Rückleitung, früher unter dem Begriff Bahnerdung bekannt, i. d. R. zu einem separaten (bahninternen) Erdungssystem zusammengeführt und von der Erdung des öffentlichen Energieversorgungsnetzes galvanisch getrennt.

Wegen der Rückleiterfunktion des Bahnerdungssystems ist sowohl bei der Planung von Anlagen im Bahnbereich, wie auch bei Arbeiten an solchen Anlagen ganz besonders auf die Personensicherheit zu achten, da insbesondere durch das Auftrennen von Verbindungen der Betriebserdung gefährliche Berührungsspannungen entstehen können. Durch die in den letzten Jahren gehäuft auftretenden Diebstähle von Kupferkabeln in Bahnanlagen hat sich dieses Gefährdungspotenzial noch vergrößert.

15.5.1 Netzform und Erdung von EWHA

Für elektrische Energieanlagen mit Nennspannungen über 1 kV wird als Schutzmaßnahme bei indirektem Berühren die Schutzerdung nach DIN VDE 0101 bzw. DIN EN 50122-1 angewendet.

Vom speisenden 15-kV-Masttrennschalter der Oberleitung wird ein Mittelspannungskabel zur Betonstation geführt, dessen Querschnitt nach der örtlichen Kurzschlussleistung zu dimensionieren ist. Der Schirm dieses Kabels wird am Mast geerdet, während er in der Station isoliert aufgelegt wird. Durch diese Maßnahme wird erreicht, dass über den Kabelschirm kein anteiliger Rückstrom fließen kann.

In der Station werden eine Haupterdungsschiene (HES) und eine Hauptpotenzialausgleichsschiene (HPAS) gemäß den Richtlinien der DB AG errichtet. Wenn sich beide in einem Raum (Gebäude) befinden, wird i. d. R. eine gemeinsame Schiene (HES/HPAS) errichtet, die über zwei Erdungsleiter zweifach am Gleis geerdet wird (Funktionserdung). Zusätzlich wird die HES/HPAS über einen weiteren Erdungsleiter an einen Tiefenerder angeschlossen, des-

sen Erdübergangswiderstand (R_e) 10Ω nicht überschreiten soll. Dieser dient auch der Stoßableitung von induktiven Einkopplungen in das Schienennetz. Die HES/HPAS wird außerdem mit zwei Erdungsfestpunkten (Kugelfestpunkten) ausgestattet.

Die Primärwicklung des Einphasen-Weichenheiztransformators ($16 \text{ kV}/2 \times 231 \text{ V}$, Schaltgruppe Ii-0) wird über zwei Erdungsleiter direkt an getrennten Anschlusspunkten am Gleis (ohne zweischiene Isolierung) geerdet (Funktionserdung). Eine Kombination mit anderen Erdungsleitungen ist nicht zulässig. Auf diese Weise wird das Fließen des Rückstroms über die Fahrschienen gewährleistet, wobei ggf. zusätzliche Laschenverbinder erforderlich werden können.

Die Sekundärwicklung und das Gehäuse des Transformators werden an die HES/HPAS angeschlossen, die außerdem über Kabel mit dem Anschlusspunkt der inneren Erdung der Betonstation und ggf. mit weiteren metallischen Einrichtungen der Station verbunden wird. Wird die EWHA-Station im Oberleitungsbereich aufgestellt und sind Kurzschlussströme ($I_k^{(c)}$) $> 25 \text{ kA}$ zu erwarten, ist die innere Bauwerkserdung gemäß DB-Richtlinie 997.0205 mit verstärkter Bewehrung auszuführen.

Aus der Sekundärwicklung des Weichenheiztransformators wird die Niederspannungsverteilung (NS-V) der EWHA eingespeist. Diese wird als „Typgeprüfte Schaltgerätekombination“ ausgeführt und muss bei Innenraumaufstellung mindestens die Schutzart IP31 haben. Die NS-V wird als TT-System betrieben. Werden in der NS-V NH-Sicherungslasttrennschalter als erstes Abschaltorgan verwendet, müssen die verteilerinternen Verbindungsleitungen zwischen diesen und der Sammelschiene mit verstärkter Isolierung ausgeführt und besonders sicher verlegt werden. Das entfällt bei Verwendung eines Niederspannungs-Leistungsschalters mit Motorantrieb als erstes Abschaltorgan.

Aus der NS-V erfolgt die Einspeisung der Weichenheizeinrichtungen. Hierfür werden im unmittelbaren Bereich der zu beheizenden Weichen Anschlusskästen montiert, die über Kabel an die NS-V angeschlossen werden und aus denen der Kabelanschluss der Heizstäbe erfolgt. Die Schal-

tung einer 16,7-Hz-EWHA stellt ein Einphasen-Zweileitersystem dar, wobei die Verbraucheranlage im TT-System betrieben wird, d. h. in den Heizstromkreisen wird kein Schutzleiter mitgeführt.

Die Metallkörper der Heizstäbe sind durch ihre Anschlusskopfbefestigungen elektrisch mit dem Gleis (isolierte Schiene) verbunden und besitzen damit deren Potenzial. Heizstäbe an isolierten Schienen müssen dagegen über zusätzliche Impedanzen (Drosseltransformatoren) geerdet werden.

Die Schaltung einer 50-Hz-EWHA stellt ein Dreiphasen-System dar, wobei die Verbraucheranlage auch hier im TT-System betrieben wird. Bei dieser Anlage wird eine HPAS errichtet, die über einen Erdungsleiter am Gleis geerdet wird. Zusätzlich wird die HPAS über einen weiteren Erdungsleiter an einen Tiefenerder angeschlossen.

Aus dem 50 Hz-Niederspannungsnetz der Bahn oder des örtlichen Versorgungsnetzbetreibers wird die NS-V der EWHA eingespeist. Diese wird als „Typgeprüfte Schaltgerätekombination“ in Schutzklasse II ausgeführt und muss bei Außenaufstellung mindestens die Schutzart IP54 besitzen. Die NS-V wird als TT-System betrieben. Von hier erfolgt die Einspeisung der Weichenheizrichtungen ähnlich wie bei den 16,7 Hz-Anlagen, wobei im Dreiphasensystem auf eine gleichmäßige Aufteilung der Heizstäbe auf die drei Außenleiter geachtet wird. Die Heizstäbe sind durch ihre Anschlusskopfbefestigungen elektrisch mit dem Gleis (isolierte Schiene) verbunden und besitzen damit deren Potenzial.

15.5.2 Schutzeinrichtungen der EWHA

An dem Oberleitungsmast, von dem aus die Speisung einer 16,7 Hz-EWHA erfolgt, sind sowohl am Mastfuß wie auch 2 m unterhalb der Schaltertraverse des Masttrennschalters Erdungsfestpunkte (Kugelbolzen) zu montieren. An den aktiven Teilen im Bereich des Mastkopfes (Cu-Schiene, Kabelendverschluss) sind weitere Erdungsfestpunkte anzubringen.

Zum Prüfen der Hochspannung an der 16,7 Hz-EWHA werden bahnzugelassene Span-

nungsprüfer nach DIN EN 61243-1 (VDE 0682-411) verwendet. Zur Sicherung von Arbeiten im Hochspannungsraum der Station und an Hochspannung führenden Anlagenteilen sind handgeführte Erdungseinrichtungen (EuK) zu verwenden. Spannungsprüfer und EuK werden im HS-Raum der Transformatorstation vorgehalten. Für den Schutz des Weichenheiztransformators werden herstellerseitig ein Druckwächter und ein Temperaturwächter eingebaut.

In der NS-V der EWHA ist als Schutzmaßnahme bei indirektem Berühren „Schutz durch automatische Abschaltung der Stromversorgung“ anzuwenden. Als Schutzeinrichtungen können im TT-System Überstrom-Schutzeinrichtungen (z. B. Schmelzsicherungen) und RCDs (Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen) eingesetzt werden. In den Heizstromkreisen der EWHA sind wegen zu langer Auslösezeiten RCDs mit einem Bemessungsdifferenzstrom von 0,3 A oder 0,5 A einzusetzen. Die Technische Spezifikation dieser RCDs hängt davon ab, aus welchem Netz die Heizenergie bezogen wird und um welche Streckenart es sich handelt:

- nicht elektrifiziert oder elektrifiziert,
- elektrifiziert mit DC oder AC,
- Spannung und Frequenz des Bahnstromversorgungssystems.

Für einige in der NS-V enthaltenen Komponenten wird ein Schutzleiteranschluss (PE) benötigt. Dieser PE wird über ein Kabel an der HES/HPAS der Station geerdet. Die NS-V sowie darin enthaltene elektronische Komponenten werden mit geeigneten Ventilableitern vor Überspannungen geschützt.

15.5.3 Besonderheiten bei EWHA

Für den reibungslosen Betrieb ist in Bahnanlagen wichtig, dass die Anlagen der Leit- und Sicherungstechnik (LST-Anlagen) nicht unzulässig beeinflusst werden. Neben Gleisstromkreisen sind hierbei insbesondere solche LST-Anlagen zu beachten, die mit dem Erdungssystem der Starkstromanlagen verbunden sind, sowie Signalleitungen, die parallel zu Starkstromkabeln laufen und die daran angeschlossenen Anlagen.

Im Bahnbereich können u. a. folgende Schutzmaßnahmen zur Reduzierung von induzierten Beeinflussungsspannungen eingesetzt werden:

- Reduzierung der Beeinflussungslängen,
- Verlegung von Kabeln mit Induktionsschutz,
- Einsatz bzw. Einbeziehung von anderen Leitern mit Reduktionswirkung,
- Einsatz von Geräten/Komponenten, welche höhere Beeinflussungsspannungen zulassen.

Erfolgen die Meldungen „Gleis besetzt“ und „Gleis frei“ von Weichen über Gleisstromkreise, wird eine Schiene der Weichen isoliert und eine nicht isoliert ausgeführt. Zwischen den beiden Schienen speist ein Transformator eine Spannung für die Gleisstromkreise ein. Der Widerstand zwischen nicht isolierter (geerdeter) und isolierter Schiene soll kleiner als 10Ω sein.

Bei DC-Bahnen, die über größere Strecken parallel zu einer AC-Bahn verlaufen, können die EWHA der DC-Bahn aus der Oberleitung der AC-Bahn mit Heizenergie versorgt werden. Zur Vermeidung der Verschleppung von Rückströmen der DC-Bahn in das Rückleitungssystem der

AC-Bahn und zur Vermeidung von Streustromkorrosion muss in diesen Fällen ein Kondensator in Reihe in die sekundäre Rückleitung bzw. Funktionserdung des Weichenheiztransformators geschaltet werden. Dieser Kondensator ist mit einem Entladewiderstand zu blocken. Außerdem erfolgt die Speisung der Weichenheizstäbe in solchen Anlagen über Trenntransformatoren.

Im Rahmen der Planung der EWHA wird die Einhaltung der Grenzwerte für Beeinflussungsspannungen auf LST- und Telekommunikationskabeln im Bereich der DB AG nach der Richtlinie 819.0804 überprüft. Werden die Grenzwerte eingehalten, können ungeschirmte Kabel verwendet werden.

Bezüglich des Auflegens und Erdens von Kabelschirmen und -mänteln sind bei der Montage generell die technischen Vorgaben des Lieferanten der EWHA-Steuerung zu befolgen. In der Regel werden Kabelschirme und/oder -mäntel von LST- und Telekommunikationskabeln gemäß DB Richtlinie 819.0805 an beiden Enden mit der Rückleitung verbunden.

Kabel und Leitungen sind langlebige Investitionsgüter, die zur Übertragung von Energie und Signalen die einzelnen Betriebsmittel der elektrischen Bahnanlagen miteinander verbinden. Die Auswahl geeigneter Kabel- und Leitungstypen nach Verwendungsbereich und Einsatzort sowie eine sorgfältige Montage sind für eine hohe Zuverlässigkeit und eine lange technische Lebensdauer von entscheidender Bedeutung. Dieses Kapitel bietet Informationen über Typen und Eigenschaften von Kabeln und Leitungen im Gleisbereich sowie über die damit verbundenen Planungs-, Montage-, Betriebs- und Instandhaltungsprozesse.

Das Wort Kabel stammt aus dem Arabischen und bedeutet Seil oder Tau. Über Seeleute gelangte der Begriff in unseren Sprachschatz.

Die ersten Elektrokabel wurden von Reepschlägern (Seilern) hergestellt. Von ihnen stammen auch die Begriffe Ader, Seele, Schlag und Trosse, die in der Kabeltechnik noch heute verwendet werden.

In Deutschland wurden die ersten behelfsmäßigen Energiekabel der Telegrafentechnik entlehnt und in Berlin vor rd. 125 Jahren für den Betrieb von Bogenlampen zur Straßenbeleuchtung benutzt. Diese Kabel enthielten als Isoliermittel

noch Guttapercha, was bei etwa +45 °C erweichte. Bald darauf wurde eine wärmebeständigere Isolierung aus getränkten Faserstoffen, wie Jute und Hanf entwickelt, die jedoch einen Feuchtigkeitsschutz in Form eines durchgehenden Bleimantels benötigt.

Die Spannungsfestigkeit der Starkstromkabel wurde dann durch geschichtete, ölharzgetränkte Papierisolierungen, wesentlich verbessert. Eine Erhöhung der Nennspannung wurde mit der Erfindung der dielektrischen Verlotung ab 1913 erreicht. Sie bestand aus metallisiertem Papier unter der Aderisolierung, was Schäden durch Teilentladungen an der Grenzfläche zwischen Leiter und Isolierung verhinderte.

In den 30er Jahren hielten schließlich Kunststoffe als Isolier- und Mantelwerkstoffe in die Kabeltechnik Einzug, die zu langlebigen und zuverlässigen Kabel- und Leitungstypen führten. Auf diese modernen kunststoffisolierten Kabel und Leitungen konzentriert sich der nachfolgende Überblick.

16.1 Bauarten und Verwendung

Kabel unterscheiden sich von Leitungen durch ihren Aufbau und ihre Verwendung (Abb. 16.1).

Kabel sind gegen Umgebungseinflüsse besser geschützt und eignen sich für eine feste Installation sowie für Verlegung

- in Luft,
- im Erdreich (auch ungeschützt),
- im Wasser,

R. Baumann (✉)

Berliner Verkehrsbetriebe (BVG), 10179 Berlin, Deutschland

E-Mail: Ralf.Baumann@BVG.DE

A. Boldt

Deutsche Bahn AG, 10245 Berlin, Deutschland

E-Mail: Andreas.Boldt@deutschebahn.com



Abb. 16.1 Installation mit Kabelschellen auf Kabelleitern

- in Kabelkanälen, z. B. Betonkabelkanäle im Gleisbereich,
- in Schutzrohren,
- in Formsteinen,
- in Beton,
- auf Kabelpritschen, Kabelbahnen (Abb. 16.2) oder
- in Kabelrinnen.

Leitungen eignen sich für geschützte Verlegungen und insbesondere für ortsveränderliche Betriebsmittel. Außerdem finden sie Verwendung als Aderleitungen in Steuerungen, Schienenfahrzeugen und in der Bahnstromversorgung, z. B. als Rückleitungsverbinder im Gleisbereich.

Leitungen müssen durch ihre Verlegungsart vor mechanischer, thermischer und chemischer Beschädigung geschützt werden, da derartige Beanspruchungen je nach Intensität eine Schädigung oder auch eine vorzeitige Alterung der Isolier- und Mantelwerkstoffe verursachen.

Die Leiter von Kabeln und Leitungen bestehen aus blankem oder metallumhülltem Zinn oder Zinnlegierung, weichgeglühtem Kupfer oder aus Aluminium bzw. aus Aluminiumlegierungen. Aluminiumleiter haben gegenüber Kupfer bei gleichem Gewicht das 3,3 fache Volumen.



Abb. 16.2 Verlegung auf Kabelbahnen

Der leitwertgleiche Querschnitt beträgt das 1,5 fache im Vergleich zu Kupfer. Das leitwertgleiche Gewicht beträgt nur die Hälfte von Kupfer. Damit sind Kabel mit Aluminiumleiter deutlich leichter.

Gemäß der internationalen Norm, IEC, DIN EN 6228 (VDE Ø295), sind die Nennquerschnitte im Bereich von $0,5 \text{ mm}^2$ bis 2.500 mm^2 für Leiter von Kabeln und isolierten Leitungen (Abb. 16.3) in folgende vier Klassen eingeteilt:

- | | | |
|----------------------------------|---|---|
| – Klasse 1: eindrätige Leiter | } | für Kabel und Leitungen für feste Verlegung |
| – Klasse 2: mehrdrätige Leiter | | |
| – Klasse 5: feindrätige Leiter | } | für flexible Leitungen |
| – Klasse 6: feinstdrätige Leiter | | |

Die Leitergeometrie, die Leiterwiderstände sowie deren Ermittlung sind ebenfalls in der vorgenannten Norm festgelegt.

Die Wahl des Leiterwerkstoffes und des Aufbaus bestimmen auch die Biegebarkeit und die Zugfestigkeit eines Kabels bzw. einer Leitung, Abb. 16.4.

Kupfer verhält sich unproblematisch. Aluminium neigt dagegen zum Kaltfließen bei Druck (z. B. an Verbindungsstellen), zur Bildung nicht-

Abb. 16.3 Anwendung von isolierten Leitungen

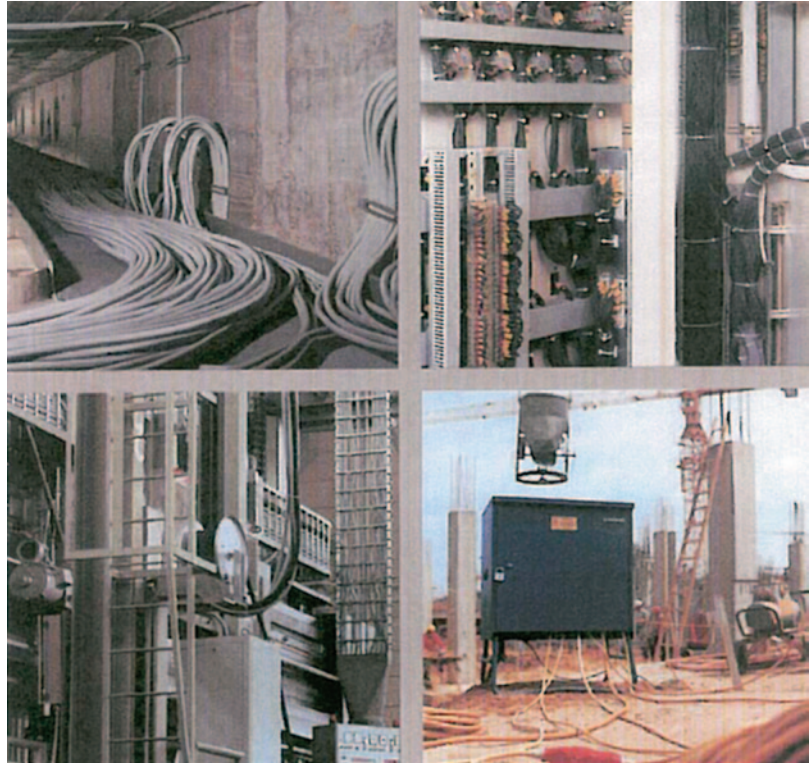


Abb. 16.4 Leiterbauarten



| | RE | RM | RM ver-dichtet | SM | SE |
|----|----------------------------------|----------|----------------|----------------------|----------------------|
| Cu | NS: kleine Querschnitte | NS MS | | NS MS (bis 10 kV) | -- |
| Al | 25 bis 150 mm ² MS | NS MS | | NS MS (bis 10 kV) | NS MS (bis 10 kV) |

NS: Niederspannung
MS: Mittelspannung

RE: rund eindrätig
RM: rund mehrdrätig

SM: sektorförmig mehrdrätig
SE: sektorförmig eindrätig

leitfähiger Oxidschichten und weist einen hohen Wärmeausdehnungskoeffizienten auf.

Als Isoliermaterial werden Polymere, überwiegend Polyvinylchlorid (PVC) und vernetztes Polyethylen (VPE) verwendet. Sie werden nach ihrem physikalischen Verhalten in Thermoplaste, Elastomere und Duroplaste klassifiziert.

Die Verwendung von Polymeren hat für die Kabel- und Leitungstechnik folgende Vorteile:

- schnelle und saubere Montage,
- geringes Gewicht, einfache Verlegung, große Liefer- und Legelängen und geringe Muffenzahl,
- hohe Belastbarkeit, mehr Reserve bei größerer Übertragungsleistung,
- niedrige stromabhängige und dielektrische Verluste,
- Eignung für Gefällestrrecken durch Feststoffdielektrikum,

- hohe Betriebssicherheit, lange Lebensdauer und niedrige Instandhaltungskosten.

Die Höhe der elektrischen Beanspruchung und der Grad der Empfindlichkeit des Isolierwerkstoffes gegen Teilentladungen bestimmen, ab welcher Nennspannung bei den einzelnen Kabelbauarten eine elektrische Schirmung aus metallenen Aufbauelementen erforderlich ist, die dann folgende Funktionen erfüllt:

- Homogenisierung des elektrischen Feldes,
- Potentialsteuerung und Begrenzung des elektrischen Feldes,
- Vermeidung von Teilentladungen an den Oberflächen der Isolierung,
- Fortleitung von Ableit- und Ladeströmen,
- Schutz gegen gefährliche Berührungsspannung (Berührungsschutz).

Üblich ist ein Kupferschirm (Abb. 16.5), dessen Drähte über eine Querleitwendel aus Kupferband miteinander verbunden sind. Gemäß DIN VDE 0276 müssen Kupferschirme folgende geometrische Mindestquerschnitte aufweisen:

| Nennquerschnitt des Leiters (mm ²) | Nennquerschnitt des Schirmes (mm ²) |
|--|---|
| ≤120 | 16 |
| 150...300 | 25 |
| ≥400 | 35 |

Von diesen Mindestquerschnitten kann bei besonderen Anforderungen wie beispielsweise erhöhter Kurzschlussfestigkeit abgewichen werden.

Die äußere Schutzhülle des Kabels bildet der Mantel. Er soll das Kabel gegen mechanische und chemische Einwirkungen von außen schützen.

Mäntel werden als äußere Schutzhülle nahtlos auf die Kabelkonstruktion extrudiert. Sie dienen aber auch als Polster für Bewehrungen und als Korrosionsschutz. In der Regel werden PVC und PE (Polyethylen) als Mantelmaterial wegen folgender Eigenschaften verwendet:

- hohe Zugfestigkeit und Dehnung,
- Druckfestigkeit auch in höheren Temperaturbereichen,
- hohe Beständigkeit gegen Chemikalien,
- gute Gleiteigenschaften bei der Verlegung und
- hohe Alterungsbeständigkeit.

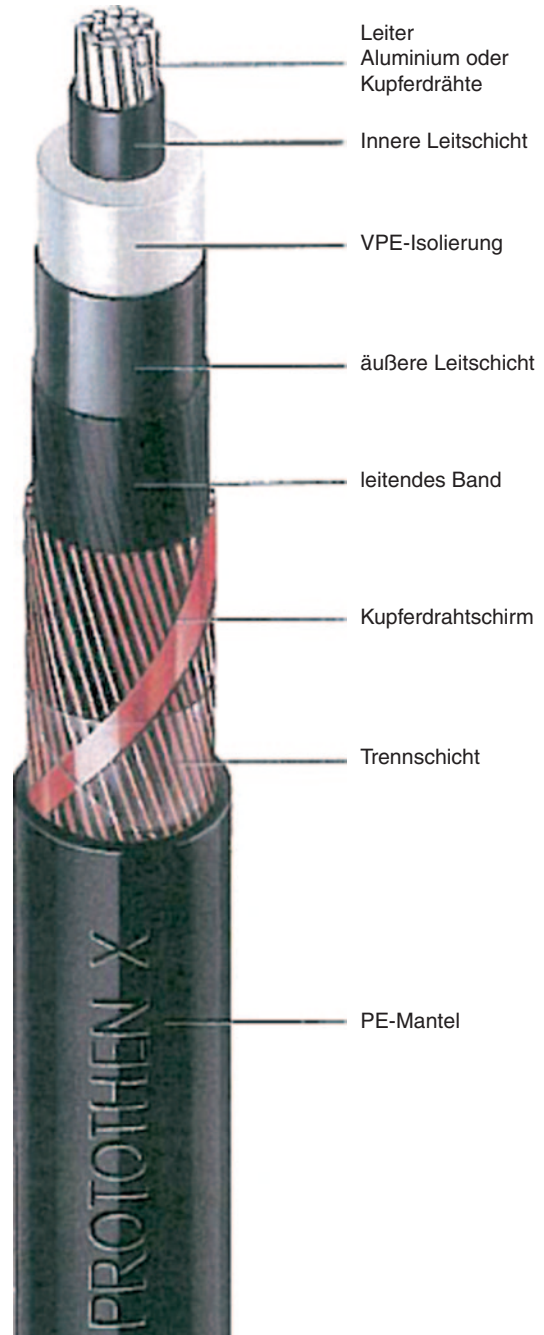


Abb. 16.5 Aufbau eines typischen Mittelspannungseinleiterkabels

Besteht die Gefahr des Eindringens von Wasser, z. B. durch Mantelbeschädigung bei erdverlegten Kabeln, so ist die Verwendung von längswasser-

dichten Kabeln sinnvoll. Die Längswasserdichtung verhindert die Ausbreitung von eingedrun- genem Wasser und begrenzt damit die Schad- stelle auf einen minimalen örtlichen Bereich. Für diesen Zweck wurden quellfähige Bänder unter und/oder über dem Schirm bei der Kabelferti- gung eingebracht.

Liegen Kabel ständig im Wasser (z. B. Grund- wasser oder Staunässe) besteht langfristig die Ge- fahr der Diffusion von Wasser durch den Außen- mantel. Hier ist die Verwendung von längs- und querwasserdichten Kabeln zu empfehlen. Diese Kabel haben zusätzlich zur Längswasserdichtung im Schirmbereich ein überlappendes Aluminium- band unter dem PE-Außenmantel, das mit diesem verklebt ist (Al-PE-Schichtenmantel). Für hoch- flexible Leitungen werden auch Mäntel aus EPR oder anderen synthetischen Kautschukwerkstof- fen verwendet.

16.1.1 Energiekabel und Leitungen

Kabel werden aus folgenden Elementen aufge- baut:

- ein- oder mehrdrähtigen runden oder sektor- förmigen Kupfer oder Aluminiumleitern,
 - einer Leitschicht zur spaltfreien Bindung der Leiterisolation an den Leiter und zur Steue- rung des elektrischen Feldes bei Mittel- und Hochspannungskabeln,
 - der Leiterisolation, die heute in aller Regel aus Kunststoff besteht,
 - einer weiteren Leitschicht, die ebenfalls der Feldsteuerung bei Mittel- und Hochspan- nungskabeln dient,
 - Zwischenlagen aus Spezialpapier- oder Kunst- stoffbänder, die als z. T. leitfähige Polster oder Trennschicht fungieren,
 - metallenen Hüllen, meist als Schirm aus Kup- ferdrähten ausgebildet, für die Feldsteuerung und um insbesondere die im Fehlerfall auftre- tenden Ströme zu den Erdungspunkten ablei- ten zu können,
 - weiteren Bebänderungen als Polster und Trennschicht und
 - dem Außenmantel, der in aller Regel aus widerstandsfähigem Kunststoff besteht.
- Der Kabelaufbau kann durch längs- und quer- wasserdichte Füllungen oder Umhüllungen zwi- schen Schirm und Mantel ergänzt werden.
- Kabel, die erhöhten mechanischen Beanspru- chungen ausgesetzt sind, erhalten, je nach Ver- wendungszweck eine Bewehrung aus verzinkten Stahldrähten, Stahlbändern oder Drahtgeflecht als besonderen mechanischen Schutz über dem Außenmantel.
- Der Aufbau von Kabeln und Leitungen lässt sich leicht aus dem normierten Bauartkennzei- chen ablesen.
- Die wichtigsten Buchstabenkurzzeichen für die normierten Bauartenkennzeichen der Kabel sind:
- Normtyp: N
 - Leiter
 - Kupfer: kein Zeichen
 - Aluminium: A
 - Kabel mit $U_0/U = 0,6/1$ kV, ohne konzentri- schen Leiter,
 - mit grün-gelber Ader: –J
 - ohne grün-gelbe Ader: –O
 - Isolierung
 - PVC: Y
 - VPE: 2X
 - vernetztes halogenfreies Polymer: HX
 - Konzentrischer Leiter aus Kupfer
 - im Längsschlag: C
 - wellenförmig: CW
 - Schirm aus Kupfer
 - bei mehrdrigen Kabeln mit gemeinsamen Schirm: S
 - bei mehrdrigen Kabeln mit Einzelader- schirmen: SE
 - Metallmantel aus Aluminium
 - glatt: KL
 - gewellt: KLD
 - Längswasserdichter Schirmbereich: (F)
 - Innere Schutzhülle
 - PVC: Y
 - PE: 2Y
 - gewickelte Schutzhülle mit eingebetteter
 - Schicht aus Kunststofffolien: E

- Bewehrung
 - Stahlband: B
 - Stahlflachdraht: F
 - Stahlrunddraht: R
 - Stahlband gegen - oder Haltewendel: G
- Äußere Schutzhülle (Mantel)
 - PVC: Y
 - verstärkter PVC-Mantel: YV
 - PE: 2Y

- verstärkter PE-Mantel: 2YV
- Aluminiumband mit PE-Mantel verklebt
AL/PE-Schichtenmantel: FL2Y
- vernetztes, halogenfreies Polymer: HX
- unvernetztes, halogenfreies Polymer: H

Das Bauartenkurzzeichen für das Standard-speisekabel der 15 kV-Bahnenergieleitung nach DIN/VDE 0276-620 und gem. DB-Regelwerk 4 Ebs09.41.11 Blatt 3 lautet:

| | N | 2X | S | 2Y | 1x | 240 | RM / | 50 oder 70 | 18/30 kV |
|--|----------------------|----|---|----|----|-----|------|------------|----------|
| Normtyp | [Step function line] | | | | | | | | |
| Leiterisolation aus VPE | [Step function line] | | | | | | | | |
| Cu-Drahtschirm | [Step function line] | | | | | | | | |
| Mantel aus PE | [Step function line] | | | | | | | | |
| Einleiterkabel | [Step function line] | | | | | | | | |
| Leiterquerschnitt 240 mm ² | [Step function line] | | | | | | | | |
| Rundleiter aus mehrdrätigem Kupfer | [Step function line] | | | | | | | | |
| Gesamtquerschnitt der Schirmdrähte 50 mm ² oder 70 m ² | [Step function line] | | | | | | | | |
| Nennspannung U ₀ /U | [Step function line] | | | | | | | | |

U₀ = Effektivwert der Nennwechselspannung zwischen einem Außenleiter und Erde in nicht isolierender Umgebung.

U = Effektivwert der Nennwechselspannung zwischen zwei Außenleitern

Auf Kabeln mit Kunststoffmänteln finden sich folgende Einprägungen:

- Markenbezeichnung oder Firmenzeichen des Herstellers,

- Herstellungsjahr,
- Bauartkurzzeichen und Nennspannung U,
- VDE-Normenkonformitätszeichen,
- Längenmarkierung für Kabel mit einem Außendurchmesser ab 10 mm.

Beispiel für ein 30-kV-Bahnspisekabel der S-Bahnstromversorgung Berlin:

2010 + AFUMEX N2XS(F)2Y 1 × 185RM
30 kV VDE 0276 250m

Kennzeichen der Bestimmung

Harmonisierte Bestimmung
Anerkannter nationaler Typ

Nennspannung U_n/U

100/100 V
300/300 V
300/500 V
450/750 V

Isolierwerkstoff

Ethylen-Propylen-Kautschuk
Kautschuk, wärmebeständig (110 °C)
Ethylen-Propylen-Kautschuk für 60 °C Betriebstemperatur
Silikonkautschuk
PVC
PVC, wärmebeständig (90 °C)
PVC, kältebeständig (- 25 °C)
PVC, vernetzt
vernetztes Polymer, im Brandfall raucharm und nicht korrosiv

Mantelwerkstoff

Ethylen-Propylen-Kautschuk
Kautschuk, wärmebeständig (110 °C)
Glasfasergeflecht
Chloroprenkautschuk
Polyethylen, chlorsulfoniert oder chloriert
Polyurethan
Ethylen-Propylen-Kautschuk für 60 °C Betriebstemperatur
Textilgeflecht
PVC
PVC, wärmebeständig (90 °C)
PVC, vernetzt
PVC, ölbeständig
vernetztes Polymer, im Brandfall raucharm und nichtkorrosiv

Besonderheiten im Aufbau

Kupfer-Schirmgeflecht über den verseilten Adern
Zugentlastungselement/Tragorgan
Kerneinlauf (kein Tragelement)
flache, aufteilbare Leitung
flache, nicht aufteilbare Leitung
flache PVC-Leitung mit drei oder mehr Adern
zweischichtige, extrudierte Isolierung
gewendelte Leitung

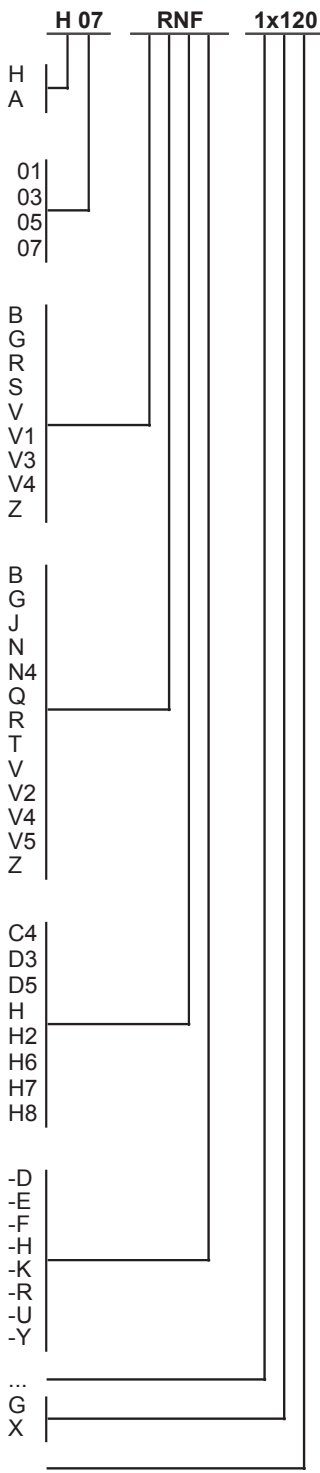
Leiterart

für Schweißleitungen, normale Flexibilität
für Schweißleitungen, besonders hohe Flexibilität
feindrähtig bei flexiblen Leitungen
feinstdrähtig bei flexiblen Leitungen
feindrähtig bei Leitungen für feste Verlegung
mehrdrähtig
eindrähtig
Lahnlitze

Aderzahl

mit Schutzleiter (grün-gelb)
ohne Schutzleiter

Nennquerschnitt des Leiters



16.1.2 Kabel und Leitungen mit verbessertem Verhalten im Brandfall

Die Gefahr von Bränden, ihrer Ausdehnung sowie deren unmittelbare Wirkung auf das Umfeld müssen bei der Auswahl der Kabel- und Leitungstypen und der Art ihrer Verlegung berücksichtigt werden. Dies gilt insbesondere in baulichen Anlagen für Menschenansammlungen und somit auch in Gebäuden, Tunneln und Bahnhöfen des Fern- und Nahverkehrs.

Ein wichtiges Merkmal zur Unterscheidung des Isoliermaterials ist der Gehalt an Halogenen in der Isoliermischung. Die Halogene Chlor, Fluor und Brom sind sog. Salzbildner, die bei Abspaltung unter Flammeneinwirkung und bei gleichzeitiger Feuchtigkeit korrosive Säuren und toxische Stoffe bilden können. Dies spielt beim Verhalten von Kabeln und Leitungen im Brandfall eine wichtige Rolle. Einzelne Kabel und Leitungen mit PVC- und VPE-Isolier- und Mantelmischungen brennen ohne Stützflamme nicht und sind wegen der in ihnen enthaltenen Halogene selbstverlöschend.

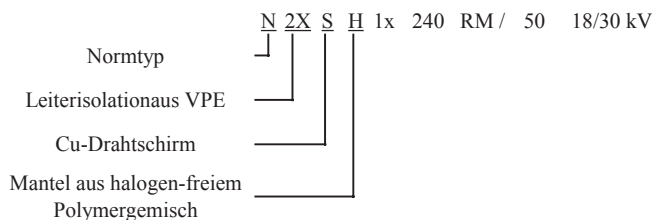
Eine Kabelhäufung durch Parallelverlegung und Bündelung begünstigt jedoch, insbesondere bei senkrechter Anordnung infolge des Kamineffektes, eine rasche Brandausbreitung.

Im Brandfall verqualmt 1 kg PVC rund 500 m³ Rauminhalt mit Rauchgasen von hoher Dichte. Außerdem verbindet sich das freigesetzte Chlor mit der Luftfeuchtigkeit und mit Löschwasser zu gefährlicher korrosiver Salzsäure.

Daher empfiehlt es sich in Gebäuden mit hoher Personen- und Sachwertkonzentration sowie auf Tunnelstrecken, Kabel und Leitungen mit besonderen Eigenschaften im Brandfall zu installieren. Derartige Sonderkabel und Leitungen sind mit halogenfreien Isolier- und Mantelmischungen ausgestattet, die folgende Eigenschaften im Brandfall aufweisen:

- geringe Brandfortleitung,
- geringe Korrosivität der Brandgase,
- geringe Rauchgasdichte,
- geringe Toxizität der Brandgase und
- einen definierten Isolationserhalt bei Flammeneinwirkung.

Ein typisches Mittelspannungskabel für die Fahrstromversorgung, mit derartigen Eigenschaften, trägt das Bauartenkurzzeichen:



Für Kabel mit besonderen Eigenschaften im Brandfall werden folgende Kurzzeichen verwendet:

- FE 180 bedeutet Isolationserhalt ≥ 180 min
- E 30 bedeutet Funktionserhalt ≥ 30 min
- E 90 bedeutet Funktionserhalt ≥ 90 min

Isolationserhalt bedeutet, dass die Funktionsfähigkeit des Kabels bzw. der Leitung für eine Zeitspanne von 30–180 min selbst bei voller Belüftung gesichert ist.

Funktionserhalt bedeutet, dass Kabel- und Leitungsführungen inkl. der Befestigungsele-

mente unter Berücksichtigung der im Brandfall auftretenden Beanspruchungen so beschaffen und installiert sind, dass ihre Funktion für 30–90 min (E30 bzw. E90) selbst bei einem Vollbrand erhalten bleibt.

Kabel mit diesen Eigenschaften sind durch ihre speziell auf den Brandfall und Isolationserhalt ausgerichteten Aufbaumaterialien nicht UV-beständig, nicht wasserdicht und nicht für eine direkte Erdverlegung geeignet.

Insbesondere für Sicherheitsbeleuchtungssysteme auf Tunnelstrecken sind Kabel mit einem

gesicherten Isolationserhalt von 30–180 min empfehlenswert. So ist selbst bei einem Vollbrand die Funktion der Sicherheitsbeleuchtung, bis auf einzelne Leuchtausfälle, gewährleistet und unterstützt damit wirksam die Rettungs- sowie Brandbekämpfungsmaßnahmen.

Weiterführende Maßnahmen des vorbeugenden Brandschutzes an Kabelanlagen, insbesondere Maßnahmen zur Verzögerung bzw. Verhinderung einer unkontrollierten Brandausbreitung, sind zusätzlich auf die Kabel und Leitungen aufgebraute Beschichtungssysteme (Abb. 16.6). Als Beschichtung kommen hier dämmstoffbildende und aplativ wirkende Systeme zum Einsatz, die auf die betreffenden Abschnitte der Kabel und Leitungen im Spritz- oder Streichverfahren auf die Kabel aufgebracht werden können. Dämmstoffbildner sind im Innenbereich (trocken) vorrangig einzusetzen, da die Brandschutzigenschaften bei Feuchtigkeit nicht gewährleistet werden. Aplationsprodukte sind im Außenbereich einsetzbar.

16.1.3 Signal- und Nachrichtenkabel

Für die Streckensignalübertragung und zur Kommunikation werden spezielle Kabel mit klassischen Kupferadern und vermehrt Konstruktionen mit Lichtwellenleitern in der Bahntechnik verwendet. Mit diesen Bahnkabeln lassen sich analoge und digitale Daten mit hohen Übertragungsraten und mit einer hohen Sicherheit sowie Zuverlässigkeit für den Betrieb von Zugsicherungs-, EL/WL- und Uhrenanlagen bis hin zu Zugzielanzeigern übertragen.

Wo viele Schnittstellen benötigt werden, wie z. B. in lokalen Kommunikationsnetzen größerer Bahnhöfe, werden Nachrichtenkabel mit klassischer elektrischer Übertragungstechnik eingesetzt.

Nachrichtenkabel sind durch fortlaufende Einprägung eines Fernsprechhörersymbols in den Kunststoffmantel gekennzeichnet.

Signalkabel weisen eine fortlaufende Einprägung „SIGNAL“ auf ihrer Manteloberfläche auf (Abb. 16.7).

Die wichtigsten Bauartenkurzzeichen von Signal- und Nachrichtenkabeln haben folgende Bedeutung:

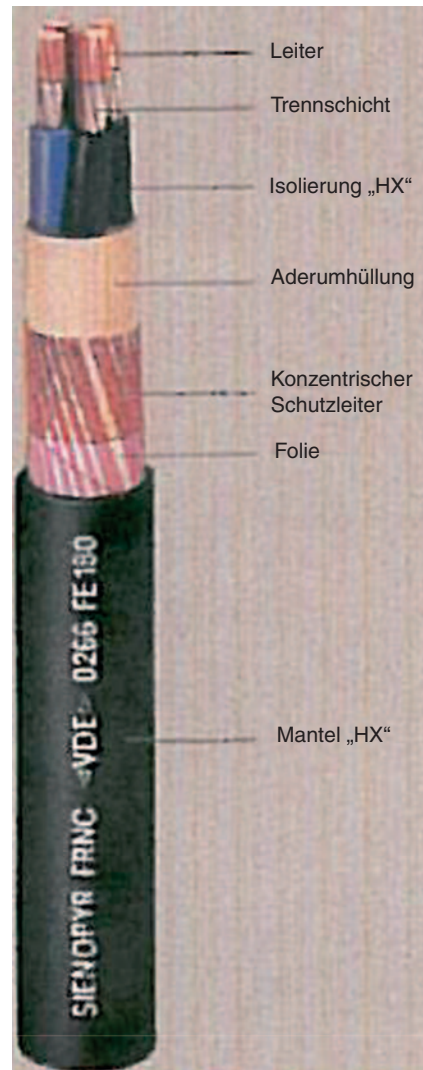


Abb. 16.6 Aufbau eines Energiekabels mit besonderen Eigenschaften im Brandfall

| | |
|---------|--|
| A- | Außenkabel |
| AB- | Außenkabel mit Blitzschutz |
| AJ- | Außenkabel mit Induktionsschutz |
| Y | Schutzhülle aus PVC |
| YV | verstärkte Schutzhülle aus PVC |
| 2Y | Isolierhülle aus PE |
| O2Y | Isolierhülle aus Zell-PE |
| D | konzentrische Lage aus Kupferdrähten |
| (L) 2Y | Schichtenmantel |
| F | Kabelseele mit Petrolatfüllung, längswasserdicht |
| (L) 2 Y | Schichtenmantel, querwasserdicht |

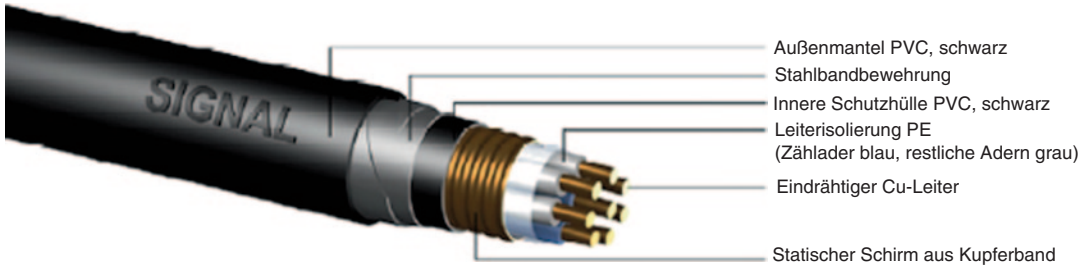
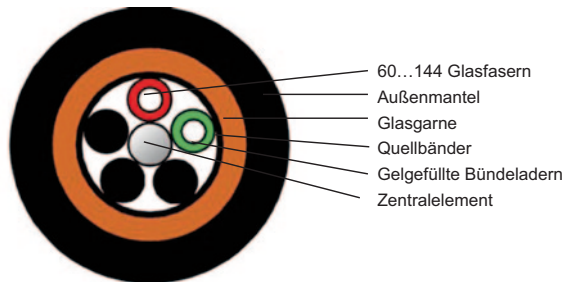


Abb. 16.7 Aufbau eines typischen Bahn-Signalkabels

Abb. 16.8 Querschnitt eines LWL-Außenkabels als Bündelader-Konstruktion



Verwendung: LWL-Außenkabel als Bündelader-Konstruktion mit nichtmetallischem Nageterschutz. Die durch das Quellvlies gewährleistete Längswasserdichtigkeit und der abriebfeste Polyethylen-Außenmantel machen dieses Kabel ideal für den Einzug in Leerrohre und Kabelkanäle. Die über der Kabelseele aufgetragenen Glasgarne gewährleisten neben dem Nageterschutz eine erhöhte Zugentlastung des Kabels. Der PE-Mantel ist halogenfrei, jedoch nicht flammwidrig.

- B Bewehrung
 (Z) Stahldrahtgeflecht über PVC-Innenmantel
 E Masseschicht mit eingebettetem Kunststoffband
 S Signal- und Messkabel
 LG Lagenverseilung

Ein Kurzzeichen-Beispiel für ein bahntypisches Signalkabel mit Voll-PE-Isolierung, innerer Schutzhülle, Bewehrung, äußerer Schutzhülle, 12 Adern mit Cu-Leitern à 1,4 mm Durchmesser und Lagenverseilung lautet demnach:

A-2YYBC12 × 1 × 1,4SLG.

Für die Datenfernübertragung im Streckennetz oder für den Betrieb in Bereichen mit großer elektromagnetischer Beeinflussung eignet sich eher die optoelektronische Technik der Lichtwellenleiterübertragung.

Die Lichtwellenleiter (LWL) zeichnen sich durch eine sehr hohe Datenübertragungskapazität aus und sind unempfindlich gegen elektromagnetische Beeinflussungen.

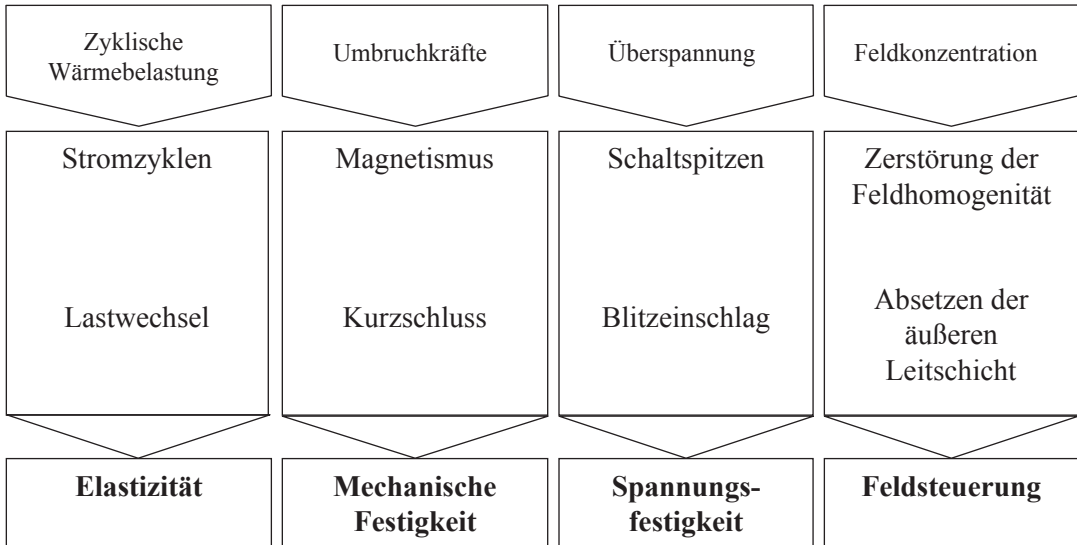
Basiswerkstoff von Glasfaser-LWL ist hochreines Siliziumoxid, das durch Dotierung mit geeigneten Oxiden die gewünschten Eigenschaften der Lichtbrechung bei geringer Dämpfung erhält. Wegen der Empfindlichkeit der Glasfasern gegen mechanische Beanspruchungen sind die einzelnen Fasern entweder mit einer röhrenförmigen Schutzhülle aus Kunststoff zu sog. Hohladern oder als Volladern verarbeitet (Abb. 16.8). Dadurch können mechanische Beanspruchungen nicht unmittelbar auf die Fasern wirken. Um zu verhindern, dass Feuchtigkeit in die Hohlader eindringen kann und bei Kälte entstehendes Eis den LWL schädigt, ist der Hohlraum mit einer neutralen Masse gefüllt.

16.2 Garnituren

Als Garnituren werden Kabelmuffen und Endverschlüsse bezeichnet.

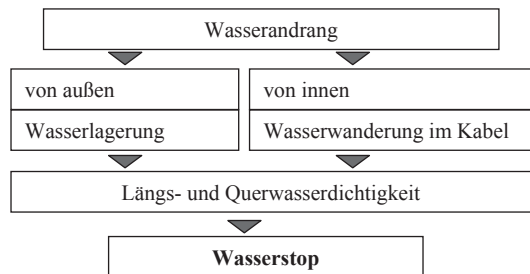
Während Muffen zum Verbinden von Kabeln und Leitungen eingesetzt werden, bilden Endverschlüsse den Abschluss der Kabelenden und dienen dem Anschluss an elektrische Betriebsmittel wie Schaltanlagen und Transformatoren.

Folgende Anforderungen, die aus elektrischen Einwirkungen resultieren, müssen von Garnituren erfüllt werden:



Je nach Art und Spannungsreihe sind folgende Garniturentechnologien gebräuchlich:

- Gießharztechnik,
- Schrumpftechnik,
- Wickeltechnik,
- Aufschiebetechnik,
- Steckertechnik.



16.2.1 Muffen und Verbinder

Kabelmuffen müssen grundsätzlich folgende Anforderungen erfüllen:

- Verbinden der Leiter,
- Verbinden des Schirmes,
- Steuern des elektrischen Feldes,
- Isolieren der Leiter,
- Wiederaufbau der abgesetzten Kabelelemente,
- Schutz der Kabelverbindung vor Feuchtigkeit,
- Schutz der Verbindungsstelle vor thermischen und mechanischen Beanspruchungen.

Die Verbindung der Leiter wird meistens mit Press- oder Schraubverbindern hergestellt.

Die gebräuchlichen Pressarten sind in Abb. 16.9 aufgeführt.

Zum Durchverbinden des Schirmes werden an den Übergangsstellen auch Rollfedern verwendet. Bei Mittelspannungskabeln wird der Schirm als Zopf ausgebildet.

Für Aluminiumleiter und Adern von Signal-, Steuer- und Nachrichtenkabel sind daneben spezielle Lötverbindungen gebräuchlich.

Wegen einfacher Montage, geringer Abmessungen, guter Dichteigenschaften, einfacher



Abb. 16.9 Pressarten für Leiterverbindungshülsen

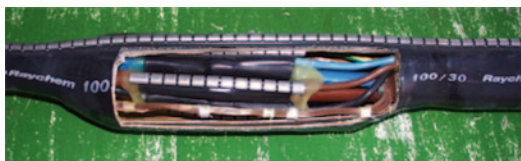


Abb. 16.10 Aufbau einer Schrumpfmuffe

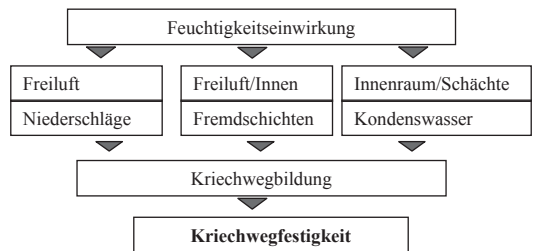


Abb. 16.11 Reparaturmanschette

Lagerhaltung und langer technischer Lebensdauer haben sich Muffen aus Schrumpfmateriale durchgesetzt (Abb. 16.10). Die über die zu verbindenden Kabelenden geschobenen Schläuche schrumpfen unter dem Einfluss einer weichen Flamme oder eines Heißluftgebläses auf das notwendige Maß und verschließen die Enden mit austretendem Heißkleber, der auf die Innenseite der Schrumpfschläuche aufgebracht ist. Die Kabel sind direkt nach Abschluss der Muffen prüf- und betriebsbereit.

Zur Reparatur von Schadstellen in Kabelmänteln werden spezielle Manschetten aus wärmeschrumpfendem Material angeboten, die um das ungeschnittene Kabel herum gelegt und von einer Verschlusschiene bis zum Abschluss des Schrumpfprozesses gehalten werden (Abb. 16.11). Unter Wärmeeinwirkung schrumpft die Manschette soweit herunter, bis der schadhafte Bereich vollständig abgedeckt und durch den Schmelzkleber dicht verschlossen und geschützt ist.

- betriebssicheres Anschließen der Leiter,
- Steuern des elektrischen Feldes,
- Begrenzen von Kriech- und Leckströmen,
- Schützen der Kabel vor Feuchtigkeit.



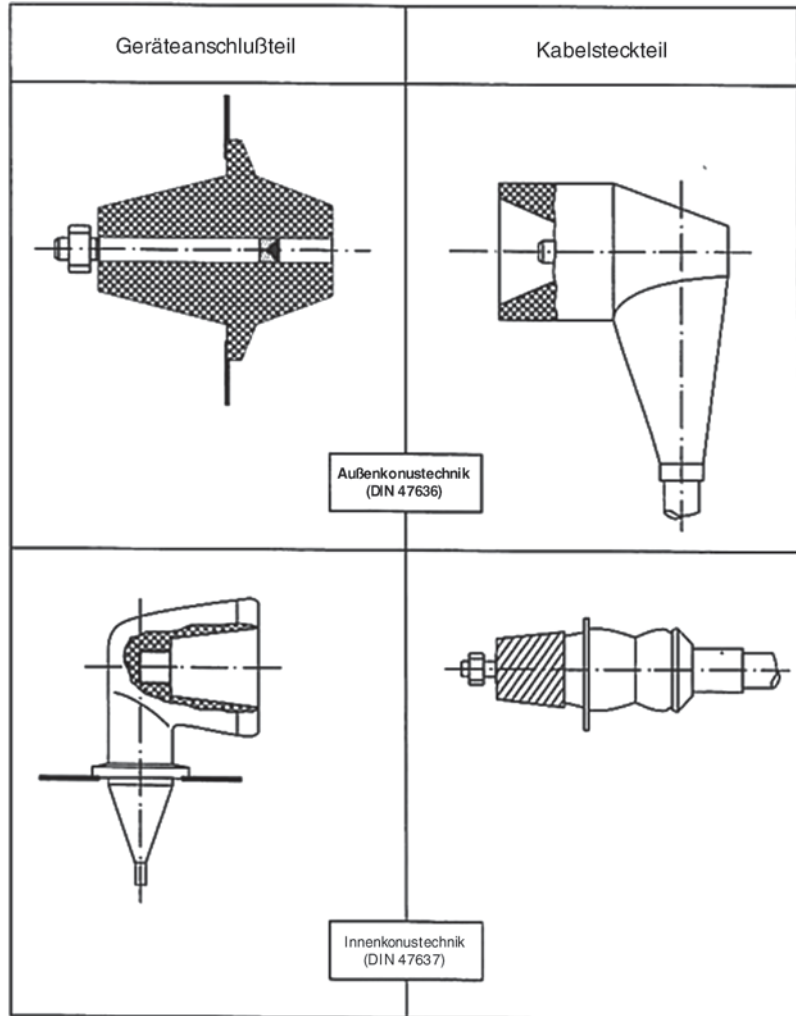
Bei Freiluftendverschlüssen werden die durch das Absetzen des Kabels freigelegten Adern, zum Schutz gegen Umweltbeanspruchungen, wie z. B. UV-Strahlung, durch spezielle Schrumpfschläuche oder Aufschiebeelemente geschützt. Der Kabelzwickel wird vorzugsweise mit einer Aufteilungskappe gegen das Eindringen von Feuchtigkeit und Schmutz abgedichtet. Auch in der Endverschlusstechnik haben sich Aufschiebegarnituren und Schrumpfmateriale durchgesetzt.

Mittelspannungsendverschlüsse aus Schrumpfmateriale bestehen aus kriechstrom- und erosionsfesten Schläuchen. Die Übergänge zwischen Aderisolation und Kabelschuh sowie zwischen

16.2.2 Endverschlüsse

Die grundsätzlichen Anforderungen an Endverschlüsse sind:

Abb. 16.12 Gekapselte, steckbare Kabelanschlüsse



Leiterisolation und Kabelmantel werden durch gesonderte passgerechte Schläuche dauerhaft abgedichtet und geschützt. Die Feldsteuerung erfolgt entweder durch eine im Schlauch integrierte Beschichtung oder mit einem gesonderten Feldsteuerschlauch. Die integrierte Feldsteuerung hat den Vorteil einer vereinfachten und kurzzeitigen Montage.

Je nach Spannungsebene und notwendiger Kriechweglänge können zusätzlich Isolatorschirme aufgeschumpft werden.

Endverschlüsse aus Schrumpfmateriale können nicht nur senkrecht, sondern auch in beliebig anderen Lagen installiert und betrieben werden.

Aufschiebe-Endverschlüsse bestehen meist aus hochwertigem Silikon. Der vorgefertigte

Isolator enthält eine integrierte kapazitive Feldsteuerung und passt sich optimal an den jeweiligen Kabeltyp an.

Steckbare Endverschlüsse mit steck- oder schraubbaren Kontaktelementen eignen sich für den Kabelanschluss an gekapselten Schaltanlagen, Transformatoren usw. Sie zeichnen sich durch eine sehr kompakte Bauweise aus, die aufgrund der geringen Abstände der Pole der Durchführungen erforderlich ist.

Außerdem sind Verbindungs-, Abzweig- und Übergangsmuffen mit steckbaren Kabelanschlüssen möglich (Abb. 16.12).

Zwei unterschiedliche Anschlusssysteme sind gebräuchlich: das Innenkonus- und das Außenkonusssystem. Der sog. Innenkonus ragt in das

anzuschließende Betriebsmittel hinein, während der Außenkonus heraussteht.

16.3 Planung von Kabelanlagen

Eine gute Vorbereitung und umfassende Dokumentation der zu errichtenden Kabelanlage sind die Basis für einen sicheren Betrieb und für eine lange Lebensdauer. Die Planung von Kabelanlagen umfasst

- die Auswahl der Trasse,
- die Erstellung von Lageplänen mit Bestandsangaben,
- die Bestimmung der Kabelführung (Erdkanal- oder Rohrverlegung),
- die Auswahl und Dimensionierung der Kabel und Leitungen,
- die Berücksichtigung der Transport-, Verlege- und Montagebedingungen,
- die elektromagnetischen Beeinflussungen insbesondere bei Häufung und
- die Ab- und Inbetriebnahmeprüfungen.

16.3.1 Trassenplanung

Eine wichtige Voraussetzung für die Wirtschaftlichkeit einer Kabelanlage ist die Trassenauswahl. Mit einer sorgfältigen Planung der Kabeltrasse sind bei der Bauausführung sowie im anschließenden Betrieb und bei der Instandhaltung erhebliche Kostensenkungen erreichbar.

Kabeltrassen sind im größtmöglichen Abstand von den Gleisen, mindestens 0,5 m innerhalb der Bahngeländegrenzen, geradlinig und parallel zum Gleiskörper zu führen. Hochwassergefährdete Gebiete sind möglichst zu umgehen. Wasserläufe sollen auf vorhandenen Brücken überquert oder mit Rohrzügen unterfahren werden. Dabei sind die Rohre 1 m unter der Gewässersohle und 1–1,5 m über die Breite des Wasserlaufes hinaus zu verlegen und beidseitig mit Schächten abzuschließen.

Bei Wegunterführungen sind Kabel in Rohrzügen unter der Straße oder auf die Brücke zu verlegen.

Bei Wegüberführungen erfolgt die Kabelverlegung am Brückenfundament, vorzugsweise in einem Betontrog.

Kabeltrassen auf Brücken sind gemäß DB-Richtlinie 804 ff. zu planen. Kabel dürfen auf Betonbrücken ohne isolierende Zwischenlage verlegt werden. Auf Stahlbrücken oder auf metallenen Gitterrosten muss eine Isolierung vorgesehen werden. Auf Betonbrücken sollen Kabel vorzugsweise in Kabeltrögen an der Randkappe verlegt werden.

Kabel aus den Überbauenden bzw. aus den Widerlagern sind in den Gleis-, Randweg- und Geländebereich zu führen. Dabei ist ein Schutz gegen mechanische Einwirkungen vorzusehen.

Kreuzungen, Näherungen und Parallelführungen mit bahnfremden Kabeln sind gemäß Stromkreuzungsvorschrift DB-Richtlinie 178 ff. zu planen.

Starkstromkabeltrassen der DBAG sind gemäß DB-Richtlinie 954 ff. sowie 997 ff. zu planen. Starkstromkabel mit einer Nennspannung ≤ 1.000 V sollen ohne besondere Vorkehrungen und ohne Einschränkungen gemeinsam mit Fernmelde- und/oder Signalkabeln in Gräben, Schächten, Trögen (Kabelkanälen) und Rohrzügen verlegt werden (Abb. 16.13).

Gemäß DB-Richtlinie 800 ff. ist auf Neubauabschnitten dafür ein nutzbarer Kabelbelegungsquerschnitt von mindestens 360 cm^2 je Gleis einzuplanen.

Auch Rückstromkabel und Kompensationsleiter, die parallel zu den Fahrschienen geführt und mit diesen verbunden sind, können gemeinsam mit Fernmelde- und Signalkabeln verlegt werden.

Rückleiter zwischen Unterwerk und Fahrschienen sind wie Kabel mit Nennspannungen ≥ 1.000 V zu behandeln.

Kabel mit Nennspannungen > 1.000 V dürfen gemeinsam mit Fernmelde- und Signalkabeln in Gräben oder Trögen verlegt werden, wenn ein mechanischer Schutz und ein Wärmeschutz nach DIN 57800/VDE 0800 T.1 vorhanden ist und eine unzulässige Beeinflussung ausgeschlossen ist. Sie dürfen nicht gemeinsam in denselben Schächten oder demselben Rohrzug verlegt werden.

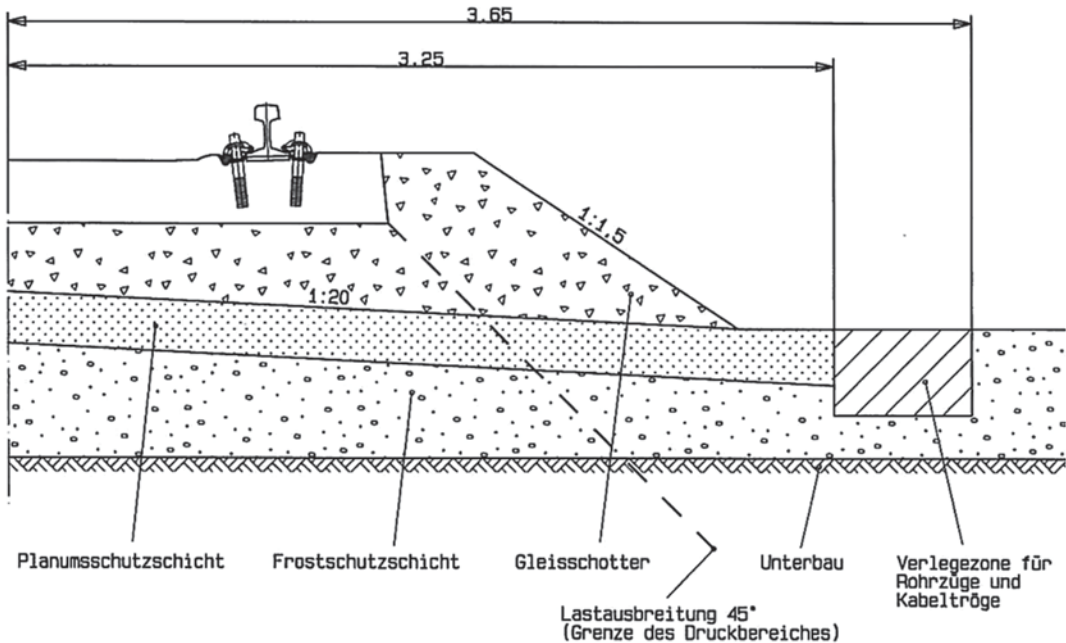


Abb. 16.13 Verlegezone für Rohrzüge und Kabeltröge im Gleisbereich

15.000-V-Einleiterkabel der Fahrstromversorgung dürfen grundsätzlich nicht gemeinsam mit Fernmelde- und Signalkabeln verlegt werden.

Kabeltrassen an Neubaustrecken sind gemäß DB-Richtlinien 800 ff. und 853 ff. zu planen.

Neubaustrecken sind beidseitig gleisbezogen zu verkabeln. Dazu sollen Trog- oder Rohrzugtrassen in den Rand- und Zwischenwegen außerhalb des Druckbereiches aus Eisenbahnverkehrslasten angeordnet werden.

Auf freier Strecke sind Kabeltrassen auf der Bahnseite zu planen, welche die meisten Einführungsstellen aufweist. An Oberleitungsmasten sind Kabel auf der Feldseite zu führen.

Bei Bahndämmen ist die Kabeltrasse am Dammfuß zu planen.

In Einschnitten ist die Kabeltrasse an der oberen Böschungskante zu führen. Die Trassenführung im Randweg stellt eine Ausnahme dar.

In Bahnhofsbereichen sind Kabeltrassen längs der Gleise und außerhalb der Oberleitungsmaste zu führen. Kabeltrassen quer zu den Gleisen müssen diese rechtwinkelig kreuzen. Weichen dürfen nicht unterkreuzt werden.

Kabeltrassen durch oder in der Nähe von Öllagerstätten nicht in Rohrzügen, Trögen oder Schächten planen, da die Gefahr der Gasansammlung und Verschleppung besteht.

Für die spätere Verlegung sind 2–5% Zuschläge auf die gesamte Kabellänge für Biegeradien, Einführungen, Muffen und Endverschlüsse zu planen.

16.3.2 Typenauswahl und Dimensionierung

Die Auswahl des Kabels richtet sich nach Verwendungsbereich und Einsatzort. Der Verwendungsbereich bestimmt die funktionsbedingten Beanspruchungen und der Einsatzort die Beanspruchungen durch äußere Einflüsse. Verwendungsbereiche sind:

- Energieerzeugung,
- Energieverteilung,
- Energienutzung (Stromversorgungs-, Anschluss, Installationskabel),
- Steuerung,

- Signalübertragung,
- Kommunikation.

Einsatzorte sind die Verlegung in:

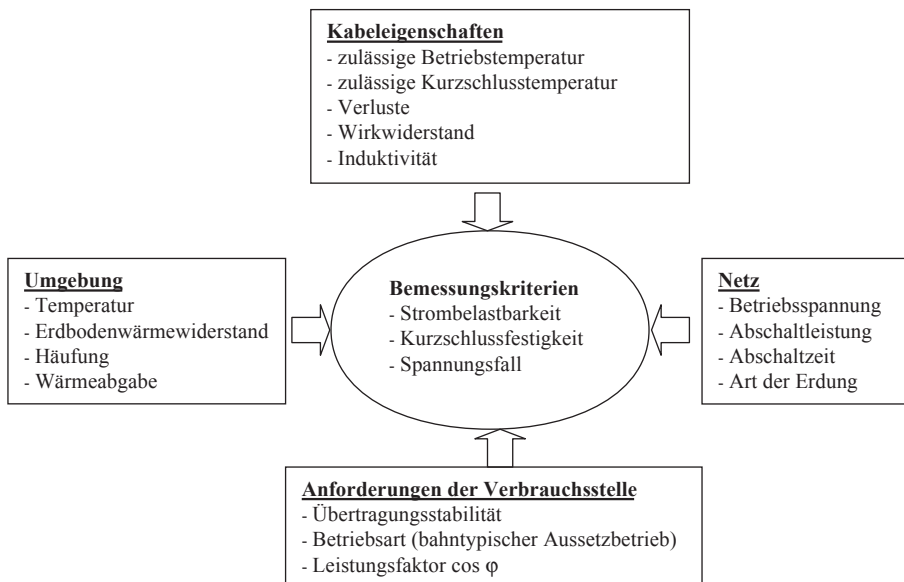
- Erde (direkt oder im Rohr),
- Luft (im Freien oder im Innenraum, Tunneln, Trögen oder Schächten),
- Beton,
- Wasser.

Funktionsbedingte Beanspruchungen ergeben sich aus den Netzbedingungen Strom, Spannung und Frequenz mit ihren hauptsächlich thermischen, thermomechanischen, elektrischen und elektromagnetischen Auswirkungen.

Beanspruchungen durch äußere Einflüsse folgen aus Kräften durch Tiere, durch Chemikalien, durch Strahlung, durch die Witterung und durch Feuer.

Tabelle 16.1 zeigt typische Beanspruchungen und Einflüsse im Bahnbereich sowie mögliche Maßnahmen durch eine geeignete Kabelauswahl.

Für die Dimensionierung von Energiekabeln müssen die Kabeleigenschaften auf die Anforderungen des Netzes und der Verbrauchsanlage sowie auf die Umgebungsbedingungen abgestimmt werden.



Um die dauernd zulässige Betriebstemperatur nicht zu überschreiten und das Kabel vor frühzeitige Alterung und ggf. Zerstörung zu bewahren, wird die Belastbarkeit je nach Verlegungsart, Anordnung und Anzahl der Kabel in einer Trasse entsprechend reduziert.

So gelten z. B. im Ebs-Zeichnungsverzeichnis der DB, Zeichnung 3 Ebs 09.41.11 für Speisekabel N2XS 2Y 1 × 240 RM 50 oder 70 18/30 kV von Bahnstromsystemen, wegen des bahntypi-

schen Aussetzbetriebes, die in Tab. 16.2 und 16.3 aufgeführten Reduktionsfaktoren.

Dabei darf lediglich ein Speisekabel in einem Rohr verlegt werden.

Berechnungsbeispiel für die zulässige Strombelastbarkeit eines 30-kV-Bahnstromkabels der S-Bahnstromversorgung Berlin vom Typ N2XS (F)2Y3 × 1 × 185 RM 35 bei Verlegung in erdverlegten Kunststoffschutzrohren und in bahnüblicher Anordnung:

Tab. 16.1 Beanspruchungen und Einflüsse im Bahnbereich und mögliche Maßnahmen

| Beanspruchung durch | Auswirkung | Beanspruchung hauptsächlich bei | Maßnahmen entsprechend der Anforderungshöhe |
|--------------------------------------|--|---|--|
| Strom | Thermisch | Hoher Strombelastung und/oder Kabelhäufung | Leiterwerkstoff ändern, Kupfer statt Aluminium. Leiterquerschnitt erhöhen. Isolierwerkstoff ändern, VPE (90 °C) statt PVC (60 °C) Verlegung in Luft statt in Erde |
| | Thermomechanisch | Geschlossenen Räumen und im Freien | Geschlängelte Verlegung |
| | Dynamische Kräfte | Gebündelten Einleiterkabeln in Drehstromnetzen | Kurzschlussfeste Bündelung, Bandage der Kabeladern |
| | Teilentladungen | VPE isolierten Leitern | Festverbundene Leitschichten sorgfältige Garniturenmontage |
| Spannung | Betriebsfeldstärken | Mittelspannungskabeln | Feldbegrenzung, Leiterglättung Erhöhung der Isolierwanddicken |
| Frequenz | Veränderung der Belastbarkeit, Netzrückwirkungen | Stromrichteranlagen von Gleichstrombahnen, Oberwellen | Bedämpfungseinrichtungen Symmetrie der Phasenlage bei der Verlegung von Einleiterkabeln oder im Aufbau von mehradrigen Kabeln |
| Zugkräfte | Dehnung der Aufbauelemente | Dem Einziehen von Kabeln in Rohrzüge, wenn z. B. die Richtungen in der Trasse häufig wechseln Flussverlegung | Gleitmittel verwenden Anzahl der Legerollen erhöhen, motorisch angetriebene Legerollen einsetzen einfache oder doppelte Drahtbewehrung bei mehradrigen Kabeln |
| Schlagkräfte | Verformung der Aufbauelemente | Häufigen Trassenarbeiten, z. B. mit Baggern und Schaufeln | PE- statt PVC-Mantel Stahlbandbewehrung |
| Druckkräfte | Verformung der Aufbauelemente | Dem Anschellen der Kabel und groben Rückfüllgut | Gummi-Innenmantel zusätzliche Polster im Kabelaufbau |
| Schleifen über Böden und Kanten | Abrieb des Außenmantels | Einziehen in Rohre ziehen über Schotter häufige Richtungswechsel in der Trasse | Ggf. verstärkter PE-Mantel Lege- und Umlenkrollen |
| Vibrationen | Versprödung von Isolier- und Mantelmaterial | Schwingungen durch Zugverkehr Verlegung auf Brücken | Mehr- oder feindrätige Leiter |
| Nagetiere | Mantelschäden Kabelzerstörung | Starken Aufkommen von Nagern | Abweisende Additive harter PE-Mantel Polyamidüberzug geschlossene Metallbandbewehrung |
| Chemikalien Öle, Benzin, Säuren | Farbveränderung Aufquellen und Zersetzung von Mantel- und Isoliermaterial | Verlegung in belasteten Böden oder Gleisbereichen | Ölbeständige PVC-Außenmantel-mischung PE-Mantel |
| Ultraviolettes Licht UV-Strahlung | Versprödung von Kunststoffen Ausbleichen der Mantelfarbe | Verlegung im Freien ohne Sonnenschutzabdeckung Mastaußführungen Anschlüssen | Rußgefüllte Kunststoffmantel UV-Stabilisatoren Schrumpfschläuche über die freiliegenden Adern |
| Feuchtigkeit Wasser | Korrosion der metallenen Hüllen Water Treeing | Verlegung in Wasser Flusskreuzungen | Metallmantel Schichtenmantel PE-Mantel quer- und längswasserdichter Kabelaufbau |
| Feuer | Brandfortleitung Zerstörung korrosive Gase Rauchgasdichte | Verkehrsanlagen Bahnhöfe Tunnelanlagen | FR-PVC-Mantel flammwidriger Werkstoff, z. B. EVA Isolations- und Funk-tionserhalt Mineralische Trennschichten Halogenfreier Werkstoff |

Tab. 16.2 Reduktionsfaktoren bei Kabelhäufung in Erde, mit Sandbettung und Verlegung mit 7 cm Abstand, einlagig und nebeneinander

| | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Kabelanzahl | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Reduktionsfaktor | 1 | 0,89 | 0,74 | 0,70 | 0,67 | 0,63 | 0,60 | 0,58 | 0,56 | 0,54 |
| zul. Strombelastbarkeit in Ampere | 805 | 716 | 696 | 564 | 539 | 507 | 483 | 467 | 451 | 435 |

Tab. 16.3 Reduktionsfaktoren bei Rohrhäufung im Abstand der gebräuchlichen Rohrabstandshalter, einlagig, nebeneinander und bei Verfüllung der Rohrzweischenräume mit Sand

| | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Kabelanzahl | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Reduktionsfaktor | 0,95 | 0,84 | 0,69 | 0,65 | 0,62 | 0,58 | 0,55 | 0,53 | 0,51 | 0,49 |
| Zul. Strombelastbarkeit in Ampere | 765 | 676 | 556 | 523 | 499 | 467 | 443 | 427 | 411 | 594 |

$$\mathfrak{S}_z = \frac{\vartheta_{LR} - \vartheta_E - \left[n \cdot \varpi \cdot C_b \cdot \left(\frac{U_B}{\sqrt{3}} \right)^2 \tan \delta \right] \left\{ T'_{Kd} + \eta_R \left[T'_P + \left(\frac{\rho^R}{2\pi} L_N \frac{1}{1 - \frac{2\delta_R}{dr}} \right) + T_{xy} \right] + \frac{\rho_x}{2\pi} \sum_4^N \delta_i \right\} + \left[\left(\frac{\rho_x}{\rho_E} \right) - 1 \right] \Delta \vartheta_x}{n \cdot R_{wr} \left\{ T'_{Ki} + \eta_R \left[T'_P + \left(\frac{\rho^R}{2\pi} L \eta \frac{1}{1 - \frac{2\delta_R}{dr}} \right) + T_{xy} \right] \right\}}$$

- \mathfrak{S}_z = zul. Belastbarkeit = 236 A
- C_b = Betriebskapazitätsbelag = $0,205 \cdot 10^{-6} \frac{F}{km}$
- U_B = Netzbetriebsspannung = 30.000 V
- n_R = Anzahl der Kabel pro Rohr = 3
- n = Anzahl der belasteten Leiter eines Kabels = 1
- T'_x = fiktiver Erdbodenwiderstand = $4,8 \frac{k \cdot m}{W}$
- T'_{xy} = Erdbodenwiderstand mit Belastungsgrad = $3,4 \frac{k \cdot m}{W}$
- D_R = Außendurchmesser des Rohres
- T'_P = Wärmewiderstand des Luftspaltes zwischen Kabel und Rohr = $0,3 \frac{k \cdot m}{W}$
- D_E = Ersatzdurchmesser bei 3 Kabeln pro Rohr
- ϑ_m = mittlere Temperatur im Luftspalt
- T'_R = Wärmewiderstand des Rohres = $0,11 \frac{k \cdot m}{W}$
- ρ_R = spez. Wärmewiderstand des Rohrmaterials
- δ_R = Rohrdicke
- d_R = Außendurchmesser des Schutzrohres = 0,16 m
- $\tan \delta$ = dielekt. Verlustfaktor = $0,65 \cdot 10^{-3}$
- $\Delta T'_{xy}$ = fiktiver Zusatzwärmewiderstand durch Kabelhäufung = $4,2 \frac{k \cdot m}{W}$ bei Lastwechsel
- $\Delta T'_x$ = fiktiver Zusatzwärmewiderstand durch Kabelhäufung = $2,2 \frac{k \cdot m}{W}$ bei Dauerbetrieb
- T'_{Kd} = fiktiver Kabelwärmewiderstand unter Berücksichtigung der dielekt. Verluste = $0,56 \frac{k \cdot m}{W}$
- T'_{Ki} = fiktiver Kabelwärmewiderstand unter Berücksichtigung der Stromwärmeverluste = $0,52 \frac{k \cdot m}{W}$
- P'_d = dielekt. Verluste = $12,6 \cdot 10^{-3} \frac{W}{m}$
- ϑ_{LR} = zul. Leitertemperatur = $+90^\circ C$
- ϑ_E = Temperatur des Erdbodens bei unbelasteten Kabeln = $+20^\circ C$
- R'_{wr} = Wirkwiderstandsbelag des Leiters = $0,131 \cdot 10^{-3} \Omega / m$
- ρ_x = spezifischer Erdbodenwiderstand des Trockenbereiches = $2,5 \frac{k \cdot m}{W}$
- ρ_E = spezifischer Erdbodenwiderstand des Feuchtbereiches = $1,0 \frac{k \cdot m}{W}$
- $\Delta \vartheta'_x$ = Erwärmung der Grenzisotherme x bezogen auf die Erdbodentemperatur = 15 K bei Dauerbetrieb bzw. = 32 K bei Tageslastspiel = $m = 1,0$ bzw. $m = 0,5$

Signal- und Nachrichtenkabel mit Kupfer- oder Aluminiumleitern werden insbesondere bei langer Parallelführung zu Fahrleitungsanlagen elektromagnetisch beeinflusst.

Daher sind gemäß DB-Richtlinie 899 ff. Kabel entlang elektrifizierter Strecken mit einem Induktionsschutz durch entsprechende Schirme auszurüsten. Auch eine direkte Nebeneinanderlegung von Speise- und Rückleitungskabeln bei Gleichstrombahnen und die Installation von Kompensationsleitern wirken diesen Beeinflussungen entgegen.

Die induzierte Längsspannung darf z. B. bei Neuanlagen in Spurplantechnik für Langzeitbeeinflussung ≤ 250 V und kurzzeitig ≤ 1.500 V betragen.

Bei der Dimensionierung von Signal- und Fernmeldekabeln sind ca. $\frac{1}{4}$ der benötigten Adernpaare, jedoch nicht mehr als 20 Doppeldern, als Reserve einzuplanen.

16.3.3 Lagepläne

Lagepläne der Kabeltrassen sind nach DB-Richtlinie 885 ff., im Maßstab 1:1000 oder 1:500 zu erstellen.

Als Grundlage eignet sich ein Bahnhofsbzw. Streckenplan. Für Signalanlagen sind ein Signalkabellageplan und ein Signalkabelübersichtsplan für Gruppenkabel und für Kabelverteiler erforderlich.

Die Planungsunterlagen sollten

- die örtliche Lage mit vorhandenen Gleisen, Weichen und Wegen,
- vorhandene Brücken und Gebäude,
- Grenzsteine,
- vorhandene eigene Kabeltrassen,
- ggf. vorhandene fremde Kabeltrassen,
- projektierte eigene Kabeltrassen,
- ggf. projektierte fremde Kabeltrassen und
- projektierte Gebäude, Brücken und Wege enthalten.

Die Aufnahme von Baulinien, Höhenpunkten und Höhenprofilen kann ebenfalls sinnvoll sein. Ein mit allen Baubeteiligten abgestimmter Termin- und Ablaufplan vervollständigt die Kabelprojektunterlagen.

Tab. 16.4 Mindestbiegeradien zur Planung von Kabelführungen

| Kunststoffisolierte Kabel | Mehr- und vieladriges Kabel | Einadriges Kabel |
|---|-----------------------------|------------------|
| <i>Ohne Bleimantel und ohne Bewehrung</i> | | |
| Bis $U_o/U = 600/1.000$ V | 12 d | 15 d |
| Über $U_o/U = 600/1.000$ V | 15 d | 15 d |
| <i>Mit Bleimantel und/oder Bewehrung</i> | | |
| Bis $U_o/u = 600/1.000$ V | 18 d | 25 d |
| Über $U_o/u = 600/1.000$ V | 20 d | 25 d |

d Außendurchmesser der Kabel

16.3.4 Führung, Befestigung und Schutz

Bei der Planung von Kabelführungen müssen unbedingt die in Tab. 16.4 aufgeführten Mindestbiegeradien berücksichtigt werden.

Bei Erdverlegung erfolgt die Kabellegung direkt in einem ausgehobenen Kabelgraben oder in Rohrzügen. Kabelformsteine werden bei Neuanlagen nicht mehr eingesetzt.

Der Kabelgraben sollte mindestens 40 cm breit und so beschaffen sein, dass zwischen Oberkante (OK) Kabel bzw. Rohrzug und Geländeoberfläche ≥ 80 cm Bodentüberdeckung zum Schutz der Kabeltrasse besteht. Bei schwierigem Baugrund wie Fels sind ≥ 40 cm Überdeckung ausreichend, wenn die Kabeltrasse zusätzlich mit Abdeckhauben oder Platten mechanisch geschützt wird.

Die Verlegung erfolgt auf fester, glatter und steinfreier Grabensohle. Für die Kabelaufgabe wird eine min. 10 cm dicke Sandschicht (Korngröße höchstens 2 mm) eingebracht und nicht verdichtet (Abb. 16.14).

Ein mit bis zu 90°C Dauerleitertemperatur betriebenes Energiekabel erzeugt durch Stromwärmeverluste ein stationäres Temperaturfeld (Abb. 16.15). Dadurch entsteht bei Erdverlegung ein Trockenbereich mit Grenzisothermen zum Feuchtbereich, der einen höheren spezifischen Erdbodenwiderstand aufweist. Die Isothermen verlaufen exzentrisch um das Kabel. Die Temperatur nimmt mit dem Abstand vom Kabel logarithmisch ab. Der spezifische Wärmewiderstand ist umso kleiner und damit die Wärmeleitung umso besser, je dichter der Erdboden gelagert ist.

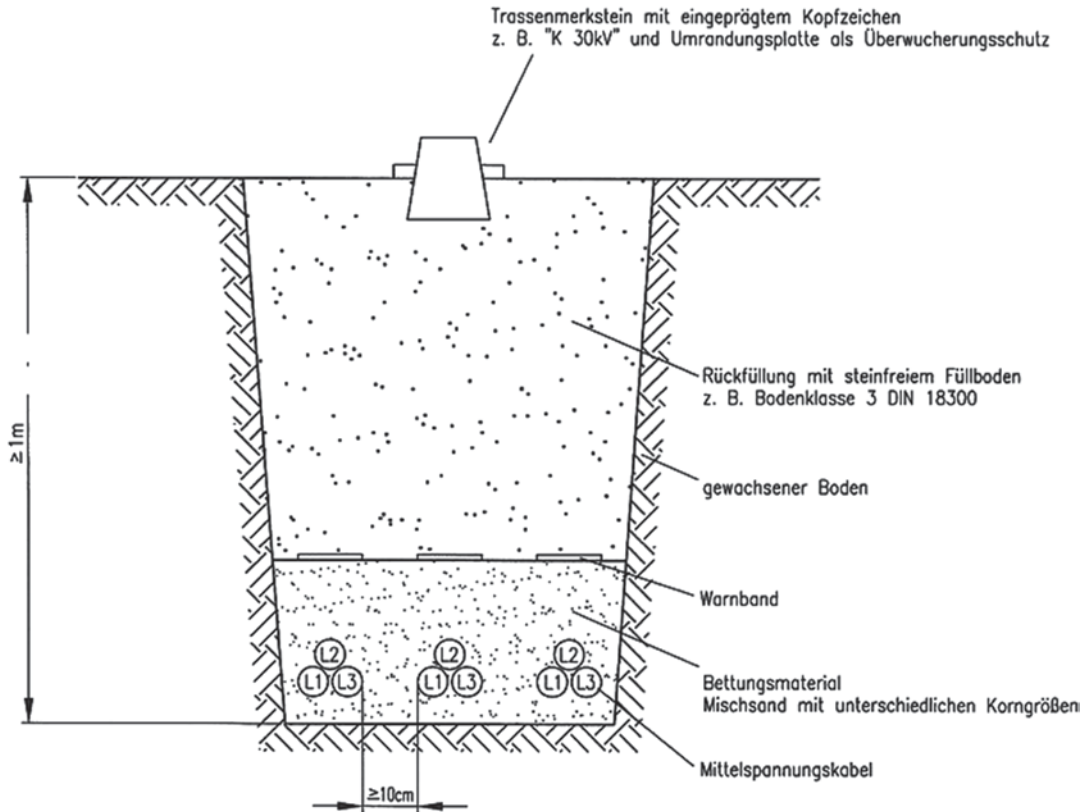


Abb. 16.14 Bahntypischer Kabelgrabenquerschnitt

Wobei diese Dichte sowohl von einer optimalen Lagerung (mechanische Verdichtung) als auch von möglichst ungleichen Korngrößen abhängt. Außerdem ist die Wärmeleitung umso besser, je mehr Wasser die im Erdboden verbleibende Luft verdrängt. Daher sollte kein gewaschener Bau-sand mit gleichmäßiger Kornverteilung, sondern Füllmaterial mit ungleichen Korngrößen eingebracht werden (Abb. 16.16).

Mit dem Kabelpflug kann verlegt werden, wenn sich das Gelände und der Boden dafür eignen. Dabei sind die Kabelenden an Muffenpunkten überlappend zusammenzubinden, einzupflügen und oberirdisch zu kennzeichnen. Die Trasse ist nach der Kabellegung durch Walzen einzuebnen.

Für Rohrtrassen werden gemäß DB-Richtlinie 899 ff. grundsätzlich 5–12 m lange Kunststoffrohre mit 110 mm Durchmesser und einer Wanddicke bei Erdverlegung von 6,3 mm verwendet.

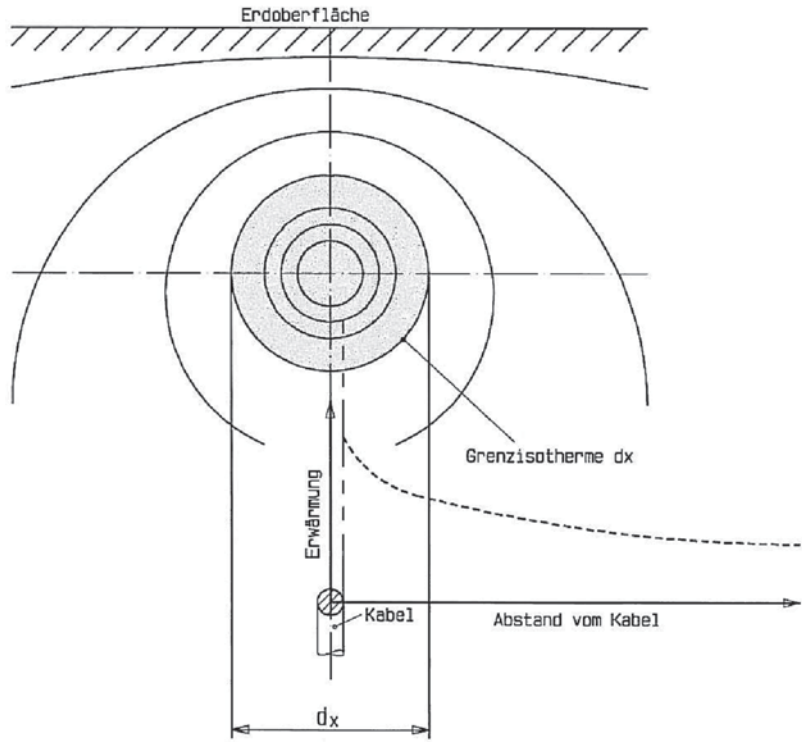
Bei der Verwendung von Hüllrohren kann die Wanddicke entsprechend vermindert werden. Dabei sollen min. $\frac{1}{4}$ Reserverohre, jedoch wenigstens 1 Rohrzug und max. 10 Rohrzüge vorgesehen werden.

Kabel werden in Rohren

- unter Straßen, 1,0–1,5 m über die Weg-/Fahrbahnbreite hinaus, in min. 1 m Tiefe,
 - unter Rohrleitungen,
 - auf Brücken, wenn kein Kabeltrog möglich ist,
 - im Bereich von Fundamenten,
 - unter Gleisen, min. 1 m unter Schwellenoberkante und
 - in befestigten Bahnsteigen
- verlegt.

Auf der freien Strecke sind gemäß DB-Richtlinie 800 ff. für den Fernmelde- und Signaldienst sowie für den elektrotechnischen Dienst im Abstand von ≤ 600 m und an jedem Hauptsignal

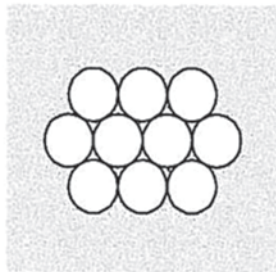
Abb. 16.15 Stationäres Temperaturfeld um ein erdverlegtes Kabel



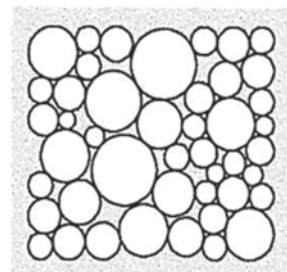
Stationäres Temperaturfeld um ein erdverlegtes Kabel

Abb. 16.16 Füll- und Bettungsmaterial für erdverlegte Kabel

- Luft $\sim 40 \text{ Km/W}$
- Minerale $\sim 0,25 \text{ Km/W}$
- Wasser $\sim 1,6 \text{ Km/W}$



Bausand mit gleichmäßiger Kornverteilung



Füllmaterial mit unterschiedlichen Korngrößen

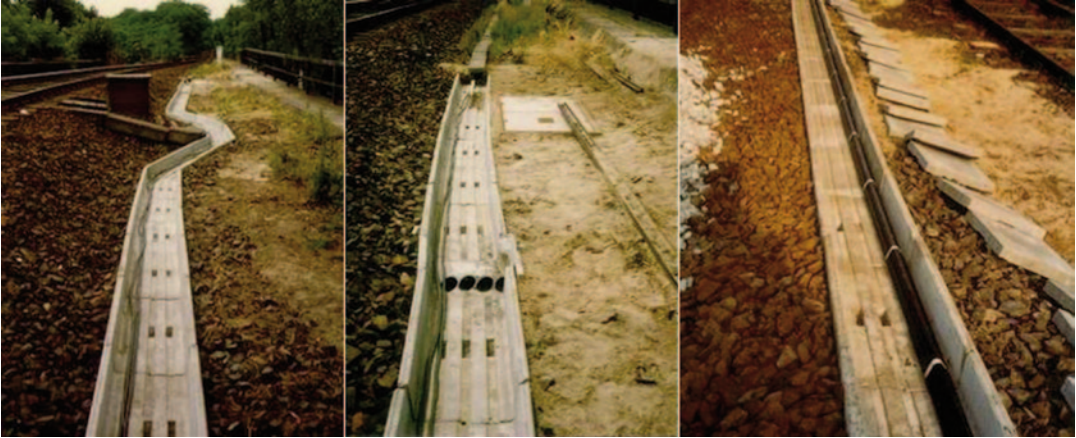


Abb. 16.17 Betonkabelkanal-Trassen im Gleisbereich

Rohrzüge mit 110 mm Außendurchmesser vorzusehen.

Wird die Kabelrohrtrasse im Randweg geführt, sind an den Abzweigungspunkten der Querungen Verteilerschächte in einem Mindestabstand von 3,25 m zur Gleismitte vorzusehen. Zwischen Oberkante Randweg und Oberkante der oberen Rohrzuglage sind mindestens 30 cm Überdeckung einzuhalten.

Rohrzüge sind mit einem Gefälle von 1 % einzubauen, damit eindringendes Wasser nicht in den Rohren stehen bleibt. Mindestens alle 1,5 m sind Abstandshalter zu setzen. Die einzelnen Rohrlängen werden mit den angeformten Steckmuffen verbunden.

Erdverlegte Rohrzüge sollen auf eine 10–15 cm dicke und leicht verdichtete Sandschicht gelegt werden. Rohre dürfen nicht direkt übereinander eingebaut werden. Sie müssen einen Abstand zueinander aufweisen, der eine ausreichende Bodenverdichtung um das einzelne Rohr gewährleistet.

Trassen mit Rohren, die eine Wanddicke von $\geq 5,3$ mm aufweisen, sind vor Herstellung des Schwerlast-Oberbaues zu kalibrieren.

Mehrere Kunststoffrohre können auch gemeinsam in einem Stahl- oder Stahlbetonhüllrohr geführt werden. Dabei ist eine Mindestüberdeckung des Hüllrohres von 1,5 m zu berücksichtigen.

Die Hohlräume in dem schützenden Hüllrohr sind mit einem geeigneten Dämmstoff zu verfüllen.

Einzelne Rohrzüge unter Bahnkörpern können auch mit einem hydraulischen Horizontalpressgerät oder mit einer Bodendurchschlagrakete hergestellt werden. Dabei wird das Erdreich durchbohrt bzw. verdrängt (verdichtet) und das Kunststoffrohr nachgezogen. Vor dem Einsatz derartiger Geräte sollte das Gelände hinsichtlich möglicher Blindgänger durch den zuständigen Kampfmittelräumdienst untersucht werden. Zwischen SOK und OK des Rohrzuges ist ein Abstand von min. 1,5 m einzuhalten. Der Mindestabstand zum nächsten Rohr beträgt 60 cm. Dabei sind maximal drei Rohre nebeneinander mit diesem Abstand einzubauen.

Oberirdische Schutzrohre oder Halbschalen sollten aus schwerentflammablem Material bestehen.

Bei Gleichstrombahnen können Kabel mit Fehlerstellen im Mantel durch Streuströme beschädigt oder zerstört werden. Daher müssen Kabel mit metallenen Mänteln oder Bewehrungen in Rohrzügen oder Kabeltrögen aus Beton untergebracht werden (Abb. 16.17).

Kabeltröge (Betonkabelkanäle) sind auf tragfähigem Untergrund oder auf einer Kiessohle zu verlegen. Dabei müssen ein ungehinderter Oberflächenwasserablauf und eine uneingeschränkte Entwässerung des Bahnkörpers gewährleistet sein.

Abb. 16.18 Aufgeständertes Kabelkanalsystem (Stelzentrog)



In Rand-, Zwischen- und Rangierwegen sind Kabelkanäle mit innenliegenden Deckeln einzubauen, da sie auch als Dienstweg und Aufstellplatz für das Instandhaltungspersonal dienen. In der Regel sind im Abstand von 25 m bzw. 50 m Deckel mit Hebeösen vorzusehen.

Kabeltröge sind in der Neigung des Planums zu verlegen und müssen mit OK-Planum bzw. OK-Schwelle abschließen.

Die Abstände von Kabeltrögen zu den Gleisen betragen, abhängig von der zulässigen Strecken höchstgeschwindigkeit und der Überhöhung, bei

- $V \leq 250$ km/h: 3,25–3,65 m,
- $V \leq 200$ km/h: 3,1–3,4 m und
- bei der S-Bahn: 2,9–3,2 m.

Zwischen Gleisen mit durchgehender Bettung darf der Abstand zwischen Gleismitte und der Vorderkante des Kabeltroges 2,20 m betragen.

Nebeneinander liegende Kabeltröge für Energiekabel unter und über 1000 V müssen jeweils eine eigene Trogabdeckung erhalten, auch dann, wenn sie in einem gemeinsamen Trog mit Trennsteg verlegt werden.

Bei schwierigen örtlichen Verhältnissen bietet sich für Signal-, Steuer- und Nachrichtenkabel mit kleinerem Außendurchmesser, aber auch für Energiekabel die Verwendung von aufgeständerten Kabelkanalanlagen an. Dabei kann man auf unterschiedlichste Kanalmaterialien, wie glasfaserverstärktem Kunststoff oder Blech zurückgreifen. Das aufgeständerte Kabelkanal-

system besteht im Wesentlichen aus Kanälen von 4–8 m Länge, die auf 3–6 m auseinanderstehenden, in das Erdreich eingerammten Stützen montiert werden. Die Abdeckung erfolgt mit jeweils 2–3 m langen entsprechenden Deckeln. Zur Vermeidung von Schwitzwasser und eines Wärmestaus im geschlossenen Kabelkanal sind Boden und Wangen der Blechtröge gelocht. Im Blechtrög werden als isolierende Zwischenlage und zum Schutz der Kabel, z. B. gegen evtl. Böschungsbrände, Steinwollmatten eingelegt. Der Stelzentrog lässt sich auch bei steilen Böschungen im Bereich von Einschnittbahnen und zur Überbrückung von Hindernissen gut einsetzen. Die Halterungen lassen sich an Bauwerken leicht anpassen. Bei durchgehend metallenen leitender Verbindung muss jedoch insbesondere bei Gleichstrombahnen darauf geachtet werden, dass der Stelzentrog keine parallele Rückleitung bildet. Dazu sind Isolierstücke in regelmäßigen Abständen vorzusehen und ist entsprechend der einschlägigen Bestimmungen in die Bahnerdung einzubeziehen. Aktuell werden bei Baumaßnahmen bei schwierigem Gelände i. d. R. glasfaserverstärkte aufgeständerte Kabelkanalsysteme eingesetzt (Abb. 16.18).

Der Einsatz von glasfaserverstärkten Kabelkanalanlagen in Tunneln ist nicht zulässig.

Bei der Errichtung von Fundamenten und Mauern dürfen Kabel nicht eingemauert oder

einbetoniert werden. Hier sind teilbare Kunststoffrohre zum Schutz der Kabel zu verwenden.

Kabelschächte sind lt. DB-Richtlinie 899 ff. vorzusehen:

- bei Einführungen von Kabeltrassen in Gebäuden, wenn mehrere Kabel aus verschiedenen Richtungen eingeführt werden müssen,
- am Anfang und Ende von Rohrzug- und Trograssen,
- in der Rohrzug- oder Trograsse zur Aufnahme von Muffen und
- an Winkelpunkten.

Kabelschächte sind aus Mauerwerk, Ort beton oder vorzugsweise aus typgeprüften Betonfertigteilen (Segmentschächte) herzustellen. Ihre Mindesttiefe sollte 1,8 m betragen, wenn sie nicht kleiner als 65 cm × 65 cm sind.

Schächte für große Muffen, z. B. Übergangsmuffen von papierisolierten auf kunststoffisolierten Kabeln, müssen im moorigen Gelände oder bei hohem Grundwasserstand wasserdicht sein (Topfschächte) und mit einem Pumpensumpf ausgestattet sein. Hier sind einmündende Rohrzüge abzudichten.

Schachtlose Übergänge von Rohrzügen in den Boden sind nur einlagig herzustellen.

Der Blitzschutz ist für Kabelanlagen im Umkreis von 30 m zum Gleiskörper gegeben. Bei weiter entfernten Kabeltrassen kann ein zusätzlicher Schirmleiter erforderlich werden.

Gemäß DB-Richtlinie 800 ff. sind in eingleisigen Tunneln einseitige Kabeltrassen und bei zweigleisigen Tunneln Kabeltrassen auf beiden Seiten vorzusehen.

Sie sind als Trograssen im Abstand von mindestens 2,20 m von Gleismitte anzuordnen. Die Oberkante der Kabeltröge soll auf Höhe SO liegen.

Die lichte Weite der Tröge soll 35 cm und ihre lichte Höhe 40 cm betragen.

Niederspannungskabel und Energiekabel > 1000 V müssen grundsätzlich in einem eigenen Trog verlegt werden.

Bei beengten Verhältnissen dürfen diese Kabel jedoch ausnahmsweise auch zusammen in einem Trog geführt werden.

Rückstromkabel und Kompensationsleiter sind von den übrigen Kabeln zu trennen.

In den Tunneln und Notausgängen dürfen nur nichtbrennbare Stoffe nach DIN 4102 verwendet werden. Elektro- und nachrichtentechnische Einrichtungen und Rohre für Kabelquerungen unter dem Gleisschotter brauchen diese Forderung nicht zu erfüllen.

Kabel sollen, soweit möglich, geschützt verlegt werden.

Auf Tunnelstrecken ist auch eine Kabelführung aus Ankerschienen in einem Abstand von ca. 70 cm an den Tunnelwänden möglich. Die Kabel können wahlweise mit gebräuchlichen Kabelschellen oder in Kabeltragwannen, die an die Ankerschienen montiert sind, geführt werden.

Bei einem Einsatz von Kabeltragwannen sollten die Kabel alle 10 m angeschellt werden. Kabelschellen dürfen die Kabel weder beschädigen noch in ihrer Funktion beeinträchtigen. Bei Kabeln mit Kunststoffaußenmantel wird die Verwendung einer Druck- und Gegenwanne pro Kabelschelle empfohlen. Mit diesen Schellenteilen wird eine Beschädigung der Kabel durch zu hohen Druck und eine zu große Belastung an den Kanten der Schellen verhindert. Der Durchmesser des anzuschellenden Kabels muss innerhalb des Spannbereiches der Schelle liegen.

Kabelschellen aus magnetischem Material, wie z. B. verzinktem Stahl, verursachen um ein Einleiterkabel im Wechselstrombetrieb montiert, starke Wirbelstromverluste, da ein geschlossener Eisenkreis entsteht. In diesen Fällen müssen Kabelschellen aus Aluminium oder Edelstahl verwendet werden, die auch aggressiven Umgebungseinflüssen widerstehen.

Kabelschellen und Bandagen (Bündelbänder) müssen den im Betrieb auftretenden Kräften standhalten. Daher ist eine rechnerische Überprüfung zur Festlegung der in Frage kommenden Kabelschellen- bzw. Bündelbandtypen zu empfehlen.

Im nachfolgenden Beispiel wird die Kraftwirkung auf die Befestigung eines typischen Bahnstromkabels in einem Drehstromsystem ermittelt.

Kabeltyp: N2XS (F) 3 × 1 × 185 RM35
17/30 kV

$$I_{K''} \approx I_a = \frac{S_a}{\sqrt{3} \cdot U_b}$$

Außendurchmesser ca. 48 mm

F_B' = Bandagenkraftwirkung [N/m]

$$I_{K''} = \frac{750 \cdot 10^6 \text{ VA}}{\sqrt{3} \cdot 30 \cdot 10^3 \text{ V}}$$

F_s = Stromkraftbelag zweier paralleler Leiter

$$I_{K''} = 14.434 \text{ A}$$

β = Faktor für die mechanische Beanspruchung der Umhüllung bei Kurzschluss

einpoliger Kurzschluss:

$$I_s = \sqrt{2} \cdot \kappa \cdot I_{K''}$$

κ = Stoßfaktor

$$I_s = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 14'434 \text{ A}$$

a = Leiterachsabstand [m]

$$I_s = 26.743 \text{ A}$$

$\frac{\mu_o}{2\pi}$ = spez. Permeabilität

$$F_s' = \frac{\mu_o}{2\pi} \frac{I_s^2}{a}$$

I_s = Stoßkurzschlussstrom Scheitelwert [A]

$$F_s' = 0,2 \cdot 10^{-6} \frac{\text{H}}{\text{m}} \cdot \frac{(36.743 \text{ A})^2}{49 \cdot 10^{-3} \text{ m}}$$

I_K'' = Anfangskurzschlusswechselstrom [A]

$$F_s' = 5.510 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

zweipoliger Kurzschluss:

$$F_B' = \beta \cdot F_s'$$

I_a = Ausschaltwechselstrom [A]

$$F_B' = \frac{1}{2} \cdot 5.510 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

S_a = Nenn-Ausschaltleistung [VA]

$$F_B' = 2.755 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

U_B = Betriebsspannung [V]

dreipoliger Kurzschluss:

$$F_B' = \beta \cdot F_s' \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$F_B' = 2.386 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Handelsübliche Kabelschellen und Bündelbänder sind für folgende Beanspruchungen ausgelegt:

| | |
|--------------------------------|---------|
| Kunststoffbänder | 0,6 kN |
| Verstärkte Bänder | 0,85 kN |
| Standard-Bandschellen | 14,2 kN |
| Verstärkte Bandschellen | 29,6 kN |
| Kurzschlussfeste Bügelschellen | 12 kN |

Demnach sollten die drei Einleiterkabel des Berechnungsbeispiels mit mehreren Lagen Kunststoffband im Abstand von ca. 50 cm oder mit einer der vorgenannten Kabelschellen gebündelt bzw. befestigt werden.

Vor und hinter den Tunnelbahnhöfen besteht die Möglichkeit, die Kabeltrasse von der Tunnelwand über einen Deckenübergang mit Ankerschienen im Abstand von ca. 50 cm zur Kabelführung unter den Bahnsteig zu überführen. Hier sind die Kabel an jeder Ankerschiene anzuschellen.

Unter hohlen Bahnsteigen können die Kabel vorzugsweise in Kabelrinnen oder auf Kabelbahnen übersichtlich und gut zugänglich verlegt werden.

Zur Überbrückung von Hindernissen und größeren Höhenunterschieden stehen Kabelliterkonstruktionen mit Ankerschienen zur Verfügung.

Zur Verringerung der ständigen elektromagnetischen Beeinflussung ist es sinnvoll, die eine Tunnelwand nur mit Energiekabeln und die andere Wand mit Fernmelde-, Signal- und Steuerkabeln zu belegen.

Abb. 16.19 Provisorische Kabelführung bei Brückeninstandsetzungen



Als Berührungsschutz sollte ein durchgängiges und fernüberwachtes Tunnelerdsystem errichtet werden.

Bei Umbaumaßnahmen und Grundinstandsetzungsprojekten werden oft individuelle Sonderkonstruktionen erforderlich, s. Abb. 16.19.

16.4 Legung und Montage

Eine systematische Vorbereitung der Kabellegung, der Einsatz von modernen Verlegesystemen, eine sorgfältige Garniturenmontage sowie abschließende Prüfungen sind Garantien für eine instandhaltungsarme und langlebige Kabelanlage.

Die Schlussvermessung und Dokumentation der Kabeltrasse bildet die Grundlage für die späteren Wartungspläne und ist sehr wichtig für eine ggf. erforderlich werdende Fehlerortung. Außerdem versetzt es den Anlagenbetreiber in die Lage, jederzeit Auskunft über die Kabellage geben zu können, was insbesondere für spätere Baumaßnahmen im Bereich der Kabeltrasse unabdingbar ist.

16.4.1 Auslegen und Kennzeichnen

Das zu verlegende Kabel wird i. d. R. auf Holzspulen angeliefert. Da die Kabelspulen mehrfach verwendet werden können, hat sich in Deutschland das Pfandsystem der Kabeltrommelgesellschaft (KTG) durchgesetzt. Ist der Rücktransport der leeren Spule nicht wirtschaftlich, z. B. weil längere Kabelreste zwischengelagert werden sollen, kommen Einwegspulen oder sog. Verkaufsspulen zum Einsatz.

Kürzere Kabellängen mit einem Gewicht bis etwa 80 kg können problemlos in Ringen transportiert werden, sollten jedoch gegen Transportschäden durch Umwickeln mit Krepppapier geschützt werden.

Wichtig ist eine dichte Verkappung der Kabelenden, vorzugsweise mit Schrumpfkappen. Die Lieferlänge und Spulengröße wird nicht nur durch den Kabeltyp und die benötigten Teillängen bestimmt, sondern auch durch:

- die Transportmittel und deren max. Achslast,
- die Transportwege bezüglich Durchfahrts-
höhe, -breite,
- die Transportvorschriften,
- den Lagerplatz (Tragfähigkeit),



Abb. 16.20 Kabelabzug von der Spule

- den verfügbaren Montageraum, insbesondere auf Tunnelstrecken und
- die Entlademöglichkeiten, z. B. mit einem Kran.

Je nach Durchmesser und Gewicht des Kabels werden Längen bis zu 2.500 m auf einer Spule versandt, die damit durchaus einen Scheibendurchmesser von 2,56 m und ein Gesamtgewicht von 7 t haben kann.

Zum Transport auf der Baustelle ist es zweckmäßig, einen Kabellegewagen mit Auf- und Abladevorrichtung zu verwenden. Wenn dieses Spezialfahrzeug mit einem Wellenlager für Kabeltrommeln ausgestattet ist, kann das Kabel direkt vom Wagen abgezogen oder bei langsamer Fahrt in den vorbereiteten Gräben oder Trögen ausgelegt werden.

Ist das nicht möglich, sind die Spulen möglichst dort abzuladen, wo die Kabel abgezogen werden sollen (Abb. 16.20).

Werden die Spulen von Hand bewegt, gibt der Rollrichtungspfeil auf dem Spulenflansch die Drehrichtung der Spule beim Rollen an. Wird die Spule entgegengesetzt gerollt, lösen sich die Kabellagen, was ein einwandfreies Abrollen des Kabels unmöglich macht.

Das Kabel ist grundsätzlich von oben von der Spule abziehen. Hierbei ist die Spule so aufzustellen, dass der Rollrichtungspfeil entgegengesetzt zur Abzugsrichtung zeigt.

Das Kabel kann per Hand oder mit einer Motorwinde abgetrommelt werden. Dabei muss die sich langsam drehende Spule jederzeit abbremsbar sein. Das kann z. B. mit einer unter eine Spulenscheibe zu schiebenden Holzbohle erfolgen. In diesem Fall wird die Spule mit Winden oder bei schweren Spulen mit hydraulischen Böcken so hoch aufgebockt, dass sich die Bohle nicht verklemmen kann.

Beim Einsatz einer motorischen Winde wird die Zugkraft mit speziellen Ziehstrümpfen oder über einen mit den Leitern verbundenen Ziehkopf auf das Kabel übertragen.

Das Kabel ist beim Abspulen und beim Auslegen auf äußere Beschädigungen hin zu untersuchen. Da die Kabel häufig von Arbeitskräften ohne besondere Ausbildung verlegt werden, ist vorher ausdrücklich auf das hochwertige Material hinzuweisen, damit das Kabel mit der gebotenen Sorgfalt behandelt wird.

Um sicherzustellen, dass die Kabel beim Abziehen mit einer Winde nicht über die zulässigen Zugkräfte beansprucht werden, sind folgende Maßnahmen erforderlich:

- Die Zugkraft ist kontinuierlich zu steigern, es darf keine Rück- oder Stoßbelastung auftreten.
- Die Kontrolle der Zugkraft erfolgt ständig mittels eines Zugkraftdynamometers.
- Ein Messschreiber dokumentiert die Einhaltung der Grenzwerte. Der Messschrieb wird später zur Verlegedokumentation genommen.
- Besondere Sorgfalt ist an den Krümmungen der Trassen erforderlich. Hier sind Windenseil und Kabel unbedingt über Legerollen (Trag- und Eckrollen) zu führen.

Auf horizontalen Strecken und bei gut ausgebauten Kabelgräben mit leichtlaufenden Trag- und Führungsrollen, die grundsätzlich in Abständen von 3–4 m angeordnet werden, sind die in Tab. 16.5 errechneten Zugkräfte zu erwarten.

Die zulässige Zugbeanspruchung für die Verlegung von kunststoffisolierten Kabeln ist in Tab. 16.6 angegeben.

Tab. 16.5 Zu erwartende Zugkräfte auf horizontalen Strecken

| Art der Trasse | Zugkraft in % des Gewichts der einzuziehenden Kabellänge |
|---------------------------|--|
| Ohne größere Krümmungen | 15–20 % |
| Mit 2 Richtungsänderungen | 20–40 % |
| Mit 3 Richtungsänderungen | 40–60 % |

Bei der Kabellegung ist unbedingt auf die Einhaltung der unter 16.3.4 genannten zulässigen Biegeradien zu achten.

Bei der Kabelverlegung sind folgende Mindest- bzw. Höchsttemperaturen zu beachten:

- kunststoffisolierte Kabel mit PVC- oder EVA-Außenmantel: -5 – $+50$ °C,
- einadrige VPE-isolierte Kabel mit PE-Außenmantel: -20 – $+50$ °C,
- Kabel mit Koaxialpaaren: -10 – $+50$ °C.

Diese Mindesttemperaturen gelten für das Kabel selbst und nicht für die Umgebung.

Bei niedrigen Temperaturen muss das zu verlegende Kabel bis zum Spulenkern gut durchgewärmt werden. Dies kann durch eine Zwischenlagerung in einem warmen Raum oder mit einer speziellen Trommelhülle und einem Gebläse erfolgen. Während des Transports ist das durchgewärmte Kabel vor Auskühlung zu schützen.

Werden die vorgenannten Mindesttemperaturen unterschritten, können die Aufbauelemente des Kabels irreparabel beschädigt werden.

Bei Häufungen von Energiekabeln oder Annäherung an Wärmequellen, wie Fernwärmeleitungen, sind mit Rücksicht auf die Belastbarkeit

der Kabel und die Austrocknung des umgebenden Erdreiches entsprechend größere Abstände der Kabelsysteme untereinander erforderlich. Die Belastung darf nicht zu einer Überschreitung der zulässigen Betriebstemperatur an den Leitern führen.

Rohrzüge und Schächte sind vor dem Einziehen von Schlamm, Wasser und anderen Fremdkörpern zu reinigen.

Beim Einziehen von Kabeln mittels Ziehstrumpf ist dafür zu sorgen, dass ein guter Kraftschluss zwischen Leitern und Mantel besteht, damit die Zugkräfte vom Kabel aufgenommen werden.

Zur Verminderung der Reibung sind beim Einziehen in Rohrzüge Gleitmittel, wie spezielles Kabelfett oder Talkum, zu verwenden. Belegte Rohrzüge sind abzudichten. Bei Legungen im Kabelgraben sollten die Kabel gemäß Abb. 16.14 angeordnet werden.

Kabel können auch neben dem Graben oder Trog ausgelegt und dann eingehoben werden. Dabei dürfen die Kabel nicht über Kanten oder spitze Gegenstände (Schotter o. ä.) gezogen werden. Kabel dürfen im Graben nur mit einem entsprechenden Abstand übereinander liegen und müssen mit Sand einer Korngröße bis 2 mm abgedeckt werden. Der steinfreie Füllboden mit möglichst ungleichen Korngrößen ist lagenweise zu verdichten.

In Kabeltrögen dürfen die Kabel wegen der temperaturabhängigen Längenänderung nicht straff verlegt werden.

Tab. 16.6 Zulässige Zugbeanspruchung für die Verlegung von kunststoffisolierten Kabeln

| Kraftübertragung | Kabeltyp | Faktor | Zugkraft |
|-----------------------------|---|--------------------------------------|--------------------|
| Mit Ziehkopf an den Leitern | alle Typen | $\sigma_{cu}=50$ $\sigma_{Al}=30$ | $P=\sigma \cdot A$ |
| Mit Ziehstrumpf | Kabel ohne Metallmantel und ohne zugfeste Bewehrung | $\sigma_{cu}=50$ $\sigma_{Al}=30$ | $P=\sigma \cdot A$ |
| | alle stahldrahtbewehrten Kabel | $K=9$ | $P=K \cdot d^2$ |
| | Kabel mit Metallmantel und ohne zugfeste Bewehrung | $K=3$ | $P=K \cdot d^2$ |
| | Kabel mit gemeinsamem Metallmantel | $K=3$ | $P=K \cdot d^2$ |

P = Zugkraft in N

σ = zul. Zugspannung in N/mm²

A = Summe der Leiterquerschnitte ohne Berücksichtigung des Schirms

K = empirisch ermittelter Faktor in N/mm²

d = Kabeldurchmesser in mm

Die Abstände zwischen den im Trog liegenden Kabeln sollen etwa gleich dem Kabeldurchmesser sein. Eine Anordnung der Kabel direkt nebeneinander und übereinander führt zu einer Belastbarkeitsreduzierung durch die Kabelhäufung bzw. durch die damit verbundene Erwärmung.

An den Übergängen von Erd- auf Luft- oder Trog- auf Rohrverlegung sind die Kabel vor Beschädigung durch Scheuern oder Kantendruck zu schützen. Das kann durch Polster aus dauerelastischer Silikonmasse oder durch Sandaufschüttungen erreicht werden.

Werden bei der Verlegung von einadrigen Kabeln die einzelnen Längen nacheinander ausgelegt, ist darauf zu achten, dass die bereits ausgelegten Kabel nicht durch Scheuer- oder Schleifbewegungen des folgenden Kabels beschädigt werden. Dies gilt vor allem bei Unterquerungen in Rohren. In diesen Fällen ist daher für jedes Einleiterkabel ein Rohr vorzusehen. Diese dürfen jedoch nicht aus magnetischem Material (z. B. Stahlrohre) bestehen.

Wenn die Einleiterkabel nach dem Auslegen im Graben oder im Trog im Dreieck gebündelt werden sollen, stehen dafür geeignete unmagnetische Abstandhalter zur Verfügung. Auch das Bündeln mit speziellen, ggf. glasfaserverstärkten Kunststoffbändern ist üblich.

Zur eindeutigen Identifizierung der einzelnen Kabel ist die Kennzeichnung mit Kabelschildern aus geprägtem oder gelochtem und beständigem Kunststoffmaterial unerlässlich. Die Ordnungskennung legt der jeweilige Betreiber fest. Dabei können Buchstaben, z. B.

F = Fernmeldekabel,

S = Signalkabel,

B = Bahnenergiekabel,

RL = Rückleitungskabel

und ein Nummernschlüssel, der auch im Kabelanlageplan eingetragen wird, hilfreich sein.

Rückstromkabel und Kompensationsleiter sind, insbesondere bei der gemeinsamen Verlegung mit anderen Kabeln, lt. DB-Richtlinie 944 ff. und 998 ff. besonders zu kennzeichnen.

Es ist sinnvoll, die Kabelschilder mindestens

- in Höhe der Hektometerzeichen der Streckenkilometrierung,

- im Bereich von Muffen und Endverschlüssen,
- in Schächten,
- vor und hinter Durchführungen,
- am Übergang von Erd- zu Luftverlegung sowie
- von Trog- zu Rohrverlegung usw.

an den Kabeln bzw. Kabelsystemen anzubringen.

In Trögen ist ein geringerer Bezeichnungsabstand empfehlenswert.

Bei Erdverlegung ist 30–40 cm über den Kabeln, in der Trassenmitte, ein Kunststoffwarnband mit dem vom Betreiber vorgegebenen Aufdruck, z. B. „Bundesbahnkabel“, auszulegen. Nach Betreibervorgaben kann die Verlegung von Kabelabdeckhauben aus Kunststoff zusätzlich 10 cm über jeder Systemtrasse zum Einsatz kommen.

Nach der Füllbodenverdichtung wird die unterirdische Kabeltrasse durch Merksteine aus Beton oder Granit gekennzeichnet, die mit einem eingepprägten Kopfzeichen *K* für Kabel und *M* für Muffenpunkt (andere Kopfzeichen sind vom Betreiber vorzugeben) versehen sind. Diese Merksteine sind mit einer Umrandungsplatte zum Schutz vor Überwucherung auf der freien Strecke in Höhe der Hektometerzeichen und in Bahnhofsbereichen im Abstand von 25 m bis 50 m zu setzen, wobei der senkrechte Strich im Kopfzeichen (oder andere Vorgaben des Betreibers) parallel zur Kabeltrasse ausgerichtet wird. An den Winkelpunkten (Richtungsänderungen) der Kabeltrasse sind ebenfalls Merksteine zu setzen.

16.4.2 Garniturenmontage

Muffen sind vorzugsweise in Kabelschächten und bei Trograssen in Muffenbausätzen (Betonfertigteilen) unterzubringen.

An den Muffenstellen müssen sich die Kabelenden um mindestens eine halbe Muffenlänge überlappen.

Bei Erdverlegung ist der Kabelgraben an den Muffenstellen entsprechend aufzuweiten und nach den in der jeweiligen Montageanleitung angegebenen Muffenabmessungen anzupassen. Um die Kabel ausreichend absetzen und anschließend die Muffe gut montieren zu können, wird insbe-

Tab. 16.7 Fehlerursachen bei der Garniturenmontage

| Fehlerquelle | Prüfungen/Maßnahmen |
|--------------------------------|--|
| Fertigungsfehler | Abnahmeprüfung im Herstellerwerk durchführen. Prüfprotokolle verlangen. |
| Transport- und Lagerungsfehler | Kabelenden feuchtigkeitsdicht verschließen. Kabelspulen auf der Ladefläche sicher verkeilen, Kabelenden an der Trommel befestigen. Längere Lagerung im Freien vermeiden, um Witterungsschäden durch direkte Sonnenbestrahlung oder Kälte vorzubeugen. |
| Legungsfehler | Starke Biegebeanspruchung, Schürfbeanspruchung, scharfkantige Steine (Schotter) oder Gegenstände in der Unter- und Decklage vermeiden. Geschirmte Kabel sofort nach der Legung einer elektr. Mantelprüfung mit Gleich- oder Wechselspannung unterziehen. |
| Montagefehler | Adern bei der Garniturenmontage nicht anschneiden oder knicken. Leitschichten sorgfältig behandeln. Montageanleitungen strikt beachten. Leiterisolation nach Legung einer Spannungsprüfung unterziehen. |

sondere bei Übergangsmuffen eine Muffengrube von ca. 3 m Länge und 1,5 m Breite erforderlich. Die Muffenmontage setzt weitestgehend trockene Umgebungsverhältnisse voraus. Daher ist bei widrigen Witterungsverhältnissen die Aufstellung eines Montagezeltes über den Muffenpunkt unerlässlich.

Vor dem Endverschluss darf der Biegeradius nach 16.3.4 auf bis zu 50% verringert werden, wenn das Kabel vorher auf 30 °C erwärmt wurde und über eine Schablone gebogen wird.

Für kunststoffisolierte Niederspannungskabel sind in trockenen Innenräumen keine Endverschlüsse erforderlich. Daher ist die anschlussfertige Zubereitung der Kabelenden einfach. Der Kunststoffaußenmantel wird vorzugsweise mit einer Mantelschneidezange abgesetzt. Durch einen Längs- und einen Rundschnitt wird der Außenmantel bis auf den Innenmantel bzw. die Bandumwicklung aufgetrennt.

Dabei ist zu beachten, dass die Aderisolierung nicht angeschnitten wird. Der Kabelmantel lässt sich dann leicht entfernen. Sind die Adern von Kabeln mit VPE-Isolierung der Sonneneinstrahlung ausgesetzt, so ist die Leiterisolation mit übergeschobenen Schrumpfschläuchen zu schützen.

Im Außengelände erhalten die kunststoffisolierten Kabel einen Endverschluss, der vorzugsweise aus einer entsprechenden Schrumpfkappe besteht.

Die Enden von Mittelspannungskabeln müssen gegen das Eindringen von Feuchtigkeit ge-

schützt werden. Dafür stehen feldsteuernde Aufschiebeendverschlüsse aus Silikon und Aufteilungskappen aus mit Heißkleber beschichtetem Schrumpfmateriale, wie unter 16.2 beschrieben, zur Verfügung.

16.4.3 Ab- und Inbetriebnahmeprüfungen

Aufgrund der hohen Anforderungen an die Zuverlässigkeit und Lebensdauer von Kabelanlagen haben Messungen und Prüfungen eine große Bedeutung für die Beurteilung der Funktionsfähigkeit und der Betriebssicherheit.

Ziel der Prüfung an neuen Kabelanlagen ist es, unmittelbar nach dem Auslegen Kabelfehler oder Fehler bei der Garniturenmontage festzustellen. Häufige Fehlerursachen zeigt Tab. 16.7.

Um Schwach- und Fehlerstellen zu ermitteln, werden die Kabel mit einer Prüfspannung beaufschlagt, die zwei bis dreimal so hoch ist, wie die Betriebsspannung der Kabelanlage. Dafür kommt eine Gleichspannung, eine netzfrequente Wechselspannung mit 45–65 Hz oder eine VLF-Wechselspannung mit 0,1 Hz in Frage.

Am weitesten verbreitet ist die Gleichspannungsprüfung, da die erforderliche Ladeleistung gering ist. Die Spannungsquellen können damit klein und leicht gebaut werden und einfach an die zu messenden Endpunkte der Kabelanlage transportiert werden. Die Prüfpegel müssen allerdings wegen der fehlenden Polaritätswechsel

der Prüfspannung deutlich höher gewählt werden als für eine netzfrequente Wechselspannung. Die dadurch entstehenden hohen Raumladungen können die Kabel, insbesondere bei häufigen Wiederholungsprüfungen, nachhaltig schädigen.

Die langjährige Praxis hat jedoch gezeigt, dass mit Wechselspannungsprüfungen Kabelfehler sicherer erkannt werden. Daher wird vor Ort der Einsatz einer VLF-Prüfwechselspannung mit einer Frequenz von 0,1 Hz empfohlen. Die Prüfung sollte durch einen erfahrenen Messtechniker vorgenommen und mit einem Messprotokoll dokumentiert werden.

Das Protokoll ist zur Nachweisführung und für einen Vergleich mit den Werten von Folge-messungen bei den Instandhaltungsunterlagen aufzubewahren.

16.4.4 Schlussvermessung und Dokumentation

In die unter 16.3.3 beschriebenen Planunterlagen sind folgende Verlegedaten aufzunehmen:

- Kabeltypen,
- Fabrikat,
- Längenummern,
- Kabellänge in Meter,
- Trommel-Nummern,
- Muffenpunkte.

Zur Erstellung der Bestandspläne sowie für das Setzen der Kabel- und Muffenmerksteine ist die Kabeltrasse mit Schächten, Rohrzügen, Gleiskreuzungen und Muffenpunkten bei offenem Graben kartierungsfähig einzumessen. Bei mehreren Kabeln wird das Mittlere eingemessen.

Nach dem Verfüllen empfiehlt es sich, die Kabeltrasse für das Aufmaß zu verpflocken. Die Pflöcke werden im Abstand von ca. 50 m und bei allen Richtungsänderungen gesetzt und fortlaufend benummert. Anschließend wird eine Aufmaßliste mit den Pflöcknummern und den gemessenen Abständen erstellt. Das Aufmaß wird ebenfalls in die Bestandspläne übernommen.

Die so entstandene Dokumentation ist für die Instandhaltung und insbesondere für eine Fehlerortung im Störfall sehr hilfreich.

16.5 Betrieb und Instandhaltung

Kabelanlagen sollten möglichst von einer ständig besetzten Leitstelle aus überwacht werden.

Diese Maßnahme, gepaart mit regelmäßigen Inspektionen im Rahmen einer dokumentierten Instandhaltung, gewährleistet eine dauerhaft verfügbare Kabelanlage.

16.5.1 Kabelüberwachung

Für die Fahr- und Rückleitungskabel von Gleichstrombahnen, aber auch für andere mit einem Schirm ausgestattete Kabel, ist, insbesondere bei Erdverlegung, eine permanente, automatische Isolationsüberwachung sinnvoll.

Diese Aufgabe kann ein im jeweiligen Unterwerk im Kabelabgangsfeld installiertes Überwachungsgerät ohne Hilfsenergie zuverlässig erfüllen. Der Anschluss kann an alle Kabel mit konzentrischem Schirm bzw. Leiter und kunststoffisoliertem Außenmantel erfolgen.

Damit sind eine automatische Überwachung der Isolationsstrecken „Leiter-Schirm“ und „Schirm-Erde“ sowie eine zusätzliche Überwachung des Kabelschirmes auf Unterbrechung ständig gewährleistet. Darüber hinaus können derartige Überwachungsgeräte an besondere Anforderungen, wie bestimmte Betriebsverhältnisse, Alarmgebung, Auslösung und die Berücksichtigung von Spannungsverlusten in den überwachten Kabeln, problemlos angepasst werden.

Über die bahneigene Fernwirkanlage wird das Überwachungsgerät mit einer ständig besetzten Stelle, vorzugsweise einer technischen Leitstelle, verbunden.

Jegliche Isolationsschäden, sowohl innerhalb des überwachten Kabels als auch durch äußere Einwirkungen (z. B. Bagger oder auch Diebstahl) hervorgerufene Mantelschäden, erzeugen, je nach Geräteeinstellung, ein Alarmsignal in der Leitstelle oder eine automatische Abschaltung des dem Kabel zugeordneten Leistungsschalters, ebenfalls mit entsprechender Meldung.

Damit ist das gesamte Energiekabelnetz ständig automatisch überwacht und Beschädi-

Tab. 16.8 Schadensursachen bei Verlegungsarten

| Fehlerquelle | Prüfungen/Maßnahmen |
|--|---|
| Mechanische Beschädigungen bei nachträglichen Erdarbeiten | Regelmäßige Mantelprüfung mit Gleich- oder Wechselspannung. Ständige automatische Überwachung von wichtigen Kabelanlagen. Automatische Meldung von Schäden an eine ständig besetzte Stelle. Kabelmerkblatt verfassen und Auftragnehmer zur Einhaltung verpflichten. |
| Korrosionsschäden durch aggressive Bestandteile des Erdbodens oder durch kontaminierte Böden. | Regelmäßige Mantelprüfung mit Gleich- oder Wechselspannung. Ständige automatische Überwachung von wichtigen Kabelanlagen. Automatische Meldung von Schäden an eine ständig besetzte Stelle. |
| Elektrolytische Korrosion durch Streustrom | Isolation der Fahrschienen von Gleichstrombahnen gegen den Oberbau. Regelmäßige Kontrolle der Ableitbeläge der Fahrschienen, von Gleichstrombahnen. |
| Schäden durch außergewöhnliche thermische Beanspruchungen infolge von Kurzschlüssen, Kabelhäufungen und zu hohen Umgebungstemperaturen | Regelmäßige Prüfung der Isolationsstrecken „Leiter-Schirm“ und „Schirm-Erde“, möglichst durch ein automatisches Überwachungsgerät. |
| Schäden durch innere und äußere Überspannungen infolge von Erdschlüssen und Blitzentladungen | Alle Überspannungen können an isolationsschwachen Stellen der Kabelanlage zu Durchschlägen führen. Überspannungsableiter installieren. Regelmäßige messtechnische Prüfung der Isolationsstrecken. |
| Alterung | Je nach Belastungen und Umgebungseinflüssen kann mit einer Mindestlebensdauer von 30 - 50 Jahren gerechnet werden. Monitoringverfahren anwenden. Wiederkehrende Messungen statistisch auswerten. |

ungen werden unmittelbar sicht- und leichter bestimmbar.

16.5.2 Instandhaltung

Bei den regelmäßigen Inspektionen wird die Kabelanlage auf mögliche Schäden untersucht.

Dabei können die Kabeltrassen und die Endverschlüsse einer Sichtkontrolle unterzogen werden. Kabel auf Tunnelstrecken in offener Verlegung an den Tunnelwänden können so besonders gut kontrolliert werden.

Bei allen anderen Verlegungsarten bleiben nur regelmäßige elektrische Prüfungen, die grundsätzlich an allen Kabelanlagen durchgeführt werden sollten.

Ein verpflichtendes Kabelmerkblatt, das die Arbeiten in der Nähe von Kabeln regelt, ist unbedingt zu empfehlen. Dieses Merkblatt ist von der Baufirma nachweislich zu bestätigen. Darin sollte u. a. festgelegt sein, dass

- in der Nähe von Kabeln mit besonderer Sorgfalt gearbeitet werden muss,
- ab 30 cm Abstand von Kabeln Pickel und Hacken nicht mehr benutzt werden dürfen,

- ab 10 cm Abstand keine scharfen Werkzeuge verwendet werden,
- freigelegte Kabel zu sichern sind,
- bei Arbeiten mit Baumaschinen (Bagger) näher als 5 m von Kabeln entfernt, ständig eine Person zur Aufsicht und Unterstützung des Maschinenführers anwesend sein muss,
- das Eintreiben von Pfählen, Bohrern, Dornen und anderen Gegenständen, durch die Kabel beschädigt werden könnten, ab 30 cm beiderseits der Kabel verboten ist und bis zu 1 m beiderseits der Kabel nur bis zu 50 cm Tiefe zulässig ist,
- Kabeltröge und Rohrzüge nicht mit Baustellenfahrzeugen befahren werden dürfen und diese Trassen bei Baumaßnahmen deutlich zu kennzeichnen sind.

Die Mehrzahl aller Kabelstörungen ist erfahrungsgemäß auf äußere Einflüsse, z. B. auf unachtsame Erdarbeiten an der Kabeltrasse zurückzuführen. Da die Schadstelle in diesen Fällen bekannt ist, kann die Reparatur der Kabel nach deren Freilegung ohne aufwändige Fehlerortung erfolgen.

Ist dagegen die Lage der Fehlerstelle, z. B. infolge eines inneren Isolationsversagens, unbekannt, muss die Schadstelle mit speziellen Mess-

geräten geortet werden. Die Behebung einer Kabelstörung läuft i. d. R. wie folgt ab:

- Eingrenzung des Fehlers und Freischaltung der gestörten Kabelstrecke,
- Identifizierung des schadhaften Kabels,
- Trassenbegehung (ob das Kabel durch Baumaßnahmen beschädigt wurde),
- messtechnische Isolationsprüfung (Aus dem Ergebnis lässt sich die Fehlerart bestimmen und das geeignete Ortungsverfahren festlegen.),
- Wandlung des Fehlerwiderstandes bei hochohmigen Fehlern, durch Verkohlung (Brennen) der Isolierung, in eine niederohmige Fehlerstelle,
- Ermittlung der Entfernung der Fehlerstelle zum Anschlusspunkt mit einem Laufzeitmessgerät,
- Bestimmung des Kabelverlaufes im Bereich der Vorortung,
- punktgenaue Bestimmung der Fehlerstelle vor Ort, z. B. mit den Stoßspannungs- oder Impuls-Echo-Verfahren,
- Aufgraben des schadhaften Kabels,
- Schadstelle mit Reparaturmuffe bzw. Manschette oder durch Ausbrückung des Fehlers beseitigen,
- Muffengrube fachgerecht verfüllen,
- Reparaturstelle und ggf. Muffenpunkte in Bestandsunterlagen aufnehmen und Störungsdaten zu den Instandhaltungsunterlagen nehmen.

16.6 Normen, Richtlinien, Empfehlungen

- DIN EN 50163 (VDE 0115-102) Bahnanwendungen – Speisenspannungen von Bahnnetzen
- DIN EN 50267-1 und -2 (VDE 0482-267-1 und -2) Allgemeine Prüfverfahren für das Verhalten von Kabeln und isolierten Leitungen im Brandfall
- Teile 1 und 2: Prüfung der bei der Verbrennung der Werkstoffe von Kabeln und isolierten Leitungen entstehenden Gase

- DIN EN 50334 (VDE 0293-334) Kennzeichnung der Adern von Kabeln und Leitungen durch Bedrucken
- DIN EN 60228 (VDE 0295) Leiter für Kabel und isolierte Leitungen
- DIN EN 60332-1 (VDE 0482-332-1) Prüfungen an Kabeln, isolierten Leitungen und Glasfaserkabeln im Brandfall – Teil 1: Prüfung der vertikalen Flammenausbreitung an einer Ader, einer isolierten Leitung oder einem Kabel
- DIN EN 60332-2 (VDE 0482-332-2) Prüfungen an Kabeln, isolierten Leitungen und Glasfasern im Brandfall – Teil 2: Prüfung der vertikalen Flammenausbreitung an einer kleinen Ader, einer kleinen isolierten Leitung oder einem kleinen Kabel
- DIN EN 61034-1 (VDE 0482-1034-1) Messung der Rauchdichte von Kabeln und isolierten Leitungen beim Brennen unter definierten Bedingungen – Teil 1: Prüfeinrichtung
- DIN EN 61034-2 (VDE 0482-1034-2) Messung der Rauchdichte von Kabeln und isolierten Leitungen beim Brennen unter definierten Bedingungen – Teil 2: Prüfverfahren und Anforderungen
- DIN-VDE-0100-Serie Errichten von Starkstromanlagen mit Nennspannungen bis 1000 V
- DIN VDE 0101 Starkstromanlagen mit Nennspannungen über 1 kV
- DIN VDE 0105-100 Betrieb von elektrischen Anlagen – Teil 100: Allgemeine Festlegungen
- DIN VDE 0105-103 Betrieb von elektrischen Anlagen – Teil 103: Zusatzfestlegungen für Bahnen
- DIN VDE 0250-214 Isolierte Starkstromleitungen – Teil 214: Installationsleitung NHXMH mit verbessertem Verhalten im Brandfall
- DIN VDE 0250-215 Isolierte Starkstromleitungen – Teil 215: Installationsleitung NHMH mit speziellen Eigenschaften im Brandfall

| | | | |
|-------------------|--|-------------------|--|
| DIN VDE 0266 | Starkstromkabel mit verbessertem Verhalten im Brandfall | DIN VDE 0816-2 | Außenkabel für Fernmelde- und Informationsverarbeitungsanlagen, Signal- und Messkabel |
| DIN VDE 0276-603 | Starkstromkabel – Teil 603: Energieverteilungskabel mit Nennspannungen U_0/U 0,6/1 kV | DIN VDE 0816-3 | Außenkabel für Fernmelde- und Informationsverarbeitungsanlagen – Kabel mit Isolierhülle aus Papier |
| DIN VDE 0276-605 | Starkstromkabel – Teil 605: Ergänzende Prüfverfahren | DIN EN 60794-3 | Lichtwellenleiter – Rahmenspezifikation Außenkabel |
| DIN VDE 0276-620 | Starkstromkabel – Teil 620: Energieverteilungskabel mit extrudierter Isolierung für Nennspannungen 3,6/6 (7, 2) kV bis 20,8/36 (42) kV | DIN EN 187105 | Einmoden – Lichtwellenleiterkabel für Röhren- und direkte Erdverlegung |
| DIN VDE 0276-1000 | Starkstromkabel – Teil 1000: Strombelastbarkeit, Allgemeines, Umrechnungsfaktoren | DIN VDE 0891-1 | Verwendung von Kabeln und isolierten Leitungen für Fernmeldeanlagen und Informationsverarbeitungsanlagen – Allgemeine Bestimmungen |
| DIN VDE 0293-308 | Kennzeichnung der Adern von Kabeln/Leitungen und flexiblen Leitungen durch Farben | DIN VDE 0891-6 | Verwendung von Kabeln und isolierten Leitungen für Fernmeldeanlagen und Informationsverarbeitungsanlagen – Besondere Bestimmungen für Außenkabel |
| DIN VDE 0472-603 | Prüfungen an Kabeln und isolierten Leitungen – Teil 603: Biegeverhalten | DIN EN 61537 | Kabelträgersysteme zum Führen von Leitungen für elektrische Energie und Informationen |
| DIN VDE 0472-604 | Prüfungen an Kabeln und isolierten Leitungen – Teil 604: Dichtheit von Kabelmänteln | DIN VDE 0289 | Begriffe für Starkstromkabel und isolierte Starkstromleitungen |
| DIN VDE 0472-815 | Prüfungen an Kabeln und isolierten Leitungen – Teil 815: Halogenfreiheit | IEC 60287 | Kabel – Berechnung der Strombelastbarkeit |
| DIN EN 50340 | Hydraulische Kabelschneidgeräte – Geräte zur Verwendung an elektrischen Anlagen mit Nennwechselspannungen bis 30 kV | DIN 4102 | Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen |
| DIN VDE 0815 | Installationskabel und –leitungen für Fernmelde- und Informationsverarbeitungsanlagen | DIN EN 50121-1 | Elektromagnetische Verträglichkeit |
| DIN VDE 0816-1 | Außenkabel für Fernmelde- und Informationsverarbeitungsanlagen – Kabel mit Isolierhülle und Mantel aus Polyethylen in Bündelverseilung | BGV A 3 | Unfallverhütungsvorschrift – Elektrische Anlagen und Betriebsmittel |
| | | TR BS 2131 | Technische Regeln für Betriebssicherheit - Elektrische Gefährdungen |
| | | DB-Richtlinie 178 | Stromkreuzungsvorschriften sowie Kreuzungen, Näherungen und Parallelführungen mit bahnfremden Kabeln |

| | | | |
|--------------------------|--|--------------------------|--|
| DB-Richtlinie 800 ff. | Bahnanlagen entwerfen – Neubaustrecken | DB-Richtlinie 954 ff. | Elektrische Energieanlagen |
| DB-Richtlinie 804 ff. | Kabelverlegung auf Brücken | DB-Richtlinie 997 ff. | Oberleitungsanlagen planen, bauen und instandhalten |
| DB-Richtlinie 819 | LST-Anlagen planen | DB-Richtlinie 998 | Richtlinie für die Unterhal- tung der Fahrleitungen (Gleichstrom S-Bahn Berlin) |
| DB-Richtlinie 836 | Erdbauwerke planen, bauen und instandhalten | DB-Richtlinie 99702 | Maschinen, Energie und Elektrotechnik, Werkstättenwesen und Oberleitungsanlagen |
| DB-Richtlinie 853 | Eisenbahntunnel planen, bauen und instandhalten | | |
| DB-Richtlinie 892 ff. | LST-Anlagen montieren und instandhalten | | |
| DB-Richtlinie 899 ff. | Richtlinien für den Bau von Fernmelde-, Signal-, und Starkstrom-Kabelanlagen | | |

Thomas Schnurrer

17.1 Einleitung

Betrachtet man die Entwicklung der Eisenbahn von den Anfängen an, so ist festzustellen, dass die Bedeutung der Telekommunikationstechnik für das Eisenbahnwesen – früher Fernmeldetechnik genannt – kontinuierlich zugenommen hat und weiter zunimmt.

Die Bedürfnisse einer zunehmend mobilen Gesellschaft, gepaart mit der Anforderung, Eisenbahnverkehr nicht nur sicher, sondern auch wirtschaftlich zu betreiben, sind wesentliche Treiber dieser Entwicklung. Die zentrale Betriebsführung des Eisenbahnverkehrs in Betriebszentralen oder Zentralstellwerken ist nur mit der Unterstützung leistungsfähiger und hoch verfügbarer Telekommunikationstechnik für die Daten- und Sprachkommunikation möglich.

Die Gesetze und Verordnungen, die im Wesentlichen die Grundlagen für den Eisenbahnbetrieb in Deutschland bilden, enthalten bereits die grundlegenden Anforderungen für die Ausprägung der Telekommunikationsanlagen (siehe z. B. AEG § 4 [1]). So besteht in der EBO [2] bereits die konkrete Forderung zur Ausrüstung von Betriebsstellen mit Fernsprechanlagen oder von Eisenbahnstrecken mit Zugfunk (z. B. EBO § 16 Fernmeldeanlagen).

Mit dem EU-Vertrag über die Arbeitsweise der Europäischen Union (siehe [3], Dritter Teil,

Titel XVI, Artikel 170, 171), den EU-Richtlinien zur Interoperabilität des Eisenbahnwesens in der Europäischen Union [4] bzw. deren nationaler Umsetzung [5] wurden in jüngster Vergangenheit die Regelungen geschaffen, welche die aktuellen Entwicklungen in der bahnbetrieblichen Telekommunikationstechnik am wesentlichsten beeinflussen (Beispiel Abb. 17.1).

17.1.1 Bahnbetriebliche Telekommunikationsanlagen

Beim Studium der folgenden Abschnitte könnte die Frage aufkommen, was an der beschriebenen Technik so besonders ist, dass ein Eisenbahnunternehmen den eigenen Betrieb dieser Anlagen und Netze für notwendig hält bzw. ob nicht die gleiche Funktionalität unter Nutzung öffentlicher Netze/Dienste ebenfalls möglich wäre.

Um diese Frage zu erläutern, soll das BASA-Netz¹ als Beispiel dienen. Vor der Liberalisierung des Telekommunikationssektors 1998 hatte die Deutsche Telekom AG bzw. deren Vorläuferorganisationen, auf Basis des Fernmeldeanlagengesetzes (FAG) das ausschließliche Recht, Leistungen für den Sprachtelefondienst zu erbringen. Eine der wenigen Ausnahmen davon bestand für die DB AG. Die DB AG und ihre Vorgängerorganisationen besaßen bereits seit 1928 das Recht zum Betrieb eines eigenen Fernmeldenetzes. Das

T. Schnurrer (✉)
DB Netz AG, 60326 Frankfurt a. M., Deutschland
E-Mail: Thomas.Schnurrer@deutschebahn.com

¹ Bahnselbstanschluss-Anlagen.



Abb. 17.1 Europäische Regelungen als Grundlage nationaler GSM-R-Netze

Ergebnis war das sog. BASA-Netz. Es bestand ursprünglich ausschließlich aus Vermittlungsstellen und Leitungswegen, die im Eigentum der DB AG waren und auf bahneigenem Gelände ruhten. Angeschlossen waren in den Hochzeiten deutschlandweit ca. 300.000 Teilnehmer aus allen Tätigkeitsbereichen, von operativen Stellen (z. B. Fahrdienstleiter) hin bis zur Verwaltung. Auch nicht personell besetzte Stellen, z. B. Technikräume der verschiedenen Fachdienste, waren häufig mit einem BASA-Telefon ausgestattet.

Die Entwicklung des BASA-Netzes begann mit der Hebdrehwähler-Technik in den Anfängen und führte über die Migration zur ISDN-Technik² Anfang der 90er-Jahre hin zu einem VPN-Bahn³, das für die DB AG heute von der Konzerntochter DB Systel in VoIP-Technologie⁴ für den Gesamtkonzern betrieben wird (VoIP-Endgerät Abb. 17.2). Dabei werden sowohl Netzressourcen der DB AG als auch Ressourcen öffentlicher Netzbetreiber genutzt.

Dieses Netz dient jedoch nicht unmittelbar zur Abwicklung des Eisenbahnbetriebs – wie z. B. zur Übermittlung von Zugmeldungen oder Befehlen –, sondern in erster Linie der allgemeinen Sprach- und Datenkommunikation („Bürokommunikation“).

Da es keine direkte⁵ sicherheitliche Relevanz für den Eisenbahnbetrieb hat, besteht auch nicht die Notwendigkeit, dass die Betriebshoheit für dieses Netz bei dem Eisenbahnverkehrsunternehmen bzw. Eisenbahninfrastrukturunter-



Abb. 17.2 VoIP-Telefon der Fa. Cisco

nehmen (EIU/EVU) liegt. Unabhängig davon nutzen einzelne EIU/EVU der DB AG deshalb auch andere alternative technische Lösungen für diese Art der allgemeinen Kommunikation. So rüstet z. B. die DB Netz AG als wirtschaftliche Alternative zu einem Festnetzanschluss aus dem VPN-Bahn, Fdl-Arbeitsplätze mit GSM-Tischtelefonen (Abb. 17.3) aus, in die handelsübliche SIM⁶-Karten aus dem öffentlichen Mobilfunknetz eingesetzt sind.

Auch wenn im DB AG-internen Sprachgebrauch oft noch vom „BASA-Netz“ die Rede ist

² Integrated Services, Digital Network. Netztechnologie zur Integration von Sprach- und Datendiensten.

³ Virtual Private Network.

⁴ Voice over Internet Protokoll, Internettelefonie.

⁵ Indirekt besteht der Nutzen, dass diese Anschlüsse im Rahmen von Rückfallkonzepten für die bahnbetriebliche Kommunikation Verwendung finden können.

⁶ Subscriber Identity Module.



Abb. 17.3 GSM-Telefon für ortsfeste Anwendungen der Fa. JabloCom

und der Begriff auch noch in so manch aktueller Beschreibung verwendet wird, hat er aus technologischer Sicht praktisch nur noch historische Bedeutung.

Im Unterschied zur allgemeinen Sprachkommunikation gibt es bei Eisenbahnen Telekommunikationstechnik, die unmittelbar der Abwicklung des Bahnbetriebes dient. Über sie werden z. B. direkt Zugmeldungen, Fahrbefehle oder Notrufe übermittelt. Diese Systeme sind Bahnanlagen im Sinne der EBO [2]. EIU bzw. EVU haben danach eine besondere Verantwortung für den sicheren Betrieb dieser Technik in allen Phasen des Lebenszyklus, von der Entwicklung über den Betrieb hin bis zu deren Außerbetrieb-Setzung.

Aufgrund ihrer direkt unterstützenden Funktion sind bahnbetriebliche Telekommunikationsanlagen seitens der Aufsichtsbehörde – dem Eisenbahn-Bundesamt – eingestuft als „Anlagen mit Sicherheitsaufgaben“ und unterliegen damit den für diese Anlagen geltenden besonderen Regelungen für Zulassung, Bau und Betrieb [6, 7].

Für die Wahrnehmung der Betriebshoheit ist es deshalb sehr von Vorteil oder sogar notwendig, dass diese Telekommunikationsanlagen und die dazugehörigen Netze sich im Eigentum des EIU/EVU befinden. Der Betreiber muss jederzeit dazu in der Lage sein, veränderte bahnbetriebliche Anforderungen an einen bereitgestellten Dienst (z. B. Qualitätsanforderungen) umsetzen zu können.

In den folgenden Abschnitten werden schwerpunktmäßig Techniken für bahnbetriebliche Telekommunikationsanlagen beschrieben. Sie lassen sich übergreifend folgendermaßen untergliedern:

- a. Funk- und Festnetzkommunikation
 - Digitale Funktechnik
 - Analoge Funktechnik
 - Betriebsfermeldeanlagen
- b. Steuerungs-/Meldetchnik
 - Betriebliche Gefahrenmeldeanlagen
 - Melde und Anlagensysteme
- c. Videotechnik
- d. Kabel- u. Übertragungstechnik
 - Übertragungssysteme
 - Übertragungswege
- e. Bautechnische Infrastruktur
 - Stromversorgungstechnik
 - Bauwerk-Anlagentechnik
- f. Sonstige Informationstechnik
 - Beschallungs- und Wechselsprechtechnik.

17.1.2 Hauptaspekte der technologischen Entwicklung

Die technologische Entwicklung im Bereich der Bahn-Telekommunikation wird heute im Wesentlichen von folgenden Aspekten geprägt, die zudem stark miteinander verknüpft sind:

- Dienstintegration
- Einsatz marktgängiger Technik
- Product-Lifecycle-Management (Produktlebenszyklusmanagement – PLM)

In der Zeit, in der die Funktionalität eines Sprach- oder Datendienstes ausschließlich durch seine Hardware konfiguriert war, bestand pro Dienst ein separates technisches System. Die jeweiligen lokalen Systeme, die Dienste bereitstellten,

waren darüber hinaus untereinander auch noch ausschließlich vernetzt. So bestanden parallel zueinander viele dienstspezifische Netze verschiedenster Größe und Ausprägung, die jeweils ihre separaten Übertragungstechnischen Ressourcen benötigten und belegten. Die gemeinsame Nutzung von i. d. R. Kupfer-Übertragungswegen (z. B. symmetrische Doppelader auf Streckenfernmeldekanälen) war wegen der proprietären Schnittstellen der Systeme oder fehlender Übertragungstechnik zudem oft ausgeschlossen.

So bestanden auf einer Betriebsstelle, am Arbeitsplatz eines Fahrdienstleiters, z. B. für die folgenden Dienste jeweils separate technische Einrichtungen mit separater Vernetzung:

- Fernsprechverbindung der Zugüberwachung (Fd Zü),
- Fernsprechverbindung der elektrischen Zugförderung (Fd Zes),
- Fernsprechverbindung der Zugfunk-Vermittlung (Fd ZBF, Bereich der alten Bundesländer),
- Streckenfernsprechverbindung (Fs).

Der Gedanke der Dienstintegration – also auf einer technischen Plattform mehrere Dienste zu betreiben – wurde im Bereich der öffentlichen Netze z. B. mit der Einführung des ISDN Realität. Im Bereich der bahnbetrieblichen Telekommunikation kam hier mit der Einführung des GSM-R der Durchbruch. Heute laufen z. B. die o. g. Dienste am Arbeitsplatz eines Fahrdienstleiters als Applikation auf der gemeinsamen Plattform GSM-R. Der Anwender kann sie darüber hinaus über ein einziges Endgerät bedienen (Näheres Abschn. 17.2).

Die Dienstintegration ist ein laufender Prozess, der technologisch einhergeht mit der konsequenten Fokussierung auf marktgängige Komponenten. In der Vergangenheit, zur Zeit der Deutschen Bundesbahn bzw. der Deutschen Reichsbahn, entwickelte die Industrie aufgrund der besonderen, funktionalen Anforderungen der Bahnen besondere Systeme (z. B. System Zugfunk 70 der Fa. AEG), die quasi nur im Bereich der Eisenbahn zur Anwendung kamen – was entsprechende Stückkosten zur Folge hatte und Herstellern z. T. Monopolstellungen einräumte.

Zudem sinken aufgrund zunehmender Konzentration von Technik und Technikstandorten die zu erwartenden Abnahmemengen einer Komponente über deren Lebenszyklus, was Eigenentwicklungen zusätzlich wirtschaftlich unattraktiv macht. Die Anforderung an einen wirtschaftlichen Bahnbetrieb ist somit nur durch konsequenten Einsatz von marktgängigen TK-Systemen und Komponenten zu erfüllen. Um deren Vernetzung technisch und wirtschaftlich gestalten zu können, müssen sie zudem über standardisierte Schnittstellen verfügen.

Mit seiner Forderung nach Marktgängigkeit unterwirft sich der Betreiber jedoch im Gegenzug dem Lebenszyklus der Technologie am freien Markt. Die Produktlebenszyklen für IT/Tk-Komponenten sind in den letzten Jahrzehnten aufgrund der hohen Dynamik der technologischen Entwicklung und des starken Wettbewerbs jedoch ständig gesunken. Für Eisenbahnunternehmen kommt hier, neben dem Aspekt der Finanzierung, verschärfend noch der zeit- und kostenintensive Prozess der bahnspezifischen Sicherheits- und Zuverlässigkeitserprobung im Rahmen der Zulassung hinzu. Aufgrund dieser Besonderheiten ist ein erfolgreiches Management des Produktlebenszyklus aktuell eine der größten Herausforderungen an die Betreiber. An Lösungswegen wird zusammen mit der Bahnindustrie und der Behörde intensiv gearbeitet.

17.2 Das GSM-R Netz

Ausgehend von den EU-Richtlinien zur Interoperabilität des Eisenbahnwesens in der Europäischen Union [4], wurden auf europäischer Ebene Technische Spezifikationen zur Interoperabilität (TSI) erarbeitet. Die TSI „Zugsteuerung, Zugsteuerung und Signalgebung“ (TSI CCS) [8] verweist wiederum auf die vom internationalen Eisenbahnverband (UIC⁷) erarbeiteten Spezifikationen zum „European Integrated Railway Radio Enhanced Network“ (EIRENE-Spezifikationen) [9]. Es besteht eine Spezifikation für Funktions-

⁷ Union Internationale des Chemins de fer.

Abb. 17.4 GSM-R-Frequenzen der DB AG

| Überblick Frequenzbänder GSM-R für die DB AG | |
|--|--|
| Frequenzbereiche | 876,2 bis 880 MHz (Uplink), 921,2 bis 925 MHz (Downlink) |
| Kanal | 955 – 974 (19 Kanäle) |
| Kanalabstand | 200 kHz |
| Modulation | GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying), Phasensprung von $\pi/2$ (90 °) bei Symbolübergängen |
| Zugriffsarten | TDMA (Time-Division Multiple Access) TDD/FDD (Time and Frequency Division Duplex) |
| Anzahl Kanäle/Träger | 8 Zeitschlitz pro TDMA-Rahmen (4,615 ms) 148 Bits pro Zeitschlitz, entspricht 577 μ s |
| Sprache | Digitale Übertragung mit Full Rate Speech Codec (13 kbit/s) RPE-LTP (Regular Pulse Excited Code with Long Term Prediction) |

anforderungen (EIRENE FRS) und eine weitere für Systemanforderungen (EIRENE SRS). Diese bilden die Grundlage für ein Mobilfunksystem, das auf dem allgemeinen Funkstandard GSM basiert jedoch zusätzlich für den Einsatz bei Eisenbahnen funktional erweitert wurde: das GSM-R⁸ System.

Die DB AG hatte 1997 die Errichtung eines digitalen Betriebsfunknetzes nach dem Mobilfunkstandard GSM-R zunächst extern beauftragt. Seit Anfang des Jahrtausends führt sie dessen Aufbau, inklusive der Funk- und Festnetzplanung, jedoch selbst durch. Innerhalb des Konzerns ist die DB Netz AG der Betreiber des GSM-R-Netzes. Die DB Netz AG verfügt über eine eigene Testplattform zur Systementwicklung und führt den technischen Betrieb des Netzes inklusive der Teilnehmerverwaltung selbst durch. Das Netz ist somit wichtiger Bestandteil der von der DB Netz AG bereitgestellten und vermarkteten Eisenbahninfrastruktur. Von dem insgesamt gut 33 Tkm langen Streckennetz der DB AG werden im Endausbau ca. 29 Tkm mit GSM-R versorgt sein. Im Jahr 2012 wurde dieses Ziel zu ca. 95 % erreicht.

Mit der Entscheidung für das GSM-R-Netz wurde die Möglichkeit geschaffen, das gesamte Telekommunikationssystem der DB AG entscheidend zu verbessern. Die Kommunikationsprozesse der Geschäftsbereiche lassen sich

optimieren und als virtuelle Systeme – den Applikationen – auf einer Gesamtplattform abbilden. Dabei werden die vorhandenen öffentlichen TK-Standards durchgängig genutzt, um ein flexibles benutzerfreundliches Netz zu schaffen, das dem Grundbedürfnis nach Mobilität Rechnung trägt, die Sicherheitsforderungen und Betriebsverfahren der DB AG berücksichtigt, allgemeine und signaltechnische Kommunikationsnetze verbindet und das zentral zu administrieren ist.

Die Netzarchitektur ist modular und ermöglicht somit relativ einfach die Anpassung an sich ändernde Anforderungen (z. B. Kapazitäten). Sie unterstützt das Konzept der Betriebszentralen. Profiteure sind darüber hinaus in gleichem Maße DB AG-interne Geschäftsbereiche, die Personen-, oder Güterverkehr betreiben, sowie auch alle anderen EVU auf dem liberalisierten europäischen Verkehrsmarkt.

Neben den Aspekten der Interoperabilität ersetzt das GSM-R-Netz mittelfristig nahezu alle analogen Funkssysteme der DB AG (Abschn. 17.3).

17.2.1 Frequenzbereich

Die für Anwendungen nach GSM-Standard reservierten Frequenzen befinden sich im GSM900-Band (siehe Abbildung 17.4).

⁸ Global System for Mobile Communications – Rail(way) (GSM-R oder GSM-Rail).

17.2.2 Funktionale Merkmale

Die speziell für den Bahnbetrieb erforderlichen Funktionalitäten der Funkdienste (Applikationen) finden sich in den sog. R-Merkmalen wieder.

ASCI-Funktionen (Advanced Speech Call Items) Die Advanced Speech Call Items sind eine Gruppe von Leistungsmerkmalen, die folgende Funktionen beinhalten:

1. eMLPP (Enhanced Multilevel Precedence and Preemption Service)

eMLPP stellt im GSM-R Mobilfunknetz sicher, dass vorrangige Verbindungen in Notfällen und bei bestimmten Anwendern aufgebaut werden. Eisenbahnbetrieblich wird es genutzt, um sicherzustellen, dass u. a. Notrufe in besonderer Form signalisiert werden (Vorrang des Eisenbahnbetriebs). Der eMLPP-Service besteht aus zwei Teilen:

- Precedence: Bestimmt die Priorität im Verbindungsaufbau und den Handover einer Verbindung.
- Preemption: Wenn in der benötigten Zelle kein freier Kanal verfügbar ist, können Verbindungen niedrigerer Priorität beendet werden.

Gemäß EIRENE SRS [9] sind folgende Prioritätsstufen für den Verbindungsaufbau festgelegt:

- 0: Bahn-Notrufe (z. B. Zugfunknotruf und Rangierfunknotruf)
- 1: ETCS – Daten
- 2: Notruf 112 und Gruppenruf „Alle Züge im Bereich“
- 3: bahnbetriebliche Gespräche
- 4: dispositive Gespräche

2. VBS (Voice Broadcast Service = Sammelruf)

Der Sammelruf ist ein Ruf, der alle im Sammelruffbereich befindlichen, berechtigten Teilnehmer erreicht. Der rufaufbauende Teilnehmer kann sprechen, alle anderen Teilnehmer nur hören. Der Sammelruf erfolgt dabei innerhalb einer definierten Gruppe und in einem definierten Bereich. Diese Parameter werden in einer zentralen Netzkomponente, dem Group Call Register (GCR) vorgehalten.

3. VGCS (Voice Group Call Services = Gruppenruf)

Ein Gruppenruf ermöglicht einer Gruppe von Teilnehmern, in einem vordefinierten Gebiet miteinander zu kommunizieren. Der VGCS erreicht alle im definierten Bereich befindlichen berechtigten Teilnehmer. Der auslösende mobile Teilnehmer kann den Sprachkanal einem anderen Teilnehmer überlassen, der Wechsel des Uplink kann mehrfach erfolgen. Eine betriebliche Anwendung des VGCS ist z. B. der Notruf in der Applikation Zugfunk.

Funktionale Adressierung Die funktionale Adressierung erlaubt einem Anwender oder einer Anwendung, unter einer Nummer erreicht zu werden, die die relevante Funktion kennzeichnet – nicht das Teilnehmer-Endgerät. Das funktionale HLR⁹ (HLRF) steuert dabei die Zuordnung von funktionellen Nummern zur MSISDN¹⁰. Der Teilnehmer muss sich mit seiner MSISDN und der funktionalen Nummer zu Beginn seiner Tätigkeit registrieren. Die Zuordnung und Übersetzung der funktionalen Nummer in die MSISDN erfolgt dann durch das Netz.

Ortsabhängige Adressierung Die ortsabhängige Adressierung ermöglicht das Routing von Anrufen von einem mobilen Teilnehmer (z. B. einem Zug) zum zuständigen ortsfesten Teilnehmer (z. B. Fahrdienstleiter). Unabhängig von seiner momentanen Position wählt z. B. der Triebfahrzeugführer die Kurzwahl für den Fahrdienstleiter. Das Netz identifiziert zu dem Anruf die rufaufbauende Zelle und leitet den Ruf an den für diese Zelle betrieblich zuständigen Fahrdienstleiter weiter.

Dazu wird für jede Zelle die Information hinterlegt, welche Ziel-Rufnummer bei Aussenden einer bestimmten Kurzwahl angerufen werden soll. Folgende wichtige Kurzwahlen wurden auf Basis der EIRENE-Spezifikation festgelegt:

- Zugdisponenten 1200,
- Fahrdienstleiter 1300,

⁹ Home Location Register.

¹⁰ Mobile Station International ISDN Number.

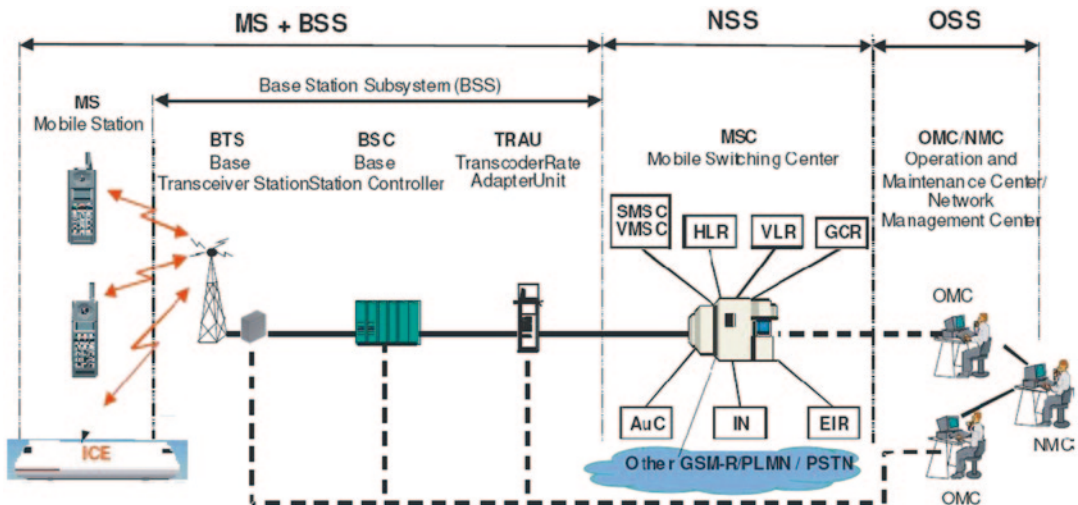


Abb. 17.5 Teilsysteme des GSM-R-Netztes

- Weichenwärter 1350,
- Zentralschaltstelle 1400,
- Transportleitung EVU 1800.

Bahnnotrufe Der Bahnnotruf (Railway Emergency Calls – REC) wird benötigt, um Bahnbetriebspersonal in einem bestimmten Bereich bei einem Notfall zu alarmieren. Der Bahnnotruf ist ein VGCS mit höchster Priorität (0) beim Verbindungsaufbau. Endgeräte von Fahrdienstleitern, Triebfahrzeugführern, Rangierern, Gleisarbeitern oder anderen Benutzern besitzen i. d. R. eine besondere Notruftaste, um diesen Ruf aufzubauen. Folgende wichtige Notrufe wurden auf Basis der EIRENE-Spezifikation festgelegt:

- Zugfunk Notruf 299,
- Notruf Strecke (Betriebsfunk) 569,
- Rangierfunk Notruf 599.

17.2.3 GSM-R-Architektur

Gemäß der GSM-Spezifikation 1.02 werden GSM-Systeme in drei Teilsysteme unterteilt:

1. Funkteilsystem: Base Station Subsystem (BSS), Mobile Station (MS),
2. Vermittlungs-Teilsystem: Network and Switching Subsystem (NSS),

3. Betreiber-Teilsystem: Operation Subsystem (OSS).

Abbildung 17.5 zeigt die drei Teilsysteme und weitere wesentliche Netzkomponenten in vereinfachter Darstellung.

17.2.3.1 Funkteilsystem

Das Funkteilsystem besteht aus mobilen Endgeräten (Mobile Station – MS) und dem Basisstationssystem (Base Station Subsystem – BSS).

Mobile Station (MS) Unter dem Begriff „Mobilstation“ versteht man die physikalische Ausrüstung des PLMN-Teilnehmers (PLMN – Public Land Mobile Network, öffentliches Mobilkommunikationsnetz). Sie enthält das Funkgerät und die Benutzerschnittstelle, die der Teilnehmer für den Zugriff auf die PLMN-Dienste benötigt.

Die GSM-Mobilstation besteht aus zwei Teilen. Der erste Teil enthält die für die Funkschnittstelle spezifischen Hardware- und Softwarekomponenten, der zweite Teil – das Subscriber Identity Module (SIM) – alle teilnehmerspezifischen Informationen. Das SIM ist entweder fest eingebaut oder als Smart Card realisiert und hat die Funktion eines Schlüssels. Ist das SIM aus dem Funkgerät entfernt, kann dieses nur noch, soweit es das Netz erlaubt, für Notrufe genutzt

werden. Mit Hilfe des SIM kann sich ein Teilnehmer über jede beliebige Mobilstation im Netz identifizieren. Entsprechend kann ein Funkgerät unabhängig vom jeweiligen Benutzer verwendet werden. Außerdem hat jede Mobilstation ihre weltweit eindeutige Mobilgeräte-Kennungsnummer (International Mobile Equipment Identity – IMEI).

Für die Verwaltung einer Mobilstation innerhalb des GSM-Netzes werden ihr folgende Nummern bzw. Identitäten zugeordnet:

- International Mobile Station Identity (IMSI),
- Temporary Mobile Station Identity (TMSI),
- Mobile Station International ISDN Number (MSISDN),
- Mobile Station Roaming Number (MSRN).

Base Station Subsystem (BSS) Das BSS stellt die Verbindung zwischen dem drahtgebundenen Teil des GSM-Netzes und dem Funkteil her. Über die Funkschnittstelle U_m können Mobilstationen auf Kanäle des BSS geschaltet werden, während über die A-Schnittstelle die Verbindung mit dem Vermittlungsteilsystem hergestellt wird. Jede Basisstation versorgt, entsprechend der örtlichen funktechnischen Gegebenheiten und abhängig von der Teilnehmerdichte, ein bestimmtes geographisches Gebiet, eine „Zelle“. Das Base Station Subsystem umfasst herstellerepezifisch folgende funktionale Einheiten:

1. Die Funkfeststation (Base Transceiver Station – BTS, Abb. 17.6) ist die Funkeinrichtung einer Zelle, die für das Senden und Empfangen von Funksignalen, für die Überwachung und für die Übertragung der Vermittlungs- und Signalisierungssignale über die A_{bis} -Schnittstelle zur Feststationssteuerung verantwortlich ist. Eine entsprechend ausgerüstete BTS kann über sektorisierte Antennen auch mehrere Zellen bilden (z. B. drei 120° -Sektorzellen).
2. Die Feststationssteuerung (Base Station Controller – BSC) verwaltet i. d. R. mehrere Feststationen, steuert die Kanalzuweisung und die Übergabeprozedur zwischen zwei oder mehreren Zellen, verwaltet Funkkanäle und den Wartepuffer, überwacht die Funkrufe und die vermittlungsbezogene Übertragungspozedur.



Abb. 17.6 GSM-R-Senderstandort an einer Bahnstrecke

17.2.3.2 Vermittlungsteilsystem (Network & Switching Subsystem – NSS)

Vermittlungsorientierte bzw. netzorientierte Funktionen werden im NSS durchgeführt. Das NSS bildet ein Übergangsnetz zwischen dem Funknetz und den Festnetzen. Die Gesamtheit der Elemente eines NSS sind nicht nur rein physikalische Komponenten. Vielmehr stellt das NSS eine Vielzahl von Funktionalitäten bereit, deren Realisierung und Implementierung zwar immer normiert, aber oft als spezifisch angepasste Applikation auf der Grundlage eines Netzentwicklungsplans zwischen Hersteller und Netzbetreiber abgestimmt ist. Bestandteile des NSS sind die Mobilfunkvermittlungsstelle (Mobile Switching Center – MSC), das Heimatregister (Home Location Register – HLR), das Besucherregister (Visitor Location Register – VLR), das Authentifikationszentrum (Authentication Center – AuC) und das Geräte-Identifizierungs-

register (Equipment Identification Register – EIR).

Mobile Switching Center – MSC Die Mobilfunk-Vermittlungsstelle MSC ist eine digitale Vermittlungsstelle hoher Leistungsfähigkeit, die sowohl normale Vermittlungsaufgaben ausführt als auch das Netz verwaltet. Jede MSC vermittelt in dem ihr zugeordneten geographischen Bereich die Mobilteilnehmer untereinander und zu anderen angeschlossenen Netzen. Zu den Aufgaben der MSC gehören alle Signalisierungsprozesse, die zum Aufbau, Abbau und zum Verwalten von Verbindungen benötigt werden. Weiterhin steuert sie mobilfunkspezifische Funktionen, wie den BSC-übergreifenden Zellwechsel (Handover). Weitere Aufgaben der MSC sind die Realisierung der aus dem ISDN bekannten Zusatzdienste Rufweiterleitung, Rufsperrung, Konferenzschaltung, geschlossene Benutzergruppe.

Home Location Register – HLR In der als HLR bezeichneten Datenbank sind für alle diesem Netz zugeordneten Mobilfunkteilnehmer die signifikanten Informationen (quasi-permanente, statische Daten) wie Rufnummer (IMSI), MSISDN, Geräteart, abonnierte Basis- und Zusatzdienste, Zugangsprioritäten, Authentifikationsschlüssel gespeichert. Darüber hinaus werden auch temporäre dynamische Teilnehmerdaten, z. B. aktueller VLR-Eintrag der Mobilstation (Location Area), die für einen Verbindungsaufbau notwendig sind, gespeichert. Verlässt der Teilnehmer seinen momentanen Standort, erfolgt im HLR eine sofortige Aktualisierung der temporär gehaltenen Daten. Meistens ist das HLR bei einer MSC angeordnet.

Visitor Location Register – VLR Das VLR ist einer MSC zugeordnet und dient zur Verwaltung der Teilnehmer, die sich gerade im Zuständigkeitsbereich dieser MSC, genauer in einem von eventuell mehreren Aufenthaltsbereichen (Location Area) im Bereich der MSC aufhalten. Gespeichert werden die vom zuständigen HLR übertragenen Informationen (z. B. Authentifikation, IMSI, Rufnummer, vereinbarte Dienste) über die in ihren Zuständigkeitsbereich eintretenden Mobilteilnehmer. Mit Hilfe dieser Daten

steuert die MSC den Verbindungsaufbau. Das VLR steuert u. a. die Zuordnung der Roaming-Nummer der Mobilfunkstationen (MSRN) sowie der TMSI. Durchquert ein Mobilteilnehmer mehrere Aufenthaltsbereiche der MSC, wird auch das VLR durch einen speziellen Dialog aktualisiert. Entsprechendes gilt beim Wechsel des MSC-Zuständigkeitsbereiches. Durch das VLR wird ermöglicht, dass Teilnehmer fremder Netze (national oder international), mit denen Vereinbarungen zum Roaming bestehen, über das besuchte GSM-Netz telefonieren können. Dazu fordert das VLR die Daten vom Fremd-HLR an.

Authentication Center – AuC Im AuC werden alle Informationen gespeichert, die zum Schutz der Teilnehmeridentität, seiner Mobilverbindungen gegen Abhören sowie der Nutzung seiner Berechtigungen über die Funkschnittstelle erforderlich sind. Da die Funkschnittstelle generell für Zugriffe anfällig ist, wurden besondere Maßnahmen wie Authentifikationsschlüssel für jeden Teilnehmer und Verschlüsselung der über die Funkschnittstelle übertragenen Informationen getroffen, um einen Missbrauch von GSM-Verbindungen zu unterbinden. Der Authentifikationsalgorithmus und der Verschlüsselungscode werden im AuC gespeichert und bei Bedarf nach festen Regeln zugänglich gemacht.

Equipment Identification Register – EIR Das Geräteidentifizierungsregister EIR ist eine zentrale Datenbank, in der die Teilnehmer- und Gerätekennungsnummern (IMEI) gespeichert sind. Die Datenbank enthält eine sog. weiße, eine schwarze und eine graue Liste. Die weiße Liste enthält die IMEI gültiger Mobilstationen, die schwarze Liste enthält die IMEI gestohlener oder gesperrter Mobilstationen. Die graue Liste enthält die IMEI von Geräten mit Funktionsstörungen, weshalb für diese keine Dienste bereitgestellt werden.

17.2.3.3 Betreiberteilsystem (Operation Subsystem – OSS)

Das Operation Subsystem (OSS) wird aus den Betriebs- und Wartungszentralen (Network- und Operation Center – NOC) gebildet. Das NOC

ist die zentrale Stelle zur Steuerung und Überwachung der Netzelemente im NSS und BSS und zur Kontrolle der Qualität der vom Netz insgesamt bereitgestellten Dienste. Es stützt sich dabei auf die von den Verwaltungs- und Steuerungsfunktionen der Netzelemente verfügbar gemachten Dienste.

Dabei entsteht ein hierarchisches Netzwerkverwaltungssystem. Im Weitverkehr sind die Netzkomponenten über ein separates DCN (Data Communication Network) verknüpft. Im lokalen Bereich sind über das Management-LAN die entsprechende Operation & Maintenance Terminals (OMT) angeschlossen. Auf dem OMT läuft die Überwachungssoftware mit graphischer Benutzerschnittstelle (Graphical User Interface – GUI) zur Visualisierung der überwachten Netzelemente des zugeordneten Netzes. Hierüber kann der Operator in Netzelemente aktiv eingreifen. Alarmer machen den Operator auf Vorkommnisse im Netz aufmerksam. Zu den Aufgaben des NOC/OMC gehört neben der reinen Überwachung der Netzelemente die Auswertung von Qualitätsparametern zum Zustand und zur Auslastung des Netzwerks sowie zur Verfügbarkeit der Dienste. Weitere wesentliche NOC/OMC-Funktionen sind:

- Verwaltung,
- Netzkonfigurationen,
- Monitoring,
- Remotewartung,
- Security-Management,
- Überwachung gebäudetechnischer Infrastruktur.

Das OSS ist außerdem eine wichtige Schnittstelle am Übergang eines Bauprojektes in die Betriebsphase. An dieser Schnittstelle wird z. B. das Einspielen der Parameter in die Netzelemente realisiert, so dass sich neue Netzelemente nahtlos in den bereits in Betrieb befindlichen Teil des Netzes einfügen. Weiterhin stellt diese Schnittstelle die Möglichkeit der Systemdatenrückführung zur Verfügung. Um im Netz stets ausreichend Verkehrskapazitäten vorhalten zu können, benötigt die Verkehrsplanung aktuelle Verkehrsdaten und deren Entwicklung aus dem Wirknetz. Diese Aufgabe wird ebenfalls vom NMC übernommen. In die OSS-Dimensionierung gehen die folgenden Parameter ein:

- Anzahl der zu verwaltenden Netzelemente,
- Anzahl NOC/OMC-Standorte,
- Anzahl der überwachenden Operatoren pro Standort und Zeit,
- Speicherzeit der Performance Daten.

17.2.3.4 Netztopologie und Anbindungsvarianten

Aufgrund der Relevanz der Anwendungen für den Bahnbetrieb ist die hohe Verfügbarkeit des Netzes ein wesentlicher Aspekt. Übertragungswege verbinden die Komponenten des BSS und NSS untereinander. Redundanzen in der Anbindung, wie z. B. Ringstrukturen, senken das Ausfallrisiko, erhöhen die Verfügbarkeit, sind jedoch auch ein Kostentreiber. Hier gilt es, in der Festnetzplanung unter geschickter Ausnutzung der Ressourcen das Notwendige mit dem wirtschaftlich/technisch Machbaren in bester Weise zu verbinden.

Auf der zentralen Vermittlungsebene im GSM-R sind alle MSC mit allen anderen MSC übertragungstechnisch untereinander verbunden. Ein Totalausfall einer MSC würde sich somit auf den Bereich dieser MSC beschränken. Im BSS, insbesondere bei der Anbindung der BTS entlang einer Strecke, existieren verschiedene Anbindungsvarianten.

Kette Von Ketten spricht man, wenn mehrere BTS logisch hintereinander geschaltet werden. Alle BTS sind dabei an denselben Port der BSC geschaltet. Die Größe einer Kette hängt von der Anzahl der TRX ab, die über diese Kette geführt werden. Die Zuleitung zu einer zweiten Kette kann aus übertragungstechnischen Gründen physikalisch in den BTS der ersten Kette durchgeschaltet sein.

Stern Von Sternanbindung spricht man, wenn im Verlauf einer Kette an eine BTS eine zweite BTS angeschlossen wird. In Abhängigkeit vom Systemlieferanten gibt es unterschiedliche technische Möglichkeiten, eine Anschaltung im Stern zu realisieren.

Variante 1 Seitens der Systemtechnik sind mehr als zwei 2-Mbit/s-Ports vorgesehen und die BTS hat Multiplexfunktionen. Die 2-Mbit/s-Verbin-

ungswege werden entsprechend ihrer kommenden bzw. gehenden Richtung auf die Ports geschaltet. Per Software werden die Settings der BTS entsprechend der logischen Netzgestaltung konfiguriert, so dass die BTS die Timeslots (TS) der nachfolgenden BTS auf die entsprechende 2-Mbit/s-Verbindungen schaltet.

Variante 2 Seitens der Systemtechnik ist eine Sternkonfiguration nicht vorgesehen. Zur Realisierung der Sternanschaltung kommt als zusätzliche Komponente ein Digitaler Cross Connect (DCC) zum Einsatz. Der DCC wird am Ausgangsport der BTS angeschaltet. Die zu den beiden weiterführenden BTS gehenden 2-Mbit/s-Leitungen werden ebenfalls an den DCC geschaltet. Der DCC wird so konfiguriert, dass die 64-Kbit/s-TS auf der von der ersten BTS kommenden 2-Mbit/s-Verbindung, entsprechend der logischen Verschaltung der BTS, auf die weiterführenden 2-Mbit/s-Leitungen geschaltet werden.

Loop Loopkonfigurationen erzeugen hohe Verfügbarkeiten. Als Loop bezeichnet man eine BTS-Kette, von deren letztem BTS eine 2-Mbit/s-Verbindung zur BSC zurückgeführt wird. Im Falle einer Leitungsunterbrechung besteht weiterhin eine Anbindung zu allen Stationen.

Von den BTS werden Steuerbits gesandt. Die BSC wertet diese aus. Fehlen ein oder mehrere Steuerbits, errechnet die BSC die Lage des Leitungsausfalls zwischen den BTS und steuert die entsprechenden TS der betroffenen BTS auf den Ersatzweg an.

Optimale Loop-Topologien stellen außerdem sicher, dass beide „Beine“ der Anbindung nicht nur in getrennten Kabeln (wegeredundant), sondern auch in baulich getrennten Trassen liegen (trassenredundant).

Stand 2012 besteht das GSM-R-Mobilfunknetz der DB Netz AG aus

- ca.3000 Base Transceiver Stations,
- 63 Base Station Controller,
- 126 Trans Coding Units,
- 7 Mobile Switching Center.

Im Endausbau wird sich die Gesamtzahl der BTS noch erhöhen. Laufende Migrationsprojekte planen und realisieren bereits die Ablösung der BSC und MSC durch Anlagen einer neuen Generation. In diesem Zusammenhang wird das Netz noch einmal optimiert werden. Durch Konzentration wird die Anzahl der BSC dadurch Ende 2013 von 63 auf 38 reduziert sein. Danach wird die Anzahl der MSC von heute 7 auf 2 Anlagen/Standorte reduziert werden.

17.2.4 Anbindung ortsfester Teilnehmer

Das in Abschn. 17.2.3 beschriebene Mobilfunknetz ermöglicht technologisch vollumfänglich die Kommunikation mobiler Teilnehmer untereinander. Für die bahnbetriebliche Kommunikation ist jedoch die Kommunikation zu den ortsfesten Teilnehmern bzw. deren Kommunikation untereinander ebenso zwingend notwendig. Die Arbeitsplätze ortsfester betrieblicher Funktionen (z. B. Fahrdienstleiter) sind bereits aus der Zeit vor der Ausrüstung von Strecken mit GSM-R, mit diversen Formen von Betriebsfermeldeanlagen (BFMA) (siehe Abschn. 17.4.) ausgerüstet. BFMA ermöglichen die Kommunikation der ortsfesten Teilnehmer untereinander, unterstützen aber nicht die Anforderungen an die Kommunikation im GSM-R. Dies betrifft sowohl die funktionalen Aspekte (Dienstmerkmale) als auch technologische (z. B. Schnittstellenstandards).

Dem GSM-R-Mobilfunknetz wurde deshalb ein separates Festnetz hinzugefügt – das sog. ART-Festnetz (Anbindung ortsfester R-Teilnehmer, Abb. 17.7). ART erweitert das GSM-R-Mobilfunknetz um diejenigen technischen Einrichtungen, die notwendig sind, um ortsfeste R-Teilnehmer in der Fläche anzuschließen und diesen die Dienstmerkmale des GSM-R bereitzustellen. Beide Netze sind an den zentralen Einrichtungen durch Netzübergänge verknüpft.

Das ART-Festnetz ist dabei strategisch so ausgelegt, dass auch bestehende Festnetz-Anwendungen von Betriebsfermeldeanlagen darauf migriert werden können, so dass in einem künftigen Entwicklungsschritt die Betriebsfermeldeanlage ganz entfallen kann. Primär werden

Abb. 17.7 Übersicht ART-Festnetz

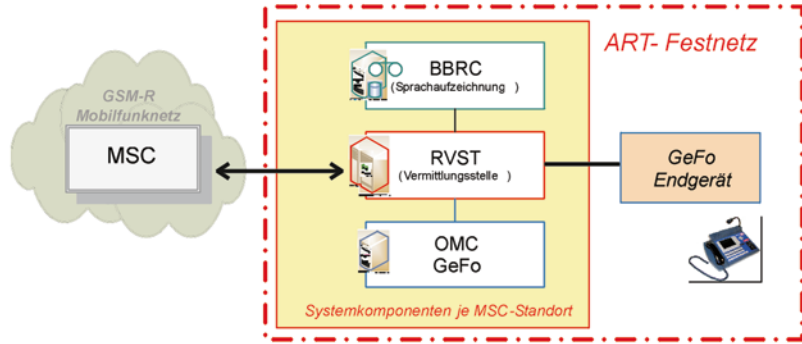


Abb. 17.8 GeFo vom Typ Dicora S und C (Fa. Frequentis) sowie vom Typ U-48 (Fa. Wenzel)

jedoch die GSM-R-Funk-Applikationen Zugfunk, Betriebs- und Instandhaltungsfunk oder Rangierfunk bereitgestellt.

ART-Endgeräte Ortsfeste R-Teilnehmer sind mit einem sog. GeFo (GSM-R Fernsprecher ortsfest, Abb. 17.8) ausgestattet. Typische bahnbetriebliche Funktionen, die GeFo verwenden, sind z. B. Fahrdienstleister, Weichenwärter und Disponenten. Sie befinden sich auf allen Betriebsstellen, z. B. Bahnhöfen, und an den Konzentrationspunkten der Bahnbetriebsführung – den Betriebszentralen der DB Netz AG.

Jedem GeFo sind eine MSISDN und eine funktionale Rufnummer (Rufart 7) zugeordnet. Es besitzt Direktwahltasten, die mit den für den Zuständigkeitsbereich des Teilnehmers wichtigen Gruppenrufen belegt werden. Zusätzlich sind im Gerät feste Rufumleitungen hinterlegt, die gemäß den örtlichen Bestimmungen, z. B. Arbeitsruhe, eingelegt werden müssen oder bei defektem Endgerät automatisch zur Anwendung kommen.

Die Betriebsfähigkeit der Geräte muss auch bei Stromausfällen sichergestellt sein. Das GeFo verfügt deshalb je nach Herstellertyp entweder über eine interne Gleichstromversorgung (Akku) oder wird an einer separaten unterbrechungsfreien Stromversorgung (USV) betrieben.

ART-Festnetz Anbindungen GeFo-Endgeräte ortsfester GSM-R Teilnehmer besitzen einen standardisierten ISDN (BRI)-Mehrgeräteanschluss (S 0 Bus) und werden ggf. über einen Schnittstellenwandler und mittels Übertragungstechnik an die zugeordnete Vermittlungsstelle (R-Vst) transportiert und angebunden (Abb. 17.9).

Dezentrale Systemkomponente R-Vst Die Vermittlungsstellen vom Typ DMS-100e (Fa. Genband/ehemals Fa. NNG) bilden die Kernstücke des ART-Festnetzes, an die teilnehmerseitig ausschließlich ortsfeste R-Teilnehmer angeschlossen sind. Netzseitig sind sie über Bündel direkt an das nächste Mobile Switching Center (MSC) des GSM-R-Mobilfunknetzes angeschlossen. Häu-

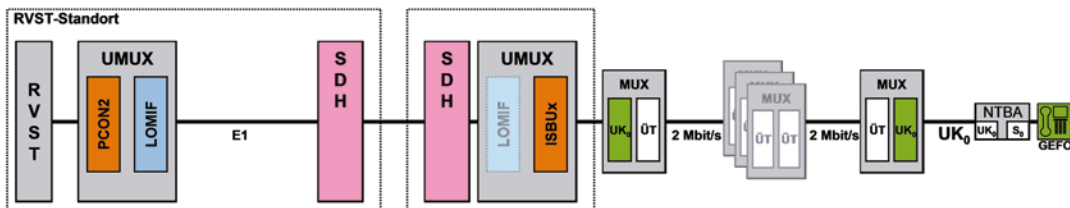


Abb. 17.9 Übertragungsweg R-Vst – GeFo (typisch)

fig befindet sich dies in der gleichen Lokation. Verkehre zwischen verschiedenen ART-Vermittlungsstellen laufen somit über die Inter-MSC-Verbindungen.

OMC-GeFo GeFo werden aus der Ferne administriert. Mit Hilfe von herstellereigenen Datenbanken in Konfigurationsservern an den Standorten der R-Vst (OMC GeFo) werden die Komponenten verwaltet. Die konkrete technische Lösung ist systemlieferant-spezifisch (Fa. Frequentis/Fa. Wenzel) und am zugehörigen R-Vst-Standort lokalisiert.

Sprachaufzeichnung BBRC Das System zur Sprachaufzeichnung stellt sicher, dass alle Gespräche von und zu den GeFo-Fernsprechern aufgezeichnet werden können. Dies entspricht der Umsetzung der Forderung der Eisenbahn Bau- und Betriebsordnung [2]. Aufzeichnungen werden im Bedarfsfall von berechtigten Personen ausgewertet oder ansonsten nach einem festgesetzten Zeitraum gelöscht.

17.2.5 GSM-R-Endgeräte

Abhängig von deren Verwendungszweck können mobile Funkgeräte in Fahrzeugen fest installiert oder als portable Handgeräte ausgeführt sein.

Für den Einsatz bei der DB AG müssen die Geräte eine Zulassung des Eisenbahn-Bundesamtes haben. Um den europäischen Anforderungen an die Interoperabilität nachzukommen, lassen Hersteller darüber hinaus mobile Funkgeräte vom Eisenbahn-Cert (EBC) auf Interoperabilität testen und zertifizieren. Dies gewährleistet bei grenzüberschreitendem Verkehr die Funktionsfähigkeit in GSM-R-Netzen europäischer Nachbarländer.

In Fahrzeugen erfolgt die Geräteinstallation nach Möglichkeit in einem standardisierten Rack (19"-Subrack) oder bei älteren Triebfahrzeugen in einem speziellen Gehäuse. Die Bedienung eines Fahrzeugfunkgerätes erfolgt i. d. R. über eine abgesetzte Einheit im Führerstand des Fahrzeuges MMI (Man Machine Interface – Mensch-Maschine-Schnittstelle).

Cab-Radios Das Cab-Radio oder auch MTRS (Mobile Train Radio Station) auf dem Führerstand eines Fahrzeuges existiert in der Single-mode-Variante, welche nur GSM-R unterstützt, oder als Dual-mode-Gerät, das zusätzlich auch die noch gängigen analogen Funkstandards der ehem. Deutschen Bundesbahn und der Deutschen Reichsbahn beherrscht. Das jeweilige EVU, das ein Fahrzeug samt Funkgerät betreibt, ist dafür verantwortlich, dass das montierte Funkgerät für den Einsatz geeignet und zugelassen ist. Entsprechende Regelungen finden sich als technische Netzzugangskriterien in den jeweiligen Schienennutzungsbedingungen (SNB) der EIU.

Das in Abb. 17.10 gezeigte Bedienteil unterstützt den Nutzer sowohl durch Tasten mit fester Funktionszuordnung, wie

- Ruf zum Fahrdienstleiter,
 - Ruf zum Zugbegleiter,
 - Ruf für Durchsagen im Zug,
 - Notruf,
 - Quittungs- und Navigationstasten,
- als auch mit Tasten, die abhängig von der aktuellen Menüebene mit verschiedenen Funktionen belegt sind (sog. Softkeys).

Neben den Funktionen für die Sprachkommunikation verfügen die MTRS der verschiedenen Hersteller außerdem über verschiedene Schnittstellenoptionen für den Austausch von Daten. Mobile Datendienste, z. B. die Übermittlung



Abb. 17.10 Führerstand mit MTRS

elektronischer Buchfahrplandaten, in Verknüpfung mit anderen Anzeigegeräten auf dem Führerstand werden heute darüber verwirklicht.

GPH (General Purpose Handheld) Je nach Anforderungsprofil existieren für den Einsatz im Bahnbetrieb verschiedene tragbare Funkgeräte. Für den Kommunikationsbedarf innerhalb der allgemeinen Sprachdienste ohne besondere Anforderungen an die Einsatzbedingungen ist ein GPH (General Purpose Handheld, Abb. 17.11) mit folgenden Merkmalen verfügbar:

- GSM-R und GSM tauglich (z. B. D1, D2),
- Gruppen/Sammelruf-Funktion,
- Rufpriorisierung/-verdrängung,
- funktionale und ortsabhängige Adressierung,
- Notruf im Menü wählbar,
- integrierte Freisprechfunktion,
- integrierte Datenübertragung,
- diverses Zubehör,
- Tischladestation,
- Kfz-Kit,
- portable Freisprecheinrichtung (Headset)
- Datenkabel.



Abb. 17.11 GPH (General Purpose Handheld), Fa. NNG, Typ GPH 940

OPH (Operational Purpose Handheld) Die Geräte der Bauform OPH (Operational Purpose Handheld, Abb. 17.12) sollen den Anforderungen im rauen Eisenbahnbetrieb genügen. Sie sind speziell geeignet für den Außeneinsatz beim Instandhalter oder auf Baustellen und verfügen gegenüber dem GPH über eine deutlich längere Akkulaufzeit. Mit der speziellen Push-to-talk-Taste und der Notruftaste ist das OPH für

den Einsatz im GSM-R-Betriebsfunk geeignet. Zusätzliche Merkmale gegenüber dem GPH sind:

- robustes Design,
- Schutzklasse IP 54,
- stoßsicheres Gehäuse,
- separate Sprechaste,
- separate Notruftaste,
- größere Akkukapazität für verlängerte Sprechzeit,



Abb. 17.12 OPH (Operational Purpose Handheld), Fa. NNG, Typ OPH 940

- stärkerer Lautsprecher,
- ext. Antennenhalter als Zubehör,
- Tischladestation,
- Kfz-Kit,
- portable Freisprecheinrichtung (Headset),
- spezielle Gürtel-Ledertasche.

Als Nachfolgemodell des OPH 940 ist aktuell das TiGR 350R der Fa. NNG in Verwendung. Die Unterschiede gegenüber dem Vorgängermodell liegen in einer verbesserten Menüführung und dem Farbdisplay. Es unterscheidet sich optisch kaum vom OPS des gleichen Typs (Abb. 17.13).

OPS (Operational Purpose handheld Shunting) Speziell für die Anwendung im Rangierfunk wurde das Handfunkgerät vom Typ OPS entwickelt. Es hebt sich bei der Ausstattung in folgenden Punkten vom OPH ab:

- Klapphalterung und Tragegurt,
- zusätzliches Mikrofon,
- Verbindungssicherungssignal,
- Totmann-Funktion.

17.2.6 Applikationen und betriebliche Netzkonfiguration

Die GSM-R-Plattform stellt den Anwendern potenziell alle gemäß EIRENE spezifizierten Funktionen bereit (siehe Abschn. 17.2.2). Um diese nutzbar zu machen, werden zunächst Dienste (Applikationen) definiert. Die Dienstdefinition legt fest, welche Funktionen des Netzes genutzt werden sollen (z. B. Gruppenruffunktion möglich/nicht möglich). Dabei gibt die EIRENE bereits wesentliche Merkmale vor (z. B. Priorität 0 für einen Bahnnotruf). Die Summe aller Definitionen und Parameterwerte bilden am Ende eine GSM-R-Applikation für Sprach- und Datendienste.

Mobilern Teilnehmern wird die Nutzung einer Applikation durch ein SIM ermöglicht, dem das entsprechende Teilnehmerprofil zugeordnet ist (siehe Abschn. 17.2.7).

Das GSM-R-Netz besteht – wie die öffentlichen Mobilfunknetze – aus einzelnen Funkzellen, die funktechnisch miteinander verknüpft sind und funktechnisch etwa 2–12 km Streckenbereich abdecken. Damit der Ruf eines mobilen Teilnehmers in einer Zelle per Kurzwahl oder Gruppenruf das richtige Ziel erreicht, muss innerhalb der Zelle eine einsprechende Zuordnung bestehen. Diese sehr wesentliche Zuordnung erfolgt innerhalb der betrieblichen Netzkonfiguration.

- Die konkrete organisatorische Zuordnung einer bestimmten bahnbetrieblichen Funktion (z. B. Fahrdienstleiter Bahnhof A-Dorf) zu einer funktionalen Nummer (Kurzwahl 1300) oder zu einem Gruppenruf (Bahnnotruf 299) und deren Zuordnung zu einer oder mehreren Funkzellen, welche funktechnisch den organisatorischen Zuständigkeitsbereich abdecken, nennt man betriebliche Netzkonfiguration.

Die betriebliche Netzkonfiguration wird auch „betriebliche Konfiguration“ genannt oder kurz „Parametrierung“, wenn der Zusammenhang eindeutig ist. Die betriebliche Netzkonfiguration wird wie eine Baumaßnahme abgewickelt. Pla-



Abb. 17.13 OPS (Operational Purpose Handheld Shunting), Fa. NNG, Typ OPS 940 und Typ TiGR 350

nung und Ausführung passieren auf der Basis des durch den Bahnbetrieb festgelegten Zuständigkeitsbereiches der Teilnehmer und der Vorgaben des applikationsspezifischen Planungsregelwerks (DB Netz Richtlinien der Modulreihen 859.xxxx und 860.xxxx).

Das Regelwerk enthält weiterhin Vorgaben, welche ortsfesten Endgerätetypen im ART-Festnetz bei welchen Teilnehmern zum Einsatz gelangen, zur Konfiguration der Rufe auf dem GeFo bis hin zu deren einheitlicher Beschriftung.

Ende 2012 waren im GSM-R-Netz der DB Netz AG die im Folgenden aufgeführten GSM-R-Applikationen freigegeben und verfügbar.

Zugfunk (ZF) Der Zugfunk unterstützt den sicheren und pünktlichen Bahnbetrieb. Er dient der Verständigung zwischen dem Zugpersonal und ortsfesten Teilnehmern sowie zwischen dem Zugpersonal untereinander. Zugfunk wird z. B. genutzt für

- Notdurchsagen,
- die Verständigung beim Rangieren, wenn kein Rangierfunk verfügbar ist (siehe Abschn. 17.2.8),
- Zuglaufmeldungen,
- die Übermittlung von Befehlen,
- Dispositionsgespräche.

Ortsfesten Teilnehmern (z. B. Fahrdienstleiter) werden die Informationen über die Zugfunknutzung und die ggf. vorhandenen örtlichen Besonderheiten auf ihrer Betriebsstelle ausgelegt. Dem

Zugpersonal werden diese über die „Örtlichen Richtlinien zur DB Netz Richtlinie 408.01-09“ bekannt gegeben.

Mobile Teilnehmer werden über die funktionalen Rufnummern erreicht. Ortsfeste Teilnehmer werden – abhängig vom Standort des mobilen Teilnehmers – über Kurzwahlrufnummern erreicht, z. B. Fahrdienstleiter über die Rufnummer 1300 oder Betriebszentralen über die Rufnummer 1200. Sie können auch – standortunabhängig – über ihre in den Örtlichen Richtlinien zur Richtlinie 408.01-09 für das Zugpersonal bekannte GSM-R-Rufnummer (MSISDN) erreicht werden. Abhängig vom verwendeten Endgerät ermöglicht die Applikation folgende Funktionen:

- Punkt-zu-Punkt-Rufe im D1-Netz der Telekom Deutschland (National Roaming)
- Punkt-zu-Punkt-Rufe von und zu Teilnehmern im GSM-R und VPN-Bahn
- Punkt-zu-Punkt-Rufe in ausländischen GSM-Netze
- Kurzwahlen (LDA) zu BZ, Fdl, ZI, ZES, Leit- und Einsatzstellen der EVU
- Gruppenrufe
- Öffentlicher Notruf (112)
- Datenübertragung
- Fax
- Zugfunknotruf
- Rangierfunknotruf
- SMS kommend und gehend

Rangierfunk (RF) Die Applikation Rangierfunk fordert in Bezug auf die Qualität der Funkversorgung eine besonders hohe Orts- und Zeitwahrscheinlichkeit. Rangierfunk wird i. d. R. nur für Rangierbahnhöfe konfiguriert. Die Mobilfunkgeräte auf der Lok werden auf Rangiermodus umgestellt und die Kommunikation findet bedienertechnisch genauso wie im Zugbetrieb statt. Digitaler Rangierfunk erleichtert die Kommunikation im Rangierbetrieb durch

- eine störungsfreie und sichere Kommunikation im Rangierbetrieb,
- die Möglichkeit spezieller Gruppenrufe, gleichzeitig mehreren Teilnehmern Informationen zukommen zu lassen,
- die Möglichkeit zur gezielten Kontaktaufnahme zu Funktionen, z. B. zum zuständigen Fahrdienstleiter/Weichenwärter,
- abgestufte Prioritäten der einzelnen Rufe, die das Ankommen von z. B. Notrufen gewährleisten.

Als Grundlage zur Verständigung im Rangierbetrieb stellt die DB Netz AG GSM-R-Rangierfunk-Teilnehmerverzeichnisse zur Verfügung. Im GSM-R-Rangierfunk-Teilnehmerverzeichnis nach Richtlinie 481.0302 „Grundlagen für Verbindungen des GSM-R Rangierfunks“, Abs. 3, S.(3) werden die örtlichen Besonderheiten der Rangierbereiche dargestellt. Die darin enthaltenen Angaben werden den Eisenbahnverkehrsunternehmen auszugsweise auch über die örtlichen Richtlinien für das Zugpersonal bekannt gegeben. Abhängig vom verwendeten Endgerät ermöglicht die Applikation folgende Funktionen:

- Punkt-zu-Punkt-Rufe im D1-Netz der Telekom Deutschland (National Roaming)
- Punkt-zu-Punkt-Rufe von und zu Teilnehmern im GSM-R und VPN-Bahn
- Rangierfunk Notruf
- Gruppenrufe
- Ortsabhängige Verbindung mit dem Weichenwärter (1350)
- Öffentlicher Notruf (112)
- SMS kommend und gehend

Betriebsfunk (BF) Der GSM-R-Betriebsfunk wird oft auch noch mit dem aus dem analogen Funk bekannten Titel „Betriebs- und Instandhaltungsfunk“ benannt. Auch wenn der Kreis der Anwender sich weitgehend deckt, unterscheidet sich der GSM-R-Betriebsfunk jedoch in seiner Funktionalität. Anwender sind DB AG-interne und externe Funktionen mit Instandhaltungs-, Instandsetzungs- oder Sicherungsaufgaben, z. B. Servicetechniker, Bauüberwacher oder Sicherungsposten. Er ermöglicht Verbindungen mit Mobilfunk- und Festnetzteilnehmern. VGCS, eMLPP sowie funktionale Adressierung sind typische Merkmale, die von dieser Applikation verwendet werden. Verwendete Geräte müssen über eine nationale oder europäische Zulassung verfügen. Abhängig vom verwendeten Endgerät ermöglicht die Applikation folgende Funktionen:

- Punkt-zu-Punkt-Rufe von und zu Teilnehmern im GSM-R und VPN-Bahn
- Kurzwahl als ortsabhängige Adressierung zu BZ, Fdl, Zes
- Punkt-zu-Punkt-Rufe im D1-Netz der Telekom Deutschland (National Roaming)
- Gruppenrufe
- Notruf Strecke
- Öffentlicher Notruf (112)
- Datenübertragung
- Fax
- SMS kommend und gehend

Datenübertragung (DFÜ) Berechtigte Nutzer sind alle Organisationseinheiten der DB AG und Kunden der DB AG, die grundsätzlich eine Berechtigung zur Nutzung von GSM-R besitzen. Mit DFÜ findet die Übertragung von Daten über GSM-R, für den bahnbetrieblichen und dispositiven Bereich statt. Sie dient als Kanal für die Datenübertragung anderer bekannter und freigegebener Anwendungen. Wichtigste Anwendung von DFÜ wird die Anwendung ETCS aus dem Bereich der Leit- und Sicherungstechnik sein. ETCS befindet sich zurzeit auf verschiedenen Strecken in Erprobung. Die funktionale Sicherheit wird dabei auf der Ebene der Anwendung

hergestellt werden. SIM-Karten mit DFÜ dürfen nur in Geräte eingesetzt werden, die über eine nationale oder europäische Zulassung verfügen. Abhängig vom verwendeten Endgerät ermöglicht die Applikation folgende Funktionen:

- Punkt-zu-Punkt-Rufe im D1-Netz der Telekom Deutschland (National Roaming)
- Punkt-zu-Punkt-Rufe von und zu Teilnehmern im GSM-R und VPN-Bahn
- Punkt-zu-Punkt-Rufe in nationale öffentliche Fest- und Mobilfunknetze
- Datenübertragung
- SMS kommend und gehend
- Öffentlicher Notruf (112)
- Fax

Allgemeine Sprachdienste (ASD) ASD ist das Basisprofil. Es steht grundsätzlich allen Teilnehmern zur Verfügung, die eine Berechtigung zur Nutzung von GSM-R haben. Es ermöglicht einfache Punkt-zu-Punkt-Rufe zu mobilen oder ortsfesten Teilnehmern mit der Rufpriorität 4. Bahnbetrieblich ist das Profil weniger relevant, da hierüber keine Gespräche mit unmittelbarem Einfluss auf den Eisenbahnbetrieb geführt werden sollen. Dennoch dürfen SIM-Karten mit ASD nur in Geräte eingesetzt werden, die über eine nationale oder europäische Zulassung verfügen. Abhängig vom verwendeten Endgerät ermöglicht die Applikation folgende Funktionen:

- kein LDA
- Punkt-zu-Punkt-Rufe von und zu Teilnehmern im GSM-R und VPN-Bahn
- Öffentlicher Notruf (112)
- Fax
- SMS kommend und gehend

Fernsprechverbindungen betriebsführender Stellen (FbS) Für die GSM-R-Applikation FbS ist Voraussetzung, dass auf den betreffenden Streckenabschnitten die Applikationen ZF, ASD und BF betrieblich eingeführt sind. Zusätzlich muss

für alle technisch gesicherten Bahnübergänge im relevanten Streckenabschnitt ein gesonderter Nachweis zur Funkversorgung vorliegen. So wird z. B. sichergestellt, dass ein am Bahnübergang positionierter Schrankenwärter in dem Bereich, in dem er tätig ist, ausreichend Funkversorgung hat. Die möglichen Teilnehmer in der Applikation FbS sind:

- Bediener von Zugfolgestellen und Zugmeldestellen,
- Schrankenwärter, Posten gemäß EBO § 11 (11).

FbS darf nur mit Endgeräten genutzt werden, die über eine nationale oder europäische Zulassung verfügen und stellt folgende Funktionen bereit:

- Punkt-zu-Punkt-Rufe (PtP) zu anderen betriebsführenden Stellen zum Zweck der Übermittlung von Zugmeldungen bzw. anderen bahnbetrieblichen Benachrichtigungen (Einzelverbindungen)
- Gruppenverbindungen über besondere, vordefinierte Konferenzschaltungen (Predefined Conference Bridge – PCB; kein VGCS!), zur Abgabe von Zugmeldungen bzw. anderen bahnbetrieblichen Benachrichtigungen über Zugfahrten.

FbS dient zur Abwicklung der betrieblichen Gespräche im Sinne der Forderungen der EBO § 16 [2] und löst die traditionelle Strecken-Fernsprechverbindung (Fs) in Ortsbatterietechnik ab (siehe Abschn. 17.4). Nach abgeschlossener Entwicklung geeigneter Endgeräte wird es mit FbS außerdem möglich sein, bestehende WL-Anlagen an Anrufschranken (Schranken-WL) abzulösen.

17.2.7 Teilnehmerverwaltung

Die Aufgaben der Teilnehmerverwaltung liegen im Wesentlichen im Vertragsmanagement – der Bearbeitung der Anträge von Anwendern/Bestellern zur Erteilung von neuen bzw. zur Verände-

| Teilnehmerprofil | Zielgruppe | Applikation | Endgerät |
|-----------------------------------|---|-------------|-------------|
| Allgemeine Sprachdienste ohne LDA | Keine spezifischen bahnbetrieblichen Funktionen. Grundprofil für die allgemeine Sprachkommunikation innerhalb des GSM-R-Netzes (Punkt-zu-Punkt) und in das VPN Bahn | ASD | GPH |
| Betriebsfunk | Instandhaltungspersonal und Notfallmanager. | ASD | GPH/OPH |
| Datenfunkanwendungen | Div. Datenfunkanwendungen wie z. B. Ebula | DfÜ | spezifische |
| Rangierfunk | Personen mit Rangiertätigkeit, z. B. Rangierbegleiter | RF | OPS |
| Zugfunk Fahrzeuggerät | Zugfunkgeräte, z. B. Eisenbahnfahrzeugführer | ZF | Cab-Radio |
| Zugpersonal | Zugpersonale, z. B. Zugchef | ZF | GPH |
| Zugvorbereitungspersonale | z. B. Wagenmeister | ZF | OPH |

Abb. 17.14 Wichtige Teilnehmerprofile

rung bestehender Zugriffsrechte (SIM-Karten). Außerdem obliegt ihr die Aufgabe der Definition von Teilnehmerprofilen sowie deren Test und Weiterentwicklung. Sie kann den Zugriff unautorisierter mobiler Teilnehmer auf das Netz durch Sperrung einer SIM unterbinden und pflegt den Gesamtbestand der mobilen Teilnehmer. Die Summe der aktiven mobilen und ortsfesten Teilnehmer liegt bei ca. 48.000 (Stand 2012).

Abbildung 17.14 zeigt die wichtigsten Teilnehmerprofile. Dabei ist zu beachten, dass die Zuordnung der Profile zu einer Applikation in der Tabelle nur der Orientierung dienen soll und die funktionalen Möglichkeiten nicht eindeutig beschreibt. So beinhaltet das Profil „Betriebsfunk“ im ASD z. B. zusätzlich den Notruf Strecke und Gruppenruffunktionalitäten. Die Besteller orientieren sich bei Auswahl eines Profils deshalb ausschließlich an der vollständigen Menge der zugeordneten Funktionen. Die Endgerätezuordnung in Abb. 17.14 ist beispielhaft zu verstehen.

17.2.8 Nationales und Internationales Roaming

Roaming ermöglicht dem Teilnehmer eines Mobilfunknetzes, in einem fremden Mobilfunknetz Rufe oder Daten zu senden oder zu empfangen. Technische Voraussetzung ist dabei, dass das Endgerät das fremde Netz unterstützt. Im GSM-R ist dies europaweit sichergestellt durch die gemeinsamen Spezifikationen zur Interoperabilität und deren Anwendung bei der Zulassung der Endgeräte.

National Roaming kommt bei der DB AG im digitalen Rangierfunk oder als Rückfallebene im digitalen Zugfunk zur Anwendung.

National Roaming im GSM-R-Rangierfunk
Rangierbereiche können außerhalb eines mit GSM-R-Zugfunk versorgten Gebietes liegen. Auch kann es aufgrund topografischer Gegebenheiten oder aufgrund der geringen erwarteten Verkehrslast unwirtschaftlich sein, ein Gebiet mit GSM-R zu versorgen. In diesen Bereichen kann grundsätzlich das National Roaming zur Verständigung im Rangieren zur Verfügung gestellt werden, sofern die entsprechenden Voraussetzungen erfüllt sind.

Voraussetzung für National Roaming im GSM-R ist,

- dass der Bereich nachweislich und ausreichend durch ein öffentliches Mobilfunknetz (D1) im GSM-Standard versorgt ist und
- dass in diesem Bereich nur wenige Rangierbewegungen gleichzeitig stattfinden.

Ob für einen Rangierbereich die Entscheidung zur Nutzung des National Roaming getroffen wurde, wird mit der Ankündigung der Umstellung auf GSM-R-Rangierfunk bekannt gegeben. Für die Nutzung des National Roaming muss eine SIM-Karte durch die Teilnehmerverwaltung speziell freigeschaltet werden.

National Roaming als Rückfallebene im GSM-R-Zugfunk
Sollte in einem mit GSM-R versorgten Streckenabschnitt über einen längeren Zeitraum die Funkversorgung gestört sein, werden betriebliche Ersatzmaßnahmen

Abb. 17.15 Liste bestehender internationaler Verträge der DB Netz AG zum Roaming im GSM-R

| Land | | |
|-------------|----------|-----------------------|
| Österreich | GSM-R A | Zugfunk Fahrzeuggerät |
| Belgien | GSM-R B | Zugfunk Fahrzeuggerät |
| Schweiz | GSM-R CH | Zugfunk Fahrzeuggerät |
| Tschechien | GSM-R CZ | Zugfunk Fahrzeuggerät |
| Frankreich | GSM-R F | Zugfunk Fahrzeuggerät |
| Italien | GSM-R I | Zugfunk Fahrzeuggerät |
| Norwegen | GSM-R N | Zugfunk Fahrzeuggerät |
| Niederlande | GSM-R NL | Zugfunk Fahrzeuggerät |
| Schweden | GSM-R S | Zugfunk Fahrzeuggerät |
| Slowakei | GSM-R SK | Zugfunk Fahrzeuggerät |

ergriffen. Triebfahrzeugführer werden über solche Abschnitte im Vorfeld informiert. Müssen sie dennoch in einem solchen Abschnitt mit dem zuständigen Fahrdienstleiter Kontakt aufnehmen, können sie hierzu National Roaming nutzen.

Im National Roaming kann das GSM-R-Zugfunkgerät (Cab-Radio) in ein nationales öffentliches Mobilfunknetz eingebucht werden. Hierzu hat die DB Netz AG Verträge mit der Deutschen Telekom AG abgeschlossen, die die Nutzung des D1-Netzes für Teilnehmer aus dem GSM-R-Netz der DB Netz AG beinhalten. Darüber hinaus bestehen weitere Verträge zwischen der DB Netz AG und der Deutschen Telekom AG für SIM-Karten aus den GSM-R-Netzen anderer europäischer Länder, die sicherstellen, dass auch deren Cab-Radios im D1-Netz als Rückfallebene Roaming betreiben können. Im Gegenzug bestehen in diesen europäischen Ländern Verträge zwischen dem nationalen EIU und einem dortigen öffentlichen Mobilfunknetzbetreiber für das Roaming deutscher GSM-R Teilnehmer in deren Gebiet.

Um im National Roaming ein Gespräch mit dem Fahrdienstleiter aufzubauen, bestehen zwei Möglichkeiten:

- Teilnehmer mit Roaming-Abkommen wählen die CT7-Nummer und erreichen so direkt den Fdl. Die GSM-R-Rufnummer wird dem Zugpersonal dabei in den Örtlichen Richtlinien zur Richtlinie 408.01-09 für das Zugpersonal (Öril Zp) bekannt gegeben.
- Teilnehmer ohne Roaming-Abkommen bzw. Teilnehmer mit Roaming-Abkommen denen

die CT7-Nummer unbekannt ist wählen eine bundesweit einheitliche, kostenfreie und öffentliche Service-Rufnummer. Über diese wird das GSM-R-Call-Center erreicht, das ein Gespräch dann ins GSM-R-Netz hinein weitervermittelt.

Im Falle eines gestörten GSM-R-Zugfunkgeräts oder einer fehlenden Freischaltung der SIM-Karte für National Roaming ist das GSM-R-Call-Center unter dieser Service-Rufnummer auch über die öffentlichen Netze erreichbar.

International GSM-R-Roaming Die DB Netz AG hat mit europäischen Nachbarbahnen, die ebenfalls GSM-R-Netze betreiben, Verträge zum International Roaming abgeschlossen. Das ist eine wichtige Voraussetzung für den funktionierenden, grenzüberschreitenden Eisenbahnverkehr (Interoperabilität).

Die Liste in Abb. 17.15 führt die Länder auf, mit denen aktuell Vereinbarungen bestehen. Die Liste ist dynamisch und wird sukzessive erweitert (Abb. 17.15).

Sonderfälle bestehen, wenn in dem Heimatland eines EVU noch kein eigenes funktionsfähiges GSM-R-Netz vorhanden ist und dieses Unternehmen auf mit GSM-R ausgeleuchteter DB Netz-Infrastruktur verkehrt. Hier muss von dem EVU vorübergehend eine deutsche SIM-Karte eingesetzt werden. Gleiches gilt für den grenzüberschreitenden Verkehr, wenn noch kein internationales Roaming-Abkommen zwischen den jeweiligen Infrastrukturbetreibern besteht.

17.3 Analoge Funktechnik

Ein wesentliches Ziel des Ausbaus mit GSM-R-Funk ist die Ablösung der analogen Vorgänger-Technologien. Die Notwendigkeit der Ablösung ergibt sich dabei hauptsächlich aus den Zwängen der ortsfesten Systemtechnik. Die aktuell am Markt verfügbaren Cab-Radios (z. B. MTRS) unterstützen zwar die Kommunikation in den analogen Systemen (Dual-Mode) noch für absehbare Zeit, viele Komponenten der vorhandenen ortsfesten Systemtechnik sind jedoch nicht mehr am Markt verfügbar und deshalb zwingend zu reinvestieren. Weiterhin bestehen z. B. funktionale Unterschiede in den Zugfunksystemen der ehem. Deutsche Bundesbahn (alte Bundesländer) und der ehem. Deutschen Reichsbahn (neue Bundesländer), deren Harmonisierung praktisch nur durch GSM-R geschehen kann. Die vollständige Ablösung wird also mittelfristig vollzogen werden. Bis dahin werden die analogen Systeme jedoch – wenn auch mengenmäßig untergeordnet – ihre Relevanz haben.

17.3.1 Analoger Zugfunk

Bei den beiden deutschen Eisenbahnunternehmen, der Deutschen Bundesbahn und der Deutschen Reichsbahn, wurde in Abhängigkeit von den jeweils zur Verfügung stehenden technologischen Möglichkeiten analoger Zugfunk im 70-cm-Frequenzband (Duplexkanäle im Bereich von 460 MHz) eingerichtet. Der Ausbau begann Anfang der 70er-Jahre, z. B. bei der Deutschen Bundesbahn mit dem Zugfunk 70-System der Fa. Telefunken/AEG. Alle analogen Zugfunksysteme berücksichtigen die Empfehlungen des UIC-Merkblattes 751-3 VEI und arbeiten frequenzmoduliert. Das Zugfunksystem der ehem. Deutschen Reichsbahn entstand, zusätzlich zu den UIC-Festlegungen, in enger Koordination mit der Organisation für die Zusammenarbeit der Eisenbahnen der osteuropäischen Länder (OSShD).

Durch den Einsatz des Systems Zugfunk sollten wesentliche Transportprozesse optimiert werden. Hier war besonders die Einsparung beim

Triebfahrzeugpersonal wichtig. Die Zwei-Mann-Besetzung der Triebfahrzeuge war mit der Ablösung der Dampflokomotiven durch Diesel- und Elektrolokomotiven für die unmittelbare Bedienung der Lokomotiven nicht mehr erforderlich. Betrieblich wurde aber die Notwendigkeit gesehen, weiterhin zur Unterstützung des Triebfahrzeugführers einen „zweiten Mann“ vorzusehen. Der Zugfunk konnte in Folge wesentlich dazu beitragen, dass die „Ein-Mann-Besetzung“ möglich wurde.

Die Nutzung des Zugfunks führte durch die ständig mögliche Kommunikation zwischen Dispatcher, Fahrdienstleiter und Triebfahrzeugführer noch zu weiteren Einsparungen bzw. unterstützte Optimierungsmöglichkeiten wie

- intensivere Auslastung des Streckennetzes,
- optimale Ausnutzung des Triebfahrzeugparkes,
- Zentralisierung der Bahnbetriebsführung,
- Beschleunigung/Verbesserung der betrieblichen Prozesse bei Störungen im Betriebsablauf und
- energiesparende Fahrweise durch Vorabinformationen an den Triebfahrzeugführer.

Ein weiterer Aspekt war die Erhöhung der Sicherheit. Mittels Zugfunk können in akuten Gefahrensituationen Sofortmaßnahmen ausgelöst werden (z. B. Halt aller Züge in einem bestimmten Streckenabschnitt).

Aufgrund der Vorgaben der EBO [2] und der hohen Bedeutung des Zugfunks werden Zugfunkgespräche, unter Beachtung des Datenschutzes, manipulationssicher aufgezeichnet. Nicht benötigte Aufzeichnungen werden nach einer bestimmten Zeit gelöscht.

Die Funkversorgung entlang der Strecken wird durch eine Kette von Streckenfunktstellen sichergestellt. Da alle Streckenfunktstellen gleichzeitig mit nicht stabiler Phasenlage senden, wurden geschickt¹¹ Frequenzgruppen gebildet (sog. Quadrupel), innerhalb derer die Sendefrequenz der aufeinanderfolgenden Funkstellen so wechselt,

¹¹ „Geschickt“ heißt, dass Interkanal-Modulationseffekte möglichst geringe Auswirkungen haben.

Abb. 17.16 Auszug aus dem Frequenzschema für den analogen Zugfunk

| Fahrzeug Sendefrequenz (MHz) | Vierergruppen Nr. | Fahrzeug Empfangsfrequenz (MHz) | Kanal Nr. Simplex Duplex |
|------------------------------|-------------------|---------------------------------|--------------------------|
| 457,450 | | 467,450 | 11 |
| 475 | | 475 | 12 |
| 500 | 60 | 500 | 13 |
| 525 | | 525 | 14 |
| 550 | 61 | 550 | 15 |
| 575 | | 575 | 16 |
| 600 | | 600 | 17 |
| 625 | | 625 | 18 |
| 650 | 52/3 | 650 | 19 |

dass die gleiche Sendefrequenz sich erst an der drittfolgenden Streckenfunktstelle wiederholt.

Nur in Bereichen mit hohem Kommunikationsbedarf oder bei knappen Frequenzen (z. B. in großen Eisenbahnknoten), realisierte man den in dieser Technik aufwändigen Gleichwellenfunk. Hier wird anstelle von drei, lediglich ein Frequenzpaar benötigt, nämlich das mittlere der drei Frequenzpaare einer Frequenzgruppe. Verlässt die Strecke dann den Knotenbereich, geht es wieder in das Verfahren mit drei abwechselnden Sendefrequenzen über.

Innerhalb einer Frequenzgruppe wird im Fahrzeuggerät die jeweils richtige Empfangsfrequenz von einem automatischen Frequenzumschalter eingestellt. Der richtige Kanal (Frequenzgruppe, Abb. 17.16) muss vom Triebfahrzeugführer – gemäß dem entsprechenden Eintrag im Buchfahrplan – zum Beginn der Fahrt und bei längeren Fahrten auch bei der Einfahrt in einen anderen Zuständigkeitsbereich (BZ-Dispositionsbereich), von Hand auf dem zweistelligen Kanalwähler im Triebfahrzeug eingestellt werden.

Die Sendeleistung einer Streckenfunktstelle (Abb. 17.18) sowie der Triebfahrzeuggeräte beträgt einheitlich 6 W. In Abhängigkeit vom Gelände und der Bebauung werden Rundstrahl- bzw. Richtantennen mit Masthöhen von typisch ca. 20 m eingesetzt. In langen Eisenbahntunneln kommen auch Strahlerkabel (Antennenleckkabel) zum

Einsatz. Je nach Gelände beträgt der Abstand der Streckenfunktstellen damit ca. 5–20 km.

17.3.1.1 Analoger Zugfunk der Deutschen Bundesbahn

Im Zugfunk der Deutschen Bundesbahn (alte Bundesländer) wird der Triebfahrzeugführer (Tf) direkt mit der Zugfunkzentrale verbunden. Diese steht an einer zentralen Betriebsstelle (i. d. R. Disponenten in Betriebszentralen bzw. früher in Betriebsleitzentralen). Der Disponent kann das Gespräch bei Bedarf zu anderen Betriebsstellen (z. B. zum Fahrdienstleiter) oder in andere Netze (z. B. VPN-Bahn) weiter vermitteln.

Um die Kommunikation zu vereinfachen und zu verkürzen, gibt es Meldungen für häufig wiederkehrende Aufträge an den Triebfahrzeugführer, die in codierter Form übertragen werden. Sie werden an der ZF-Zentrale (Abb. 17.17) per Zieltaste abgesandt und am Zugfunkgerät durch einen entsprechenden optischen Leuchtmelder zusammen mit einem akustischen Aufmerksamkeitsston angezeigt. In den Geräten der neuen Generation (Cab-Radios) sind diese speziellen Meldungstasten nicht mehr implementiert worden, weshalb ihre betriebliche Bedeutung praktisch Vergangenheit ist.

Die Fahrdienstleiter längs der Strecke sind über Betriebsfernmeldeanlagen (Abschn. 17.4) und spezielle Verbindungsleitungen an die ver-



Abb. 17.17 Zugfunk 70-Zentrale der Fa. Telefunken (AEG)

mittelnde Zugfunkzentrale angeschaltet. Das sind:

- Fernsprechverbindung f. d. Zugfunk (Fd ZF in Basa-Bezirkstechnik),
- Fernsprechverbindung f. d. Zugüberwachung (Fd Zü in Wählbefehls57-Technik).

Hierüber ist es möglich, Gespräche vom bzw. zum Triebfahrzeugführer zu vermitteln. Bei der Abgabe eines Notrufes ist zu beachten, dass dieser Notruf eines Fahrdienstleiters ohne Vermittlung als Sammelruf mit höchster Priorisierungsstufe für den gesamten Zugfunkbereich abgegeben werden kann. Bestehende Verbindungen niedrigerer Priorität werden durch den Notruf beendet. Der Notruf eines Triebfahrzeuggerätes wird nur beim zuständigen Disponenten und nicht bei den Fahrdienstleitern signalisiert. Von der Zentrale aus ist es technisch auch direkt möglich, die Zug-Lautsprecheranlage zu besprechen und Informationen, z. B. Umsteigemöglichkeiten an Reisende, weiterzugeben. Am Funkgerät im Triebfahrzeug sind folgende Zugfunk-Betriebsarten wählbar:



Abb. 17.18 Ortsfeste Sende- und Empfangsanlage der Fa. Telefunken für analogen Zugfunk (70er-Jahre)

Betriebsart A Zugfunk mit codierter Übertragung der Zugnummer, Aufträge, Meldungen. Gegensprechen

Betriebsart B Zugfunk ohne codierte Übertragungen. Gegensprechen ohne selektiven Ruf (alle Tf im Bereich, die Zentrale und den Fdl hören mit)

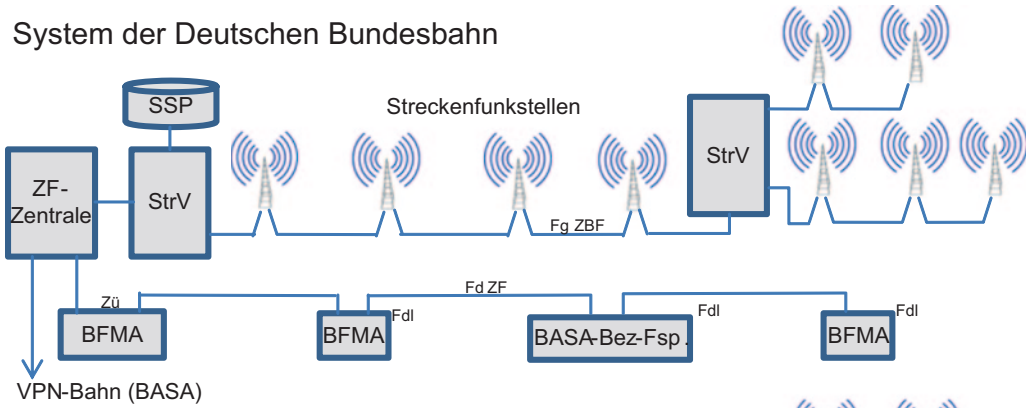
Betriebsart C Wechselsprechen auf einem örtlichen Kanal (Ortskanal) für Rangiertätigkeiten

Betriebsart D keine bahnbetriebliche Nutzung

17.3.1.2 Analoger Zugfunk der Deutschen Reichsbahn

Hier werden die Zugfunkgespräche nicht hauptsächlich vermittelnd über den Dispatcher (Zentrale dispositive Stelle) abgewickelt. Der Tf kann direkt mit dem zuständigen Fahrdienstleiter an der Strecke Verbindung aufnehmen (wie es auch

System der Deutschen Bundesbahn



System der Deutschen Reichsbahn

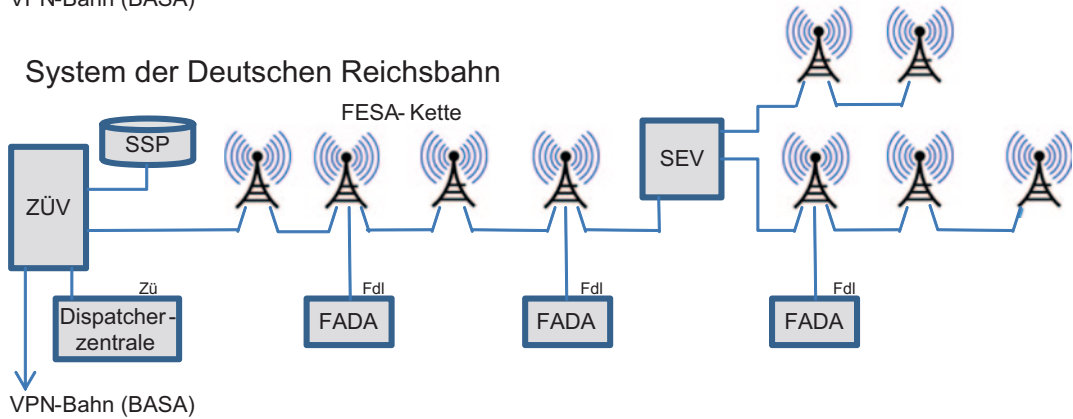


Abb. 17.19 Systemübersicht der analogen Zugfunksysteme Deutsche Bundesbahn und Deutsche Reichsbahn



Abb. 17.20 FADA-Bediengerät am Arbeitsplatz eines Fahrdienstleiters

durchgestellt. Auch in diesem System bestehen die Möglichkeiten der codierten Auftrags- und Meldungsübertragung, der Notruffunktion und der Sprachaufzeichnung.

Die unterschiedliche Anbindungsphilosophie der beiden Systeme und ihre wesentlichen Komponenten ist in der Gegenüberstellung in Abb. 17.19 dargestellt.

- BFMA – Betriebsfernmeldeanlage
- BASA-BEZ – Basa Bezirkstechnik
- FADA – Fahrerdienstleiteranlage (Abb. 17.20)
- FESA – Feste Eisenbahn Streckenfunkanlage
- Fd ZF – Fernsprechverbindung des Zugfunks
- Fg ZBF – 4-Draht-Modulationsleitung des Zugbahnfunks
- SSP – Sprachspeicher

heute im GSM-R möglich ist). In Gegenrichtung wird mit der Fdl-Taste über die aktive Funkzelle das Gespräch direkt zum Triebfahrzeugführer



Abb. 17.21 Bediengerät des VZF95, Typ BDG5 der Fa. AK Funktechnik GmbH



Abb. 17.22 Sende- und Empfangsgerät des VZF95 mit digitalem Nachrichtenspeicher, Fa. AK Funktechnik GmbH

StrV & SEV – Streckenverteiler

Zü – Zugüberwachung (Disponenten)

ZÜV – Anlage der Zugüberwachungsverantwortlichen

Trotz Zusammenführung der beiden Bahnen DB und DR zur DB AG gab es keine Harmonisierung der Techniken. Somit gibt es die Betriebsart A (DB) mit dem Gesprächsverbindungsaufbau über die Zugfunkzentrale und Betriebsart E (DR) mit dem Gesprächsverbindungsaufbau über den zuständigen Fdl.

17.3.1.3 Zugfunk der Bauform VZF95

Auf Strecken mit einfachen betrieblichen Verhältnissen sind viele der Funktionen, der in Abschn. 17.3.1.1 und 17.3.1.2 genannten Systeme nicht erforderlich. Gleichzeitig gilt die Forderung der EBO § 16 [2], dass Strecken ohne Streckenblock, auf denen Reisezüge oder Züge mit mehr als 60 km/h verkehren, mit Zugfunk auszurüsten sind.

Als wirtschaftliche Alternative wurden deshalb 1995 der notwendige Ausleuchtungsgrad und die betrieblich und technisch notwendigen Funktionalitäten im Rahmen eines Sicherheitsgutachtens festgestellt. Das Ergebnis war die Entwicklung der Zugfunk-Streckenausrüstung vom Typ VZF95 (im Sprachgebrauch „vereinfachter Zugfunk“ genannt). Der VZF 95 erfüllt dabei folgende Anforderungen:

Bahnbetriebliche Merkmale:

1. Die örtlich zuständigen Fahrdienstleiter (öZF) in einer Betriebszentrale/einem ESTW, Fahrdienstleiter (Fdl) vor Ort und örtliche Betriebsbeamte (öB) können in ihrem Zuständigkeitsbereich Funk-Sprechverbindungen mit den Triebfahrzeugführern (Tf) der Züge im Simplex-Betrieb herstellen (Wechselsprechen) und umgekehrt.
2. Die Bedienung des VZF95 ist dabei örtlich oder räumlich getrennt von den ausgeleuchteten Strecken möglich. Sie kann alternativ von den systemspezifischen Bediengeräten aus erfolgen (BDG) oder von multifunktionalen Tk-Arbeitsplätzen in Betriebszentralen.
3. Der gewünschte Gesprächspartner wird per Sprachanruf über Lautsprecher angesprochen und meldet sich.
4. Benachbarte Fdl/örtlich Bedienstete und Tf im Funkversorgungsbereich hören mit.
5. Während der Fahrt auf einer Strecke ist keine Kanalumschaltung durch den Tf notwendig (Gefahr des Vergessens), d. h. auf einer Strecke benutzen alle Funkstellen den gleichen Kanal.
6. Störungen verschiedener Funkstellen untereinander sollen ausgeschlossen werden.
7. Der Funkverkehr wird mittels Sprachaufzeichnung dokumentiert.



Abb. 17.23 Funkstation des VZF95 mit Mast und Rundstrahler

Technischer Merkmale Auf der Fahrzeugseite können die in den Triebfahrzeugen und Steuerwagen bereits vorhandenen Typen von Zugfunktseinrichtungen (ZBF 70, ZFM 90, Mesa alt, Mesa 2002 und neuere Dual-Mode-Cab-Radios) in der Simplexbetriebsart C bzw. O (UIC-Merkblatt 751-3 VEI) genutzt werden. Die streckenseitige Ausrüstung des VZF95 besteht aus folgenden Komponenten (siehe auch Abb. 17.21, 17.22 und 17.23):

- Bedienstelle,
- Sende-/Empfangseinrichtung (ortsfeste Funkstelle),
- Antennenanlage,
- Sprachaufzeichnung,
- Stromversorgung (Netz-/Ersatzstromversorgung).

Technische Daten des VZF95:

| | |
|-------------------|--|
| Frequenzbereich: | 457,425–458,300 MHz 467,425–468,300 MHz |
| Schaltbandbreite: | 20 MHz |
| Frequenztoleranz: | $\pm 1,35$ kHz nach FTZ 17 TR 2049 |
| Kanalraaster: | 25 kHz |
| Kanaleinstellung: | einstellbar am S/E-Gerät |
| Betriebsart: | Simplex-Wechselsprechen |
| Sendart: | FM: F3E, F2D |
| Ein-/Ausgänge: | geeignet für Sprachaufzeichnung im Start-Stop-Betrieb. |

Sender:

| | |
|--------------------|--|
| Sendeleistung: | 6 W |
| Einstellbereich: | 1–6 W |
| Restmodulation: | < -46 dB, unbewertet, 50 Hz–15 kHz |
| Klirrfaktor: | $< 7\%$ bei Nennhub |
| Rauschsperr: | einstellbar: 8 bis 20 dB SINAD, Werkseinstellung 16 ± 3 dB SINAD |
| Hub: | alte Bundesländer: halber Hub (Betriebsart C) |
| neue Bundesländer: | voller Hub (Betriebsart O) |

Empfänger:

| | |
|--------------------------------|--|
| Empfindlichkeit: | FM: $< 0,75$ V EMK/2 (FTZ) |
| Nachbarkanaldämpfung: | FM: > 75 dB (FTZ) |
| Interkanalmodulationsdämpfung: | FM typisch > 78 dB (FTZ) |
| Blocking: | > 95 dB bei ± 100 kHz Abstand |

17.3.2 Analoger Rangierfunk

Rangierfunk-Sprechverbindungen dienen zur Verständigung der ortsbeweglichen Mitarbeiter des Rangierdienstes untereinander und mit orts-

| Band | Frequenz- teilbereich | Frequenzumfang (MHz) | Kanäle |
|------|--------------------------|-------------------------|--------|
| 4m | A | 60,630 - 69,550 | 1-47 |
| 4m | B | 70,050 - 70,890 | 1-43 |
| 4m | C | 78,430 - 78,690 | 1-14 |
| 4m | D | 80,050 - 80,890 | 1-43 |

Abb. 17.24 Liste der Frequenzen für analogen Rangierfunk

festen Teilnehmern auf Betriebsstellen (z. B. Weichenwärtern). Da die gesamte Kommunikation aller Teilnehmer einer Rangiergruppe auf einem offenen Kanal stattfindet, dürfen diese Verbindungen nicht auch noch für Gespräche der ortsfesten Teilnehmer untereinander verwendet werden. Hierzu sind nach Möglichkeit andere Kommunikationsverbindungen im Festnetz (z. B. über die Betriebsfernmeldeanlage) zu verwenden.

Die Funkbetriebsart ist Simplex (Wechselsprechen, Push-to-Talk), es wird also abwechselnd auf derselben Frequenz gesendet und empfangen. Die Sende- und Empfangsfrequenzen befinden sich im 4-m-Frequenzband und sind wie in Abb. 17.24 gezeigt aufgeteilt¹².

Rangierfunkgespräche werden geführt über

- ortsfeste Sprechstellen, z. B. in Stellwerken,
- Rangierfunkanlagen auf Triebfahrzeugen im Rangierdienst,
- tragbare Funkfernsprecher bei den Mitarbeitern im Gleisfeld.

In der Regel stellt ein Bahnhof einen Rangierfunkbereich dar. Die Bahnhöfe können nach betrieblichen Erfordernissen organisatorisch und technisch in mehrere Rangierfunkbereiche aufgeteilt sein. In diesen Fällen umfasst ein Rangierfunkbereich z. B. den Zuständigkeitsbereich eines Weichenwärters bzw. bestimmte Gleisgruppen.

Die Bezeichnung des Rangierfunkbereichs dient zur einfachen Kennzeichnung der Rangierfunkkanäle. Jedem Rangierfunkbereich ist ein eigener Rangierfunkkanal zugeordnet. Dadurch soll sichergestellt werden, dass sich Teilneh-

| Band | Frequenz- teilbereich | Frequenzumfang (MHz) | Kanäle |
|------|--------------------------|-------------------------|--------|
| 2m | E | 146,370 - 146,910 | 1 - 28 |
| 2m | F | 166,450 - 167,170 | 1 - 37 |
| 2m | G | 171,050 - 171,770 | 1 - 37 |

Abb. 17.25 Liste der Frequenzen für analogen Betriebs- und Instandhaltungsfunk

mer verschiedener Rangierfunkbereiche nicht gegenseitig stören. Die verschiedenen Rangierfunkkanäle eines Frequenzbereiches werden mit Großbuchstaben bezeichnet. Die Kennzeichnung eines Rangierfunkkanals ist dann z. B. A09 (Bereich A, Kanal 09 → 68,790 MHz).

17.3.3 Betriebs- und Instandhaltungsfunk (BiFu)

Der Betriebs- und Instandhaltungsfunk erfüllt, wie der Name schon sagt, seine Hauptaufgabe im Bereich der betriebsnotwendigen Instandhaltung. Die tragbaren Funkgeräte werden von allen Fachbereichen wie z. B. der Leit- und Sicherungstechnik, Telekommunikation, Elektrotechnik, aber auch von Funktionen wie Sicherungsposten oder Weichenschmierern verwendet.

Die Funkbetriebsart ist Simplex (Wechselsprechen oder Push-to-Talk), wo abwechselnd auf derselben Frequenz gesendet und empfangen wird. Die Funkausleuchtung beschränkt sich dabei auf einen Bahnhofsbereich. Bahnhöfe sind i. d. R. ab einer mittleren Größe mit Sendeanlagen und einem Kanal ausgerüstet. Erst bei größeren Bahnhöfen mit mehr Gesprächsaufkommen werden zwei oder mehr Sendefrequenzen zugeordnet. Der Frequenzbereich befindet sich im 2-Meter-Frequenzband und ist wie in Abb. 17.25 gezeigt aufgeteilt.

Kleine Bahnhöfe, auf denen nur gelegentlich Bedarf für BiFu besteht, bekommen i. d. R. lediglich einen Kanal zugeordnet – ohne dass eine ortsfeste S/E-Station vorhanden ist. Dieser Kanal ist in den örtlichen Regelungen an der Betriebsstelle (z. B. Fdl-Arbeitsplatz) dokumentiert. Auf diesem Kanal kann in diesem Bahnhof dann im

¹² Neuere analoge RF-Anlagen nutzen auch Bahnfrequenzen im 2-m- oder 70-cm-Band.

Bedarfsfall vom tragbaren zum tragbaren Funkgerät kommuniziert werden.

Als Besonderheit findet auch die Kommunikation in der Zugfunk Betriebsart C (siehe auch Abschn. 17.3.1) auf diesen BiFu-Kanälen statt. In Gebieten mit GSM-R-Ausleuchtung wurde der BiFu durch den digitalen Betriebsfunk ersetzt.

17.3.4 BOS-Funksysteme

BOS-Funkanlagen dienen Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) im Einsatzfall zur Verständigung untereinander. Die Grundlage für die Ausrüstung von Eisenbahnbetriebsanlagen mit BOS-Funk bildet die sog. EBA-Tunnelrichtlinie [10]. Danach gehört der BOS-Funk im Rahmen der Sicherheitskonzepte zu den baulichen und betrieblichen Sicherheitsmaßnahmen, die nach dem Stand der Technik notwendig sind, um in Eisenbahntunneln die Selbstrettung der Reisenden und des Eisenbahnpersonals sowie den Einsatz der Rettungsdienste zu ermöglichen.

Hierin ist festgelegt, dass Tunnel ab einer Länge von 500 m mit BOS-Funk auszurüsten sind. Dies schließt auch die Versorgung der vorhandenen Rettungsstollen bis zu den Rettungsplätzen mit ein. BOS-Funksysteme haben keine Anschaltung an die Systeme für die bahnbetriebliche Sprachkommunikation. Auch wenn ihnen damit keine direkte Aufgabe für die Kommunikation im Regelbetrieb zukommt, sind sie aufgrund ihrer Sicherheitsrelevanz von hoher Bedeutung.

Die Frequenzplanung erfolgt dabei in Abstimmung mit den örtlich zuständigen Rettungsdiensten (z. B. Feuerwehr) und der Bundesanstalt für den Digitalfunk der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BDBOS) auf Landes- oder Bundesebene. Die Funkausleuchtung im Tunnel erfolgt mittels eines Strahlerkabels (Antennenleckkabel), das im oberen Bereich an der Tunnelinnenwand über dessen gesamte Länge montiert wird. Die zweiseitige Einspeisung der Strahlerkabel, die havarieschutztaugliche Verlegung der Signal- und Versorgungsleitungen zu den Sende- und Empfangsanlagen sowie aus-

fallgesicherte Netzstromversorgungen machen die Sendeanlagen hochverfügbar. Die tragbaren und mobilen Funkanlagen werden von den BOS im Einsatzfall mitgebracht.

Die BDBOS betreibt gerade den bundesweiten, flächendeckenden Aufbau eines BOS-Funknetzes nach digitalem Standard (TETRA). Auf Seiten der DB Netz AG laufen deshalb die Planungen für die Migration und Anbindung der vorhandenen analogen Systeme. Neuausrüstungen finden nur noch nach digitalem Standard statt.

17.4 Betriebsfernmeldeanlagen

Betriebsfernmeldeanlagen (BFMA) werden auch Betriebsfernsprechanlagen genannt. Von dem Ursprung ihrer Entwicklung her bis heute dienen sie primär zur Abwicklung der Sprachkommunikation bahnbetrieblicher Stellen. Sie stellen die Sprachkommunikation zwischen Betriebsstellen entlang von Eisenbahnstrecken und im Bahnhofsbereich (oder Werksbereich) sicher und sollen Verbindungen sicher und schnell aufbauen und blockierungsfrei durchschalten.

Den Anfang der Entwicklung der Betriebsfernmeldeanlagen bildet der auch heute noch im Einsatz befindliche Fernsprecher mit Ortsbatterie (OB-Fernsprecher). Der OB-Fernsprecher hat einen Kurbelinduktor mit dem durch unterschiedliche Anzahl von Umdrehungen, Rufzeichen im Morsecode auf die Fernsprechleitung gegeben werden. Die eingebaute Batterie speist dann in der Gesprächsphase das Kohlemikrofon. Es haben sich über die Jahrzehnte verschiedene Bauformen (OB33, OB70, OB92) im Einsatz bewiesen. In neuen Modellen, wie z. B. der F-Sprechsäule der Fa. Photon Meisner, werden die Rufzeichen jedoch über eine Tastatur eingegeben bzw. elektronisch erzeugt. Verbunden sind OB-Fernsprecher dabei über eine gemeinsame 2-Draht-Verbindung – die sog. Gesellschaftsleitung (Party-Line). Zwischen den beiden Fernsprechern am Ende der Leitung können damit

| Art der Verbindung | Zweck (aus Sicht z. B. Fahrdienstleiter) | An GSM-R Strecken |
|---------------------|---|-------------------|
| Fs/Fsz/Fz | Streckenfernsprechverbindungen OB- Technik, Verbindung zwischen zwei Zugmeldestellen | FbS ASD |
| FoSig/FsSig/ Fos | Signal-Fernsprechverbindungen OB- Technik, Verbindung zu Einfahr- bzw. Blocksignalen | ASD |
| Fd | Fahrdienstleiter Fernsprechverbindung OB- Technik, Verbindung zu den anderen besetzten Betriebsstellen | ASD |
| FdZF | Fahrdienstleiter-Fernsprechverbindung für den Zugfunk Basa Bezirks- Technik (BasaBez), Verbindung zur Zugfunkzentrale / -vermittlung | enfällt |
| FdZÜ | Fahrdienstleiter-Fernsprechverbindung für die Zugüberwachung Wählbefehls 57/61- Technik, Verbindung zum Disponenten/Dispatcher | ASD |
| Fde / Fbe | Fahrdienstleiter-Fernsprechverbindungen für den elektr. Zugbetrieb Wählbefehls 57/61- Technik (Wb 57/61), Verbindung zur Zentralschaltstelle (Zes) | ASD |
| Fo | Örtliche Bahnhofsfersprechverbindung OB- Technik, Verbindung zu Sprechstellen im Bahnhofsbereich, (z. B. F-Kasten an Weiche), als Einzelverbindung oder Gesellschaftleitung | ASD |

Abb. 17.26 Übersicht wichtiger, bahnbetrieblicher Sprechverbindungen

weitere Teilnehmer parallel auf die Leitung geschaltet werden. Den Teilnehmern werden unterschiedliche Rufzeichen im Morsecode zugeordnet, so dass sie selektiv gerufen werden können. Im Gespräch können jedoch alle Teilnehmer mithören/mitsprechen. Die typische Anwendung für diese Technik ist die Streckenfernsprechverbindung (Fs), die an zwei benachbarten Zugmeldestellen beginnt bzw. endet und an die Schrankenposten und unbesetzte Streckenfernsprecher entlang der Strecke parallel angeschaltet sind.

Geleitet durch die technische Entwicklung und die Anforderungen des Bahnbetriebs, z. B. im Rahmen der Elektrifizierung von Strecken, kamen mit der Zeit eine Vielzahl anderer Sprechverbindungen mit eigenen Funktionalitäten und Endgeräten hinzu. Die Darstellung in Abb. 17.26 listet diejenigen auf, die heute noch relevant sind.

Auf großen Betriebsstellen, die ggf. auch noch für mehrere Strecken zuständig waren, wurde es zunehmend schwierig, die der Anzahl der Verbindungen 1:1 zugeordnete Anzahl von Endgeräten zu platzieren und deren richtige Bedienung im Arbeitsablauf sicherzustellen. Mitte der 50er-Jahre wurde daraufhin von der Fa. Siemens der Allfernsprecher (AF55) entwickelt. Er setzte erstmals die Prinzipien um, die auch für heutige Betriebsfernmeldeanlagen noch grundlegend sind.

- In einer Zentrale kommen alle technisch und funktional verschiedenen Verbindungen auf passenden Eingangsschnittstellen an (z. B. Basa Bez, OB, Wb57, Basa, Lautsprecherkreise)
- Die Anzahl der Schnittstellen ist so erweiterbar, dass den örtlichen Anforderungen entsprechend große und kleine Anlagen errichtet werden können
- Die Bedienung aller angeschlossenen Verbindungen erfolgt über eine Benutzeroberfläche (Bediengerät), das mit der Zentrale verbunden ist

Die ersten BFMA-Bediengeräte hatten praktisch ausschließlich Tasten mit Leuchtmelder in entsprechender Anzahl. Die neueren Systeme liefern alternativ auch menügeführte, graphische Benutzeroberflächen mit Touch-Screen oder Maus-Bedienung.

Das AF55-System war durch die universellen Einsatzmöglichkeiten sehr erfolgreich und ist deshalb in Folge auch an anderen Stellen als nur auf Stellwerken (z. B. in Lokleitungen) zur Anwendung gekommen. Allfernsprecher-Zentralen sind in Relais-technik hergestellt und werden in Einheitsgestellen aufgebaut. Die Anlagen waren

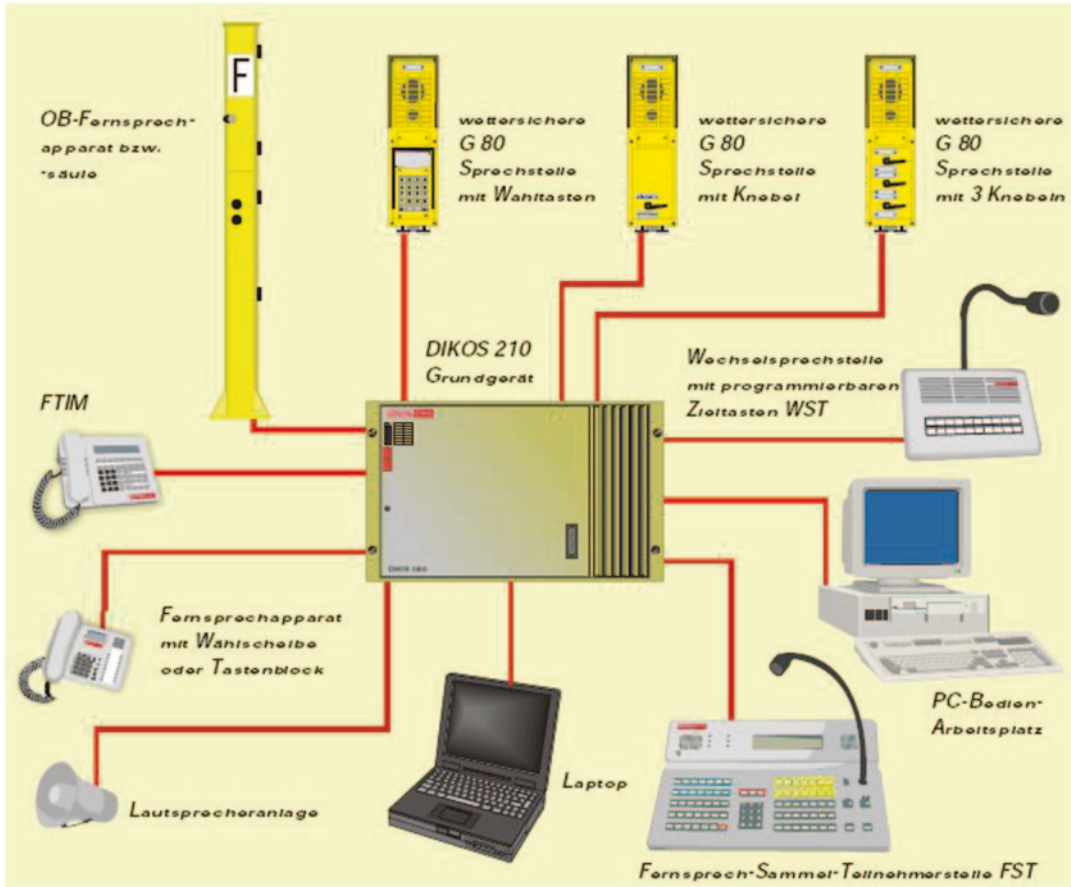


Abb. 17.27 Systemübersicht einer BFMA mit BF80 (Fa. ANT)



Abb. 17.28 Zentrale Baugruppen, System MACS der Fa. Wenzel Elektronik GmbH

lange Zeit verfügbar, so dass in der Weiterentwicklung der Systeme der Schritt der Transistor- technik fast ausgelassen wurde. Es wurden zwar

Anlagen in Transistortechnik entwickelt und auf- gebaut (Allfernsprecher 300), der Schritt zu den rechnergesteuerten Systemen Anfang der 80er- Jahre folgte jedoch so bald, dass von ihnen nur relativ geringe Stückzahlen zum Einsatz kamen.

Die ehem. Firma ANT entwickelte das modu- lar aufgebaute Betriebsfernmeldesystem BF 80 (DIKOS 210), Abb. 17.27. Den Kern bilden eine Steuereinheit und ein digitales Koppelfeld für die Vermittlungsaufgaben. Die unterschiedlichen Verbindungsarten mit ihren besonderen Schnitt- stellen werden mittels Interface-Baugruppen an diese Vermittlung herangeführt. Mehrere BF80 können über Leitungsbündel und über einen zentralen Zeichenkanal (ZZK) vernetzt werden.

Heute wird die aktuelle Weiterentwicklung – der DIKOS 310 – von der Fa. Funkwerk AG vertrieben. In den 90er-Jahren kam das Sys- tem MACS (Multifunctional ATM Communi-



Abb. 17.29 MACS-Sprechstelle mit GUI, Fa. Wenzel Elektronik GmbH

cation System, Abb. 17.28 und 17.29) der Fa. Wenzel Elektronik GmbH sowie das „Multifunktionale Digitale Kommunikationssystem“ (MDK) der Fa. Neumann Elektronik hinzu. Für die funktionale und technische Integration der BFMA in die Arbeitsplatzumgebung der Betriebszentralen existieren zusätzlich Lösungen, wie der Telekommunikationsarbeitsplatz der Fa. Funkwerk AG (TKA 2002). Gegenüber den ersten Systemen verfügen die neueren Anlagen zusätzlich über folgende wichtige Eigenschaften:

- digitale Vermittlung und Signalverarbeitung für bessere Qualität und blockierungsfreie Durchschaltung von Verbindungen
- Verfügbarkeitserhöhung durch die Möglichkeit der Doppelung zentraler Baugruppen
- kompatibel in Verbindung mit bestehenden BFMA-Anlagen bzw. deren Vernetzung
- weitere Dienste verfügbar, wie die Anschaltung von Zugfunksystemen, Überwachungs- und Steuerungsfunktionen, Videofunktionalitäten
- Parametrierung per Servicesoftware
- Unterstützung von Remote-Zugriffen für die Instandhaltung

Bei der DB Netz AG sind folgende BFMA-Systeme im Einsatz¹³:

- einzelner OB-Fernsprecher (mit/ohne Mehrfachzusatz, mit/ohne Rufausscheider),
- OB/ZB-Zentrale („Glühlampenstation“),
- einzelner Wahlbefehlsfernsprecher (Wb 57 oder 61),
- einzelner Basa-Bezirksfernsprecher (BasaBez),
- Allfernsprecher 57 (AF 55), Fa. Siemens,
- Allfernsprecher 300 (AF 300), Fa. Siemens,
- Allsprechstelle DR (alte und neue Bauart),
- Wahlbefehlszentrale, Zentrale für Streckendispatcher 74,
- digitales Kommunikationssystem 210 und 310 (DIKOS 210 u. 310), Fa. Funkwerk AG,
- Mehrfachfernsprecher 84 (MF84), Fa. Neumann Elektronik GmbH & Fa. Wenzel,
- Multifunctional ATM Communication System (MACS), Fa. Wenzel Elektronik GmbH,
- multifunktionales digitales Kommunikationssystem (MDK), Fa. Neumann Elektronik GmbH,
- Client-Server-System BZ2002, Fa. Funkwerk AG.

Erstaunlich ist nicht nur die technologische Entwicklung der BFMA-Systeme an sich, sondern vor allem die Tatsache, dass quasi alle technologischen Entwicklungsstufen in größerer oder kleinerer Stückzahl noch bei der DB AG im Einsatz sind. Mit der Migration vieler Verbindungen auf GSM-R (Abb. 17.26) sinken die Stückzahlen und damit auch die Bedeutung der BFMA in jüngster Zeit rapide. Hier besteht klar das Ziel, mit GSM-R-Applikationen und unter Verwendung des GeFo einen möglichst vollständigen Ersatz für die BFMA zu schaffen. Die Rückfallebene für die BFMA bildet ein örtlich vorhandener zweiter Fernsprecher, der entweder Teilnehmer im VPN-Bahn, in einem GSM-Netz (Abschn. 17.1.1) oder einem anderen öffentlichen Festnetz ist.

17.5 Lautsprechersysteme

Einseitig gerichtete Lautsprecheranlagen (EL-Anlagen) dienen zur Information und zur Warnung der Reisenden in den Bahnhöfen und Haltestellen. Sie sind hauptsächlich an Bahnsteigen

¹³ Liste ohne Anspruch auf Vollständigkeit.

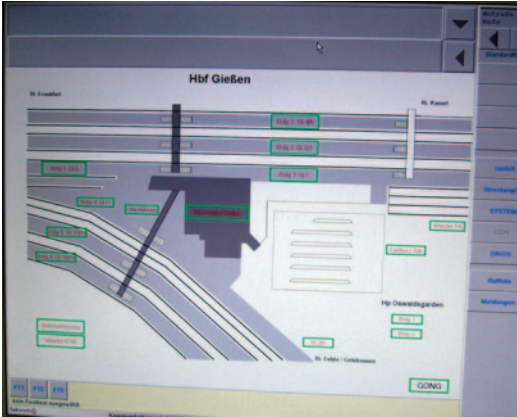


Abb. 17.30 GUI eines Ansagerarbeitsplatzes KAP, Fa. Funkwerk AG

und in den anderen öffentlich zugänglichen Bereichen der Bahnhöfe angebracht.

Bahnbetrieblich sind die Anwendungen höher zu bewerten, die nicht der Information der Reisenden dienen, sondern die sichere Bahnbetriebsführung unterstützen. Auch hier ist die EBO [2] (§ 16, § 11) wieder die wichtigste Grundlage für den Ausrüstungsstandard. Die Anwendungen machen es weiterhin notwendig, im Sinne eines Wechselsprechens auch in Gegenrichtung kommunizieren zu können (Wechselseitige Lautsprecherverbindung – WL). Ein wesentlicher funktionaler Vorteil von EL/WL-Anlagen ist, dass die Verbindung sofort nach Tastendruck besteht, also sofort gesprochen werden kann und z. B. keine Zeit für den Aufbau einer Wahlverbindung verloren geht. Die wichtigsten Anwendungsfälle im Bereich der DB AG sind in der folgenden Übersicht zusammengefasst:

- Reisendeninformation
- Warnung von Reisenden auf Bahnsteigen, an denen Züge mit hoher Geschwindigkeit durchfahren
- Durchsagen für Bahnbetriebspersonal in Gleisanlagen von (Rangier-)Bahnhöfen oder Abstellanlagen mit Wechselsprechfunktion
- Durchsagen an Betriebspersonal auf Bahnsteigen mit Wechselsprechfunktion (z. B. zu Abfertigungszwecken)

- Wechselsprechen zu/von sog. Anrufschranken (Schranken-WL)
- Wechselsprechen zu/von IH-Personal in Technikräumen, optional mit Anschaltung an den Betriebs- und Instandhaltungsfunk (DrWL-Anlagen)

In den Anfängen bestanden die Anlagen aus einfachen Anordnungen von Mikrofon-Leistungsverstärker-Lautsprecher (Kleinsprechzentralen). Für einfache Anwendungen ist danach die ELR-Technik (einseitig gerichtete Lautsprecheranlage mit Rücksprechmöglichkeit) der Fa. Wenzel hinzugekommen. Durch den Einsatz elektronischer Vermittlungseinrichtungen sind aktuelle EL/WL-Anlagen heute nicht mehr reine Lautsprecheranlagen oder Durchsageeinrichtungen, sondern vernetzte Anlagen (z. B. zum Reisendeninformationssystem – RIS der DB AG), über die z. B. automatische Ansagen generiert werden können.

Reisendeninformation Die Beschallung der Bahnsteige zur Reisendeninformation ist bei der DB AG Aufgabe der DB Station und Service GmbH und findet heute immer mehr aus speziellen Ansagezentren (3S-Zentralen) heraus statt, die mehrere Haltestellen oder Bahnhöfe betreuen. Greifen zeitgleich automatische und manuelle Ansagen auf einen Lautsprecherkreis zu, wird die Reihenfolge über Prioritäten gesteuert. Zeitkritische Ansagen, wie z. B. Warnansagen bei Einfahrt der Züge, können so vorrangig durchgestellt werden. Der Bediener erhält auf grafischen Benutzeroberflächen in Echtzeit Informationen zum Betriebs- und Belegungszustand einzelner Lautsprecherkreise angezeigt (Abb. 17.30).

Die bei der DB AG aktuell eingesetzten EL/WL-Anlagen sind z. B.:

- elektronische Bauform E65 (Fa. Telefunken),
- einseitig gerichtete Lautsprecheranlage mit Rücksprechmöglichkeit ELR-(Fa. Wenzel Elektronik GmbH),
- System H-KIS-ELA 3000 (Fa. Funkwerk AG),
- System WM-ELISA (Fa. Wenzel Elektronik GmbH),

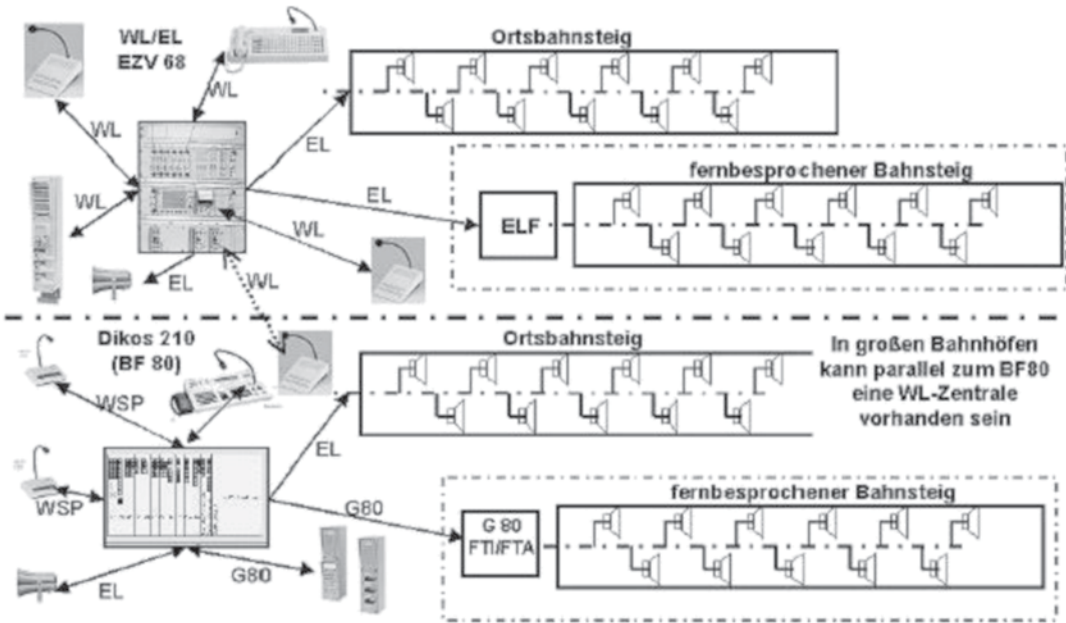


Abb. 17.31 Systemübersichten von EL/WL-Anlagen, EZV68 Fa. Wenzel Elektronik GmbH und Dikos210 (Fa. Funkwerk AG)

- System DVS 21 (Fa. RSR Datacom GmbH & Co. KG/ Fa. ProCom).

Typische Leistungsmerkmale dieser Anlagen (Abb. 17.31) sind:

- Berechtigungskontrolle/Priorisierung von Teilnehmern,
- integrierter 100-V-Verstärker mit variabler Leistung,
- zeit- oder umgebungsabhängige Pegelregulierung,
- Quittierungssignal nach Verbindungsaufbau,
- automatischer Verbindungsabbau (Time-out),
- integrierte Hardware- und Systemüberwachung bis zum Lautsprecher,
- Anschlussmöglichkeit für mehrere örtliche Sprechstellen,
- integriertes Störungsmanagement für interne und externe Komponenten,
- Fernwartung.

Schranken WL Gemäß EBO § 11 [2] sind Schranken, die ständig oder während bestimmter Zeiten geschlossen gehalten werden, mit einer Sprechanlage auszurüsten, wenn der Schrankenwärter den Bahnübergang von seiner Bedien-

stelle aus nicht einsehen kann. Auf Verlangen des Wegebenutzers (Abb. 17.32) wird, wenn dies ohne Gefahr möglich ist, die Schranke für die Zeit des Überschreitens vom Wärter geöffnet (sog. Anrufschraken). Die Bedieneinheit beim Schrankenwärter ist, je nach Bauart, entweder als eine separate Tischsprechstelle ausgeführt oder in seinem Stelltisch fest integriert (z. B. Fahrdienstleitern mit Schrankenwärterfunktion). Aus Gründen der Sicherheit sind diese Systeme technisch in sich völlig geschlossen.

Dr/WI-Anlagen Die Systeme haben einen hohen Nutzen für Instandhaltungspersonal, besonders wenn Funkanschlüsse vorhanden sind. Insbesondere in den Technikräumen der Leit- und Sicherungstechnik ist die Verwendung von Funkgeräten aus Sicherheitsgründen verboten. Mit einer fahrbaren WL-Sprechstelle können die Techniker freisprechend auf beiden Seiten im Raum agieren, was z. B. bei einer Störungsbehebung sehr hilfreich ist. Aufgrund der Kosten sind sie in der Praxis jedoch nur selten anzutreffen. Sie werden i. d. R. durch Fernsprecher (VPN-Bahn) mit guten Freisprecheinrichtungen



Abb. 17.32 WL-Außensprechstelle an Anrufschanke

ersetzt bzw. mobil durch GSM-R Mobiles (GPH) in der Applikation ASD, Profil Betriebsfunk (siehe Abschn. 17.2.6).

17.6 Steuerungs- und Meldesysteme

Um die Verfügbarkeit des Systems Bahn insgesamt zu gewährleisten, ist es notwendig, Zustandsmeldungen der vielfältigen technischen Anlagen zu einer ständig besetzten, betrieblich zuständigen Stelle zu übertragen und zu signalisieren, um schnellstmöglich die passenden organisatorischen Maßnahmen, z. B. die Instandsetzung bei einer Störungsmeldung, veranlassen zu können. In umgekehrter Richtung soll es möglich sein, Anlagenzustände, wie das Ein- oder Ausschalten von Weichenheizungen, zu steuern.

Die ersten und einfachsten Systeme dieser Art waren Störmeldetableaus auf einer Betriebsstelle (z. B. beim Fahrdienstleiter), auf die alle an der Lokalität vorhandenen Anlagen ihren Ausfall

meldeten. Die Störung wurde optisch und akustisch signalisiert und an dem Tableau quittiert.

Nachteil dieser Lösung war von Anfang an, dass die im Kern mit der Abwicklung des Bahnbetriebs beauftragten Mitarbeiter organisatorisch mit Instandhaltungsaufgaben belastet wurden. Mit zunehmender Zentralisierung der Betriebsführung wurden deshalb technische Lösungen gefunden, die es möglich machen, Meldungen über weite Strecken in die Betriebszentralen/Zentralstellwerke zu übertragen und die steigende Zahl der Meldungen in geeigneter Weise darzustellen. Außerdem sind diese Systeme in der Lage, zwischen solchen Meldungen/Steuerfunktionen zu unterscheiden, die direkt für den Bahnbetrieb relevant (Ziel: betriebliche Meldestelle) und solchen, die rein technischer Natur sind (Ziel: technische Meldestelle).

Bei den an das System angeschlossenen Anlagen, die überwacht oder gesteuert werden (Subsysteme), handelt es sich dabei nicht nur um Telekommunikationsanlagen, sondern auch um Bahnbetriebsanlagen der anderen Fachbereiche (z. B. Elektrotechnik, siehe Übersicht in Abschn. 17.6.2).

17.6.1 FÜSTE

Am Markt verfügbare Fernwirkssysteme liefern die grundsätzlichen Funktionen für Meldungsübertragung und Steuerung. Sie kommen als einzelne autarke Anlagen dort zum Einsatz, wo vergleichsweise wenig Meldungsaufkommen besteht (z. B. Regionalnetze). Es sind Systeme verschiedener Hersteller bei der Bahn im Einsatz¹⁴:

- Impulsfernwirkssysteme IFS 7, IFS 8, Fa. Telefunken/ Fa. ANT,
- Zeitmultiplexfernwirkssysteme ZMX80, Fa. Wenzel Elektronik GmbH,
- Fernwirkssystem FBM 40, Fa. Siemens AG.

Anfang der 70er-Jahre wurde bahntern die Vernetzung von Fernwirkssystemen, zusammen mit der Bedienung über Terminals sowie der Steuerung des Gesamtsystems über Prozessrech-

¹⁴ Liste ohne Anspruch auf Vollständigkeit.

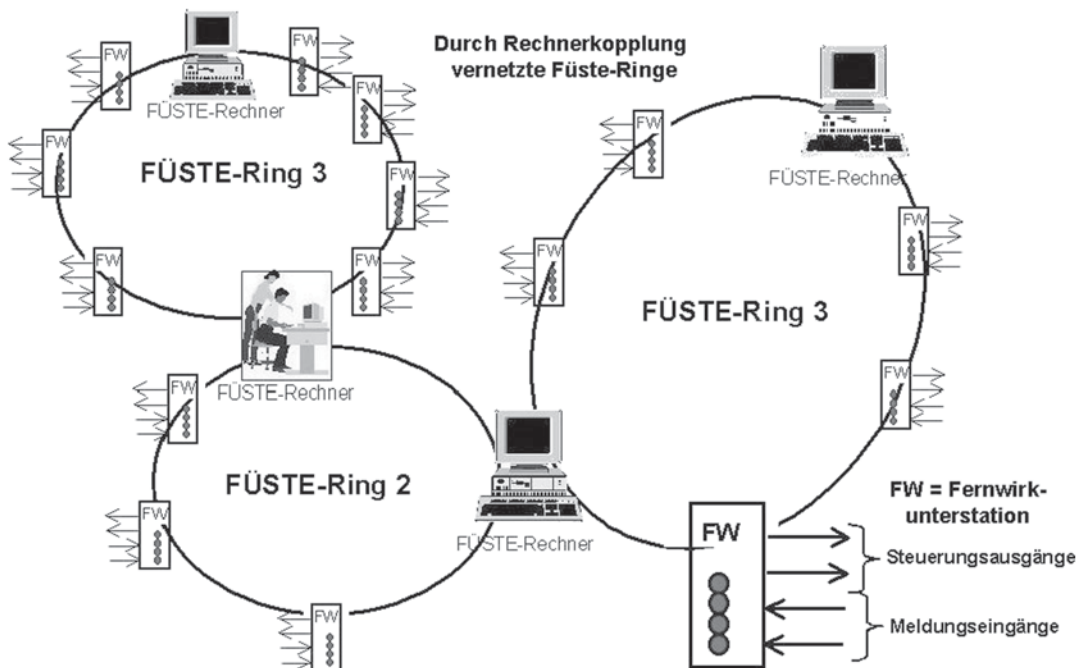


Abb. 17.33 Systemübersicht FÜSTE

ner, in dem Projekt FÜSTE (Fernüberwachung und Steuerung technischer Einrichtungen, s. Abb. 17.33) konzipiert und umgesetzt. FÜSTE konnte sich jedoch nicht durchsetzen und besteht heute verstärkt nur in einzelnen Regionen. Bundesweit wurden die Systeme MAS 90 (bzw. DB MAS) als technischer Standard etabliert.

Neben dem Meldungstransport und der Übermittlung von Steuerfunktionen sind in dem System FÜSTE Zusatzdienste, wie z. B. Quittungsüberwachung, Meldungsumleitung, Maßnahmenkataloge im Alarmfall und eine Vielzahl von statistischen Auswertungsmöglichkeiten vorhanden.

Es können sowohl potenzialfreie Kontakte als auch Subsysteme mit digitaler Schnittstelle (z. B. Fahrkartenautomaten) überwacht werden. Typische Überwachungs- und Steueraufgaben sind:

- Überwachung eines Betriebszustandes (Online/Offline),
- Unter-/Überschreitung vorgeschriebener Grenzwerte (z. B. Pegelstände in Pumpstationen),

- Übertragung von Alarm- und Störungsmeldungen,
- Ein- bzw. Ausschalten von Subsystemen (z. B. Bahnsteigbeleuchtungen).

17.6.2 Meldeanlagen system MAS 90

Das integrierte Meldeanlagen system MAS 90 ist ein Fernwirk system zur Übertragung von Alarm, Störungs-, Zustandsmeldungen und Schaltaufträgen. Angeschlossen werden können Schnittstellen einer Vielzahl von Subsystemen (siehe u. a. Übersicht) entlang der Strecken.

MAS 90 besteht im Kern aus einem geschlossenen, ringförmigen Netz mit Paketvermittlung (X.25-Datennetz). Die Vermittlung der Pakete geschieht in den an den Knoten befindlichen Datenkommunikationscomputern (DCC). Eine zentrale Steuereinheit (ZSE) verwaltet das Netz und verarbeitet die Informationen in Richtung der Melde- und Registriereinrichtung (MRE, Industrie-PC mit Drucker). Diese stellt auf der Bedienoberfläche

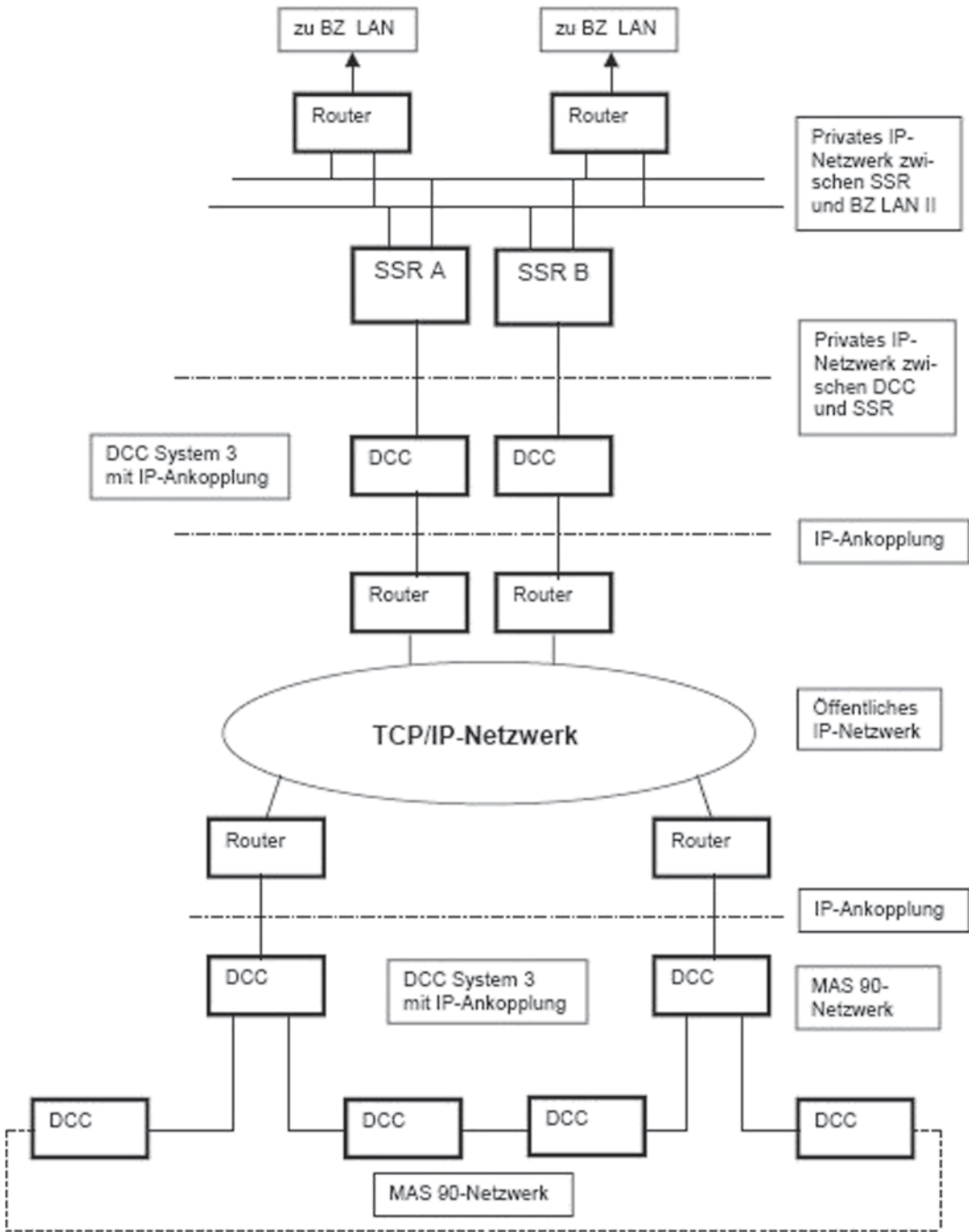


Abb. 17.34 Übersicht Netzkopplung MAS 90 und Betriebszentrale (LeiTFÜ-G)

(MÜV – Melde- und Überwachungsverfahren), die speziell nach den Anforderungen des Bahnbetriebs entwickelt wurde, die Informationen dar. Es bestehen zudem Schnittstellen für Terminals

zur Systemadministration (SMS) und in das Leitsystem der „Betriebsführung – Technische Fahrwegüberwachung“ (LeiTFÜ-G), in DB Netz-Betriebszentralen (Abb. 17.34).

Die Monitore und die Tastatur der Melde- und Registriereinheit (MRE) werden an den betrieblichen und technischen Meldestellen (z. B. Fahrdienstleiter und Zentrale Disposition für die Störungsbearbeitung) aufgestellt. Monitor, Tastatur, Drucker und PC stehen i. d. R. im Fahrdienstleiterraum. Bei Ausfall einer MRE werden die Meldungen von der ZSE zu einer vom Bahnbetrieb festgelegten Alternativ-MRE umgeleitet. Die zusätzliche MRE kann entfallen, wenn das MAS 90 über den Schnittstellenrechner (SSR) an das LeiTFÜ-G einer Betriebszentrale angebunden ist und dort von mindestens einem örtlich zuständigen Fahrdienstleiter (özF) genutzt wird. Die alternative Meldungsaufschaltung erfolgt dann beim özF in der BZ.

Direkt an die Komponenten DCC oder PAD des MAS 90 werden folgende Subsysteme angeschlossen:

- Anschaltbaugruppen für Fernwirkanwendungen (ABG)
- Heißläufer- und Festbremsortungsanlagen (HOA/FBOA)
- Zugnummerdecoder für HOA-Alarmmeldungen (ZND)
- Windmeldeanlagen (WMA)
- Luftströmungsmeldeanlagen für Tunnel (LSMA)
- Notrufzentralen für Tunnelnotruf (NZ)
- Weichenheizungen (WHZ)
- Oberleitungsanlagen (OLA)
- Ortssteuereinrichtungen für Oberleitungsschalter (OSE)
- Oberleitungsspannungsabschalteneinrichtungen (OLSP)

Über Anschaltbaugruppen (ABG; SPS-Steuern der Fa. Siemens) an das MAS 90 können angeschlossen werden:

- Einbruchmeldeanlagen (EMA)
- Brandmeldeanlagen (BMA)
- Beleuchtungsanlagen (BEL)

- Tunnelbeleuchtungen (TL)
- Tunnelsicherungsbeleuchtung (TSB)
- Tunnelnotrufanlagen (NR)
- Raumtemperaturüberwachung (RTÜ)
- Fluchttürenüberwachung (FLÜ)
- Wasserhebeanlagen (WHA)
- Wasserpegelüberwachung (WPÜ)
- Feuerwehraufzüge (FWZ)
- Wehrkammertore (WKT)
- TV-Anlagen für BÜ (TVBÜ)
- BOS-Funkanlagen (BOS)
- Klimaanlage (KA)
- Hauptuhrensteuerungen (HU)
- Netzersatzanlagen (NEA)
- Neutralisationsanlage (NEUT)
- Raumtemperaturüberwachungsanlage (RTÜ)
- Stromversorgungsanlagen (SV)
- Umformer (UF)
- Zugfunkeinrichtungen (ZF)

Inzwischen erfolgt die Ablösung von MAS 90 durch das DB Meldeanlagen-system (DBMAS). DBMAS basiert auf dem Internetprotokoll (IP) und erhöht die Flexibilität bei der Bereitstellung der Meldungen und Steuerfunktionen im Hinblick auf Anpassungen in der Organisation des Bahnbetriebes. Zum Stand des Netzausbaus und der Systemstruktur von DBMAS wird auf die Literatur [11] verwiesen.

Spannend bleibt die Entwicklung der Steuerungs- und Meldesysteme vor dem Hintergrund, dass neue Systemplattformen, wie z. B. GSM-R oder Übertragungstechnik, grundsätzlich zentral gemanagt werden. Die Managementsysteme beinhalten bereits Steuerungs- und Überwachungsfunktionalitäten für die angeschlossenen Systeme in viel umfangreicherem Maße und können zudem oft auch noch – in Konkurrenz zu den Meldesystemen – über systemeigene, externe Schnittstellen, Meldungen (z. B. An-schaltung von Meldungen der Standortinfrastruktur via I/O-Kontakte) an die technisch betriebsführenden Stellen übertragen.

Abb. 17.35 Brand, ausgelöst durch feste Bremse



Abb. 17.36 Zerstörter Fahrweg nach Entgleisung

17.7 Betriebliche Gefahrenmeldeanlagen

Betriebliche Gefahrenmeldeanlagen haben die Aufgabe, Zustände, die sich direkt gefährlich auf den laufenden Eisenbahnbetrieb auswirken können, zu detektieren und dem zuständigen Betriebspersonal (i. d. R. Fahrdienstleiter) anzuzeigen. Aus den Meldungen, die diese Anlagen generieren, folgen im nächsten Schritt unmittelbar betriebliche Maßnahmen (z. B. das Herabsenken der zulässi-

gen Streckengeschwindigkeit), was die Sicherheitsrelevanz dieser Anlagen einsichtig begründet.

Die Zustände, die sich gefährlich auf den Eisenbahnverkehr auswirken können, können dabei ursächlich aus dem Verkehr selbst entstehen (z. B. Heißläufer) oder durch Einflüsse von außen (z. B. starker Seitenwind auf Brücken).

Die Weiterentwicklung des Systems Bahn machte in den letzten Jahrzehnten höhere Streckengeschwindigkeiten, längere Tunnelbauwerke und eine wachsende Zugdichte möglich. Die Zentralisierung der Eisenbahnbetriebsführung bewirkte außerdem, dass nicht mehr wie früher in kurzen Abständen entlang der Strecke Betriebspersonal stationiert ist und den Zugverkehr direkt beobachten und hören kann (defekte Achslager kann man mit entsprechender Erfahrung hören!). Um die Eisenbahnsicherheit auch unter diesen neuen Bedingungen weiterhin zu gewährleisten, entstand in den 80er-Jahren die Anforderung an die Entwicklung geeigneter Technologien, z. B. der Heißläuferortungsanlagen.

17.7.1 Heißläufer- und Festbremsortungsanlagen (HOA/FBOA)

Heiße Achslager an Fahrzeugen können zu Achsbrüchen und damit zur Entgleisung eines ganzen

Abb. 17.37 Regelschwellwerte für Temperaturalarne HOA und FBOA

| Zustands- meldung | Heißläufer- Absolutalarm | Heißläufer- Differenzalarm | Festbrems- alarm |
|----------------------|-----------------------------|-------------------------------|---------------------|
| heiß | 100 °C ¹⁾ | 65 °C | 400 °C |
| warm | 70 °C ¹⁾ | entfällt | 300 °C |

¹⁾ Temperatur über Umgebungstemperatur

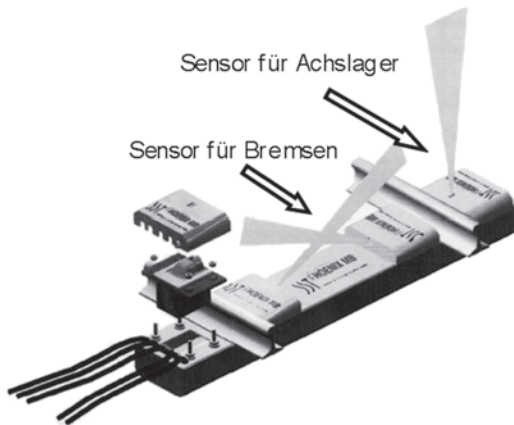


Abb. 17.38 Messschwelle mit HOA/FBOA Sensoren und schematischer Darstellung der Messfenster

Zuges führen. Heiße, festgefahrene Bremsen einer Achse können zu Bränden am Zug oder am Bewuchs der angrenzenden Böschung (durch Funkenflug) führen. Die primären und sekundären Auswirkungen solcher Ereignisse können jedenfalls enorm sein (Abb. 17.35 und 17.36).

HOA/FBOA sind kombiniert, in festen Abständen an der Strecke positioniert und tasten die Infrarotstrahlung (Wärmestrahlung) der einzelnen Lager und Bremsen des vorbeifahrenden Zuges ab. Sie werten diese Messung aus und setzen bei Überschreitung eines Schwellwertes (Abb. 17.37) eine entsprechende Meldung an den Fahrdienstleiter ab.

Die Systeme bestehen i. W. aus drei Teilen. Das erste ist die Gleisrüstung, die auch als Messschwelle bezeichnet wird. Es handelt sich hierbei um eine speziell für den Einsatz zugelassene, hohle Metallschwelle, die als Ersatz für eine Holz- oder Betonschwelle fest in die Fahrbahn eingesetzt wird und alle HOA/FBOA-Sensoren (Abb. 17.38) beinhaltet. In der unmittelbaren Nähe befindet sich die elektronische Auswerte-

einheit (Standortelektronik), die i. d. R. in einem Schalthaus neben der Strecke installiert ist. Die dritte Komponente des Systems ist die Meldestation bei der zuständigen Betriebsstelle (Industrie-PC mit Monitor und MÜV¹⁵-Oberfläche). Für Servicezwecke kann direkt vor Ort oder per Fern-diagnose auf die Standortelektronik zugegriffen werden. Folgende Herstellersysteme finden bei der DB Netz AG überwiegend Verwendung:

- HOA/FBOA Typ „PHOENIX“, Fa. SST Signal- und Systemtechnik GmbH,
- HOA/FBOA Typ „FÜS“, Fa. Progress Rail GmbH.

Grundsätzlich wird das Kernnetz mit HOA/FBOA ausgestattet, wobei die Anlagen in folgenden Abständen projektiert werden sollen:

- Strecken mit $v > 200$ km/h (SFS) 30 bis 35 km,
- übrige Strecken 40 bis 70 km.

Zusätzliche Standorte werden auf Strecken mit planmäßigem Gleiswechselbetrieb und an Grenzübergängen zu anderen EIU eingerichtet.

17.7.2 Luftströmungsmeldeanlagen (LSMA)

LSMA kommen im Rahmen des Sicherheitskonzeptes in langen Tunneln zum Einsatz. Beim Einsatz von Rettungskräften oder eines Rettungszuges können mit ihnen Luftströmungsrichtung, -geschwindigkeit und -temperatur im Tunnel bestimmt werden. Dies sind wichtige Faktoren für die Einsatzorganisation, z. B. bei Rauchentwicklung.

Bei Tunneln mit Fluchtwegen bis 500 m (entspricht einem Notausgangsabstand von max. 1000 m) sind wegen der Kürze der Fluchtwege

¹⁵ Siehe Abschn. 17.6.



Abb. 17.39 Windsensoren System „Mistral“, Fa. SST Signal- und Systemtechnik GmbH

keine Luftströmungsmeldeanlagen erforderlich. Darüber hinaus gilt: In Tunneln von 1000–2500 m Länge wird mindestens eine Luftströmungsmeldeanlage, bevorzugt in der Tunnelmitte (beachte jedoch Abs. 2), in Tunneln mit >2500 m Länge werden i. d. R. zwei Luftströmungsmeldeanlagen im Abstand von ca. 500 m zu jedem Tunnelmund eingerichtet.

Luftströmungsmeldeanlagen müssen einschließlich Stromversorgung und Datenübertragung im Brandfall für eine Mindestdauer von 90 min funktionsfähig bleiben (E90 nach DIN 4102). Da die verfügbaren Luftströmungssensoren diese Bedingung nicht erfüllen können, müssen auch in Tunneln mit 1000–2500 m Länge mindestens 2 Luftströmungsmeldeanlagen eingerichtet werden, die einen Abstand von ca. 300 m zueinander haben sollen (Redundanzkonzept). Die aus Gründen der Brandfestigkeit gedoppelte Anordnung von LSMA in Tunneln mit 1000–2500 m Länge sichert außerdem den Fall einer mechanischen Zerstörung einer Anlage

durch einen Unfall ab. Die Luftströmungsmeldeanlagen sind an das MAS 90/DBMAS-Netz angebunden.

17.7.3 Windmeldeanlagen (WMA)

Windmeldeanlagen werden vorzugsweise auf Talbrücken und Dämmen eingerichtet. Die genauen Standorte werden nach Feststellung der Gefährdung durch Seitenwind von der Fachstelle im Technologiezentrum der Bahn bestimmt. Bei Überschreitung von Schwellwerten können dann, zuggattungsspezifisch, entsprechende betriebliche Maßnahmen eingeleitet werden (z. B. Umleiten von Güterzügen wegen der Gefahr von Ladungsverschiebungen).

Die Windmeldeanlagen werden an das MAS 90/DBMAS-Netz angebunden. Sie entsprechen vom Aufbau her im Wesentlichen den LSMA. Als LSMA und WMA werden bei der DB Netz AG Systeme der Fa. SST Signal- und Systemtechnik GmbH vom Typ „Mistral“ eingesetzt, deren Sensoren auf der Basis einer Ultraschallmessung funktionieren (Ultraschall Anemometer, Abb. 17.39).

17.8 Tunnelnotrufsysteme

Der Hochgeschwindigkeitsverkehr brachte Streckenverläufe mit sich, die einen hohen Anteil von Tunneln mit großer Länge einbrachten. Reisende sollen bei einem Unfall die Möglichkeit haben, über im Fluchtweg angeordnete Notruffersprecher eine Sprechverbindung zu der bahnbetriebsführenden Stelle herstellen zu können, die gleichzeitig auch für die Einleitung von Rettungsmaßnahmen der erste Ansprechpartner ist. Da die vorhandenen bahnbetrieblichen Kommunikationsverbindungen (GSM-R, Streckenfersprecher) für betriebsfremde Personen nicht zugänglich/bediensbar sind, wurde deshalb das Tunnelnotrufsystem entwickelt und aufgebaut.

Die Grundlage für die Ausrüstung mit Tunnelnotruf bildet einmal mehr (Abschn. 17.3.4) die Tunnelrichtlinie des Eisenbahn-Bundesamtes [10].



Abb. 17.40 Tunnelnotruffernsprecher am Randweg

Der Verbindungsaufbau geschieht automatisch nach Betätigen der roten Notruftaste im Notruffernsprecher (Abb. 17.40). Das gesamte System – die Notrufzentrale bis hin zu den einzelnen Fernsprechern – ist selbstüberwachend und meldet Funktionsstörungen über MAS 90/DBMAS (Abschn. 17.6.2) an eine ständig besetzte betrieblich zuständige Stelle. Der Empfänger bekommt parallel zu einem eingehenden Notruf über das MÜV (Abschn. 17.6.2) metergenau den Standort des Notruffernsprechers angezeigt. Die Notruffernsprecher sind in Ringstruktur an die Tunnelnotrufzentrale angebunden, so dass, auch wenn das im Tunnel verlaufende Streckenfernmeldekanal durch die Havarie beschädigt sein sollte, die volle Funktion der Notrufanlage gegeben ist.

17.9 Videotechnik

Im Folgenden werden lediglich Anwendungen der Videotechnik beschrieben, die gemäß der Definition des Eisenbahnbetriebs „sicherheitsrelevant“ sind. Sie grenzen sich ab von den Systemen, die aus Gründen der „Security“ in Sicherheitszentralen der DB Station & Service GmbH zur Beobachtung von Bahnhofsbereichen oder bei der DB Netz AG zur Beobachtung von Abstellanlagen zur Anwendung kommen. Als wesentliche sicherheitsrelevante Anwendungen sind hier die TV-Anlagen an Bahnübergängen und die TV-Anlagen zur Zugschlussbeobachtung zu nennen.

17.9.1 TV-Anlagen an Bahnübergängen

Aufgrund der Vorgaben der Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO) [2], müssen Bahnübergänge (BÜ) mit Schranken von der Bedienungsstelle aus mittelbar oder unmittelbar eingesehen werden können. Durch die mittelbare oder unmittelbare Sicht auf den BÜ soll verhindert werden, dass Verkehrsteilnehmer durch Blinklicht- oder Lichtzeichenanlagen mit Vollschranken eingeschlossen werden. Die zeitliche Differenz zwischen dem Originalbild und der bildlichen Wiedergabe auf dem Bildschirm darf nicht größer als 200 ms sein (Echtzeitbild, Livebild).

Vom Bild müssen alle Verkehrsteilnehmer – auch kleine Personen oder Fahrzeuge – deutlich erfasst werden. Der gesamte Gefahrenraum wird flächig, mindestens im Bereich zwischen den Schranken und der Fahrbahnbegrenzung überwacht. Der Schrankenwärter muss das Freisein des Gefahrenraumes nach dem Schließen der Schranken prüfen. Bei einem technischen Ausfall der Anlage oder von Teilkomponenten muss es technisch ausgeschlossen sein, dass Bildinhalte auf dem Monitor einfrieren (Stichwort Archivbilder) und es so u. U. im nächsten Schritt zu einer Freimeldung bei tatsächlich belegtem Gefahrenraum kommt. Der Bediener kann deshalb zu jeder Zeit anhand eines Livetickers eindeutig erkennen, ob er ein Livebild auf dem Monitor sieht oder nicht.

Die vorgegebene Mindestbeleuchtungsstärke des Beobachtungsbereiches gemäß dem Regelwerk muss auch bei Finsternis gegeben sein und ist wichtiger Bestandteil bei der Prüfung auf Funktionsfähigkeit.

17.9.2 Zugschlussbeobachtung und -feststellung

Die Grundlagen für das Verfahren der Zugschlussfeststellung beschreibt die Richtlinie 408 der DB Netz AG „Bahnbetrieb, Züge fahren“. Eine in Gleisnähe installierte Kamera überträgt dabei das TV-Bild des Zugchlusses eines Zuges, der gerade die Signalzugschlussstelle passiert hat, auf einen Monitor. Der zuständige Mitarbeiter im Bahnbetrieb erkennt den Zugschluss und bewertet diesen bezüglich weiterer betrieblicher Handlungen. Die TV-Anlage unterstützt damit die sog. Zugschlussfeststellung durch Augenschein.

Einsatzfelder ergeben sich dort, wo einfache betriebliche Verhältnisse bestehen, die Zugschlussfeststellung durch direkten Augenschein örtlich nicht möglich ist (z. B. direkte Sicht behindert durch Lärmschutzwand, Brückenbauwerke, Bahnsteigdächer) und andere Systeme der Leit- und Sicherungstechnik, die diesen Zweck erfüllen könnten, nicht zur Verfügung stehen.

Die zum Einsatz freigegeben Videosysteme müssen besondere Leistungsmerkmale besitzen. Als Kameras sind generell Farbkameras mit geringen Smear-, Blooming- und Moiré-Effekten einzusetzen. Weitere wichtige technische Merkmale sind:

- automatischer Weißabgleich,
- Gegenlichtkompensation,
- kein Einfrieren der Bildpunktinformation,
- integriertes Schriftmodul,
- farbrichtige Wiedergabe,
- geringe Masse,
- hohe Zuverlässigkeit,
- gute Lichtempfindlichkeit und Auflösung,
- geringes Farbrauschen bei geringer Beleuchtungsstärke,
- Farbsystem PAL.

17.10 Übertragungstechnik und -wege

Bei der Betrachtung der Sprach- und Datendienste werden ihre Kapazitäten oft als „immer ausreichend vorhanden“ vorausgesetzt. Doch gerade Investitionen in ihre Kapazitäten müssen weit-sichtig und sorgfältig geplant werden. Aus Sicht der Sprach- und Datenanwendung sind sie oft im Hintergrund, gleichzeitig kommen alle Kommunikationsnetze durch sie erst „ganz groß“ raus. Telekommunikation findet ohne sie praktisch nicht statt. Die Rede ist von den Übertragungswegen und der Übertragungstechnik.

Leitungswege in Form von Kupfer- oder Lichtwellenleiter sind kostbare Investitionsgüter, die bei entsprechender Verlegung eine lange Lebensdauer besitzen (bis zu 70 Jahren). Die Überlegungen, wie man es technisch möglich machen kann, vorhandene Wege noch besser zu nutzen, wurden in den Anfängen im Wesentlichen durch die Telefonnetze (bei der Bahn also durch das BASA-Netz Abschn. 17.1.1) und die schnell steigende Zahl ihrer Teilnehmer getrieben. Die erste aktive Übertragungstechnik (ÜT), die bei der Bahn zum Einsatz kam, war die Trägerfrequenztechnologie (z. B. VZ12 bis V300), welche die Mehrfachausnutzung des Weges – damals praktisch ausschließlich Kupferkoaxialleiter oder Kupferdoppelader – ermöglichte.

Die Trägerfrequenzsysteme wurden danach vollständig durch PCM-Systeme¹⁶ abgelöst. Zur Bereitstellung der Transportkapazitäten für bahnbetriebliche Anwendungen aller Fachbereiche betreibt die DB Netz AG heute ein Netz in SDH/PDH-Technologie¹⁷. Es besteht ein bundesweites Netz von Übertragungswegen in Form von LWL- und Kupfer-Streckenfernmeldekabeln, die entlang der Eisenbahnstrecken verlegt sind. Die Kapazitäten der Knoten und Wege sind mit den Anforderungen über die Jahre gewachsen. Die wesentlichen Einflussfaktoren waren in den letzten beiden Jahrzehnten:

¹⁶ Pulse Code Modulation.

¹⁷ Synchrone Digitale Hierarchie/Plesiochrone Digitale Hierarchie.

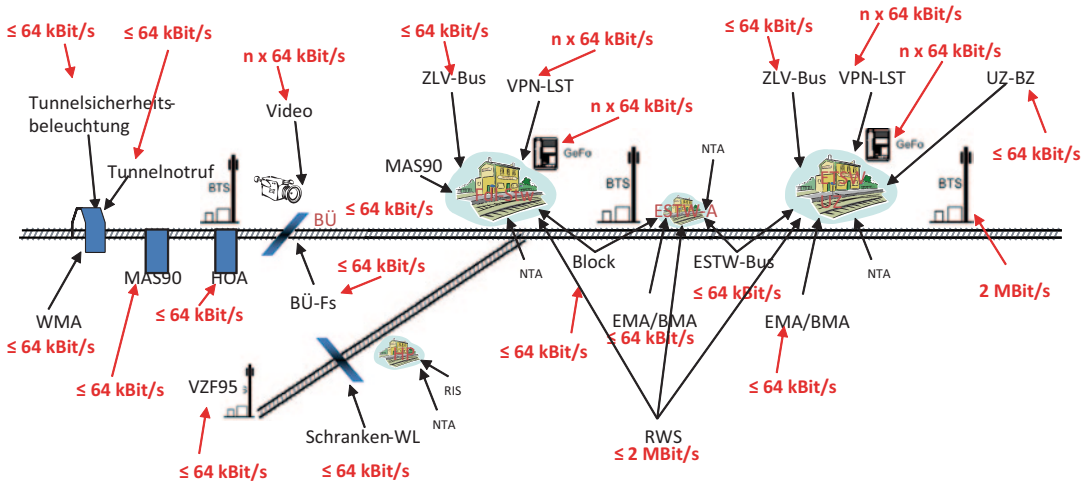


Abb. 17.41 Bahnspezifische Anwendungen und Übertragungskapazitätsbedarf

- der Aufbau von PDH/SDH-Knoten im Rahmen regionaler ESTW-Projekte und deren Kapazitätsbedarf in der Anbindung an die Betriebszentralen (Zentralisierung der Bahnbetriebsführung) und
- der Aufbau des bundesweiten GSM-R-Netzes mit Anbindung und Vermaschung der regionalen und zentralen Komponenten des BSS, NSS und von ART (Abschn. 17.2).

Gegenwärtig wird auf der Transportebene verstärkt an der Zusammenführung noch vorhandener lokaler Teilnetze zu regionalen und überregionalen Ringstrukturen gearbeitet bzw. deren Vermaschung verstärkt.

Die technische Betriebsführung der ÜT erfolgt zentral aus dem Netzwerk- und Operationszentrum (NOC) im 24-Stunden-Betrieb. Die ÜT-Knoten sind dabei über ein eigenes Datennetz (Data Communication Network – DCN) an das NOC angebunden. Eine besondere Anforderung an das ganze ÜT-System besteht darin, einen wesentlichen Beitrag zur hohen Verfügbarkeit der übertragenen bahnbetrieblich relevanten Dienste zu leisten. Die Verfügbarkeit eines Dienstes ist bekanntlich nie besser als die seines Übertragungsweges!

Strukturen und Multiplexer Für die Verfügbarkeit der bahnspezifischen Dienste (z. B. MAS 90/DBMAS, Anbindung Basisstation, LST-Ver-

bindungen) bestehen spezifische Anforderungen an deren Übertragungsweg im Hinblick auf System-, Stromversorgungs- und Wegeredundanz. Diese Anforderungen müssen die ÜT-Betriebsführung im laufenden Betrieb, auch bei Wartungen, Umschaltungen o. ä., kontinuierlich sicherstellen.

Auf der Anbindungsebene (Access-Ebene) müssen die übertragungstechnischen Knoten in der Lage sein, eine hohe Zahl verschiedenster Schnittstellenstandards zu bedienen, was Abb. 17.41 veranschaulichen soll.

Bei vielen Anbindungen handelt es sich in der Praxis zudem noch um niederbitratige Schnittstellen ($n \times 64\text{kBit/s}$). Um auch deren Übertragung sicherzustellen, kommen PDH-Multiplexer zum Einsatz. Mit über 1200 Stück ist der am häufigsten eingesetzte Typ bei der DB Netz AG der „XMP1“ der Fa. Keymile GmbH (ehem. Produkt der Fa. Marconi Abb. 17.42 und 17.43).

Aufgrund seiner vielfältigen Eigenschaften und des modularen Aufbaus ist der XMP1 als PDH/SDH Cross-Connect Multiplexer quasi für alle Netzwerktopologien einsetzbar. Wichtige Eigenschaften sind dabei:

- 2/8/34 Mbit/s und STM1 Add/Drop PDH/SDH-Multiplexer,
- 16 x E1 blockierungsfreier Cross-Connect auf 64/8 k-Ebene mit freier Zeitschlitzzuordnung und 32 x STM-1 VC-12, VC-3, VC-4-Granularität,



Abb. 17.42 19-Zoll-Schrank mit OMS 840, SDSL-Modem, XMP1 der Fa. Marconi und UMUX der Fa. ASCOM (von oben nach unten)

- Service-Schnittstellen Sprache: SUB, EX, 2W/4W, OB,
- Service-Schnittstellen ISDN: S 0F, UK0F (Q),
- Service-Schnittstellen Daten: DSK mod (V.11, V.24, V.35, WT G.703), Port Nx64 (V.11, V.35),
- Service-Schnittstellen LAN: 10BaseT,
- Softwaregesteuertes System mit Performance-, Test- und Diagnosefunktionen,
- Vielzahl von Möglichkeiten für Ersatz- und Redundanzschaltungen,
- Doppelung von Schlüsselkomponenten – Stromversorgungsredundanz, Zentralteilredundanz,
- Leitungsersatz, Kartenersatz und 64k-Redundanzschaltung,
- konfigurierbare Taktprioritäten.

Der universelle Multiplexer (UMUX) der Fa. Keymile (ehem. Ascocom) ist kompakt und modular aufgebaut und geeignet für den Einsatz in Außengehäusen. Der Typ UMUX 1200 (19" Rackmount x 4 HE) findet deshalb Einsatz in GSM-R-Basisstationen und -Repeatern und ist mit einer Größenordnung von 4000 Stück der am häufigsten eingesetzte Typ bei der DB Netz AG. Die größere Variante, der Typ UMUX 1500 (19" Rackmount x 8 HE), findet schwerpunktmäßig Einsatz in GSM-R-Basisstationen.

Ein UMUX 1200 (Abb. 17.42) bietet Platz für 6 frei wählbare Schnittstellenkarten. Neben optischen Line-Schnittstellenkarten können z. B. bis zu drei parallele HDSL-Systeme mit diesem Baugruppenträger realisiert werden. Letztere kommen besonders dort zum Einsatz, wo keine Strecken-LWL-Verkabelung zur Verfügung steht und die Anbindung der z. B. GSM-R-Basisstationen über vorhandene Kupfer-Streckenfernmelde-kabel realisiert werden muss. Der UMUX 1200 bietet eine Cross-Connect-Kapazität von 48×2 Mbit/s.

Die höhere Netzebene bilden bei der DB Netz AG SDH-Multiplexer. Hier werden Übertragungen in den Hierarchieebenen STM-1, STM-4 und STM-16 verwirklicht. Die am häufigsten eingesetzten Typen sind hier:

- Line-Schnittstellen: SDH (STM 1/4), E1 (LE Opt/LE Cu/HDB3), E3 (LE34 Opt Kx), SHDSL 1DA/2DA,
- Fa. Alcatel, Typen 1660 SM, 1650 SMC, 1642 EM,

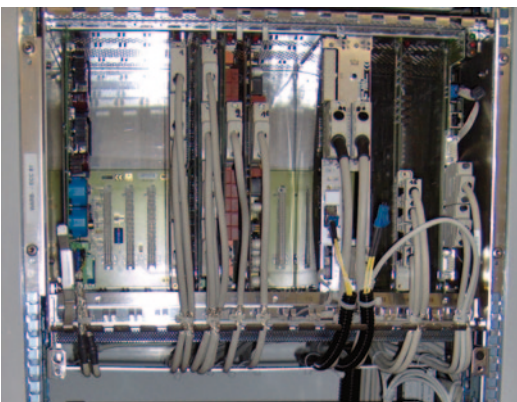


Abb. 17.43 XMP1 der Fa. Marconi, Baugruppenträger ohne Frontabdeckung



Abb. 17.44 Kabelverlegung im Schienenfuß

- Marconi OMS 1600, Fa. Ericsson GmbH,
- Marconi MS 1/4, Fa. Ericsson GmbH.

Für die Mehrfachausnutzung einzelner LWL-Faser kommen außerdem Wellenlängen-Multiplexer zum Einsatz (Wide Wavelength Division Multiplex – WWDW).

Kabelanlagen Kabelanlagen werden ausführlich in Kap. 16 behandelt, weshalb sich die Ausführung an dieser Stelle auf einen kurzen technologischen Ausblick beschränkt.

Telekommunikationskabel werden grundsätzlich in Bahnhofskabel (FB-Kabel) für den Nahbereich und Streckenfernmeldekanal (F-Kabel) für den Weitverkehrsbereich unterschieden. Die klassischen Arten der Kabel-Trassierung für Telekommunikationskabel bei der DB sind die Legung in Erd-, Betonkanal-, Luftkabel- und Rohrzugtrassen. In letzter Zeit kommt hier verstärkt die Trassierung in aufgeständerten Trograssen aus glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK) und die Verlegung im Schienenfuß hinzu.

Die Verlegung im Schienenfuß ist eine Alternative für die Streckenverkabelung an nicht elektrifizierten Strecken, z. B. im Regionalnetz, die neue Anforderungen bezüglich der Kabeleigenschaften mit sich bringt. Das Kabel wird in kurzen Abständen lediglich mit einer Stahlfederklammer an der Schiene fixiert und liegt ansonsten offen (Abb. 17.44). Es ist in dieser Position in vollem Umfang und ohne Verzögerung den Schwankungen der Umgebungstemperatur ausgesetzt. Diese bewirkt Materialausdehnungen

bzw. Längenveränderungen des Kabels, die zu signifikanten Verwerfungen führen können.

Hier ist es wichtig, bereits bei der Kabelherstellung durch eine entsprechende Materialauswahl und einen geschickten Kabelaufbau diesem Effekt entgegenzuwirken. Im Zusammenhang mit der Verlegung im Schienenfuß wurden Hybrid-Kabeltypen erprobt und zum Einsatz gebracht, die im Bereich der Regionalstrecken nicht allein die Belange der Telekommunikation erfüllen, sondern auch die der Fachbereiche Elektrotechnik und der Leit- und Sicherungstechnik.

Auch wenn die Einführung der xDSL-Technologie auf Kupfer-Streckenfernmeldekanal neue Kapazitäten und Möglichkeiten geschaffen hat, sinkt in der Gesamtbetrachtung weiterhin der Bedarf an Kupfer-Übertragungswegen bzw. steigt der Bedarf an Lichtwellenleiterkabeln. Der weitere Netzausbau soll zudem die Möglichkeit schaffen, bestehende teure Mietleitungen auf Bahn-eigene Wege zu migrieren.

17.11 Ausblick

Technologisch wird die Weiterentwicklung des GSM-R-Netzes auf neuere Mobilfunknetz-Generationen, die Einführung neuer GSM-R Applikationen, der Ausbau der übertragungstechnischen Netze und die künftigen Standards in der Übertragungstechnik (Stichwort IP), die Entwicklung der bahnbetrieblichen Telekommunikation bestimmen. In Bezug auf die Implementierung neuer GSM-R Applikationen wird entscheidend sein, welche Kapazitäten das Funknetz dafür bereitstellen kann bzw. mit welchem Aufwand die zugehörigen, neuen funktionalen Anforderungen umgesetzt werden können. Neue Technikgenerationen werden noch stärker die Konzentration von Technik-Standorten und deren Fernadministration ermöglichen. Herausforderung an die Technik ist dabei, die geforderte hohe Qualität (Verfügbarkeit) der Netze und der Dienste für den eisenbahnbetrieblichen Anwender zur jeder Zeit sicher zu stellen.

Literatur

1. Allgemeines Eisenbahngesetz vom 27. Dezember 1993 (BGBl. I S. 2378, 2396; 1994 I S. 2439), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 12. September 2012 (BGBl. I S. 1884) geändert worden ist
2. Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung vom 8. Mai 1967 (BGBl. 1967 II S. 1563), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 25. Juli 2012 (BGBl. I S. 1703) geändert worden ist
3. Vertrag über die Arbeitsweise der Europäischen Union (AEUV), Fassung aufgrund des am 1.12.2009 in Kraft getretenen Vertrages von Lissabon (Konsolidierte Fassung bekanntgemacht im ABl. EG Nr. C 115 vom 9.5.2008, S. 47)
4. Richtlinie 2008/57/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 17. Juni 2008 über die Interoperabilität des Eisenbahnsystems in der Gemeinschaft (Bekanntgemacht am 18.7.2008 im Amtsblatt der Europäischen Union L 191/1)
5. Verordnung über die Interoperabilität des transeuropäischen Eisenbahnsystems (Transeuropäische-Eisenbahn-Interoperabilitätsverordnung – TEIV) (BGBl. I S. 3154)
6. Verwaltungsvorschrift für die Bauaufsicht über Signal-, Telekommunikations- und Elektrotechnische Anlagen (VV BAU-STE) Ausgabe 4.51, Gültig ab 01.06.2010
7. Verwaltungsvorschrift für die Eisenbahnaufsicht über Signal-, Telekommunikations- und Elektrotechnische Anlagen VV EA – STE, Stand 24.08.2010, Gültig ab 01.01.2010
8. 2012/88/EU; Beschluss der Kommission über die Technische Spezifikation für die Interoperabilität der Teilsysteme „Zugsteuerung, Zugsicherung und Signalgebung“ des transeuropäischen Eisenbahnsystems (TSI CCS) (Bekannt gegeben unter Aktenzeichen K (2012) 172)
9. EIRENE System Requirement Specifications, Version 15.3.0, Quelle: GSM-R Operators Group vom 8. März 2012 Referenz: UIC CODE 951 und EIRENE Functional Requirement Specifications Version 7.3.0, Quelle: GSM-R Functional Group vom 8. März 2012; Referenz: UIC CODE 950
10. Richtlinie des Eisenbahn Bundesamtes zu Anforderungen des Brand- und Katastrophenschutzes an den Bau und den Betrieb von Eisenbahntunneln, Stand: 01.07.2008. Verfügbar über <http://www.eba.bund.de>
11. Kuhn H-A (2010) DBMAS – Neue Anwendungsplattform für die Infrastrukturüberwachung. Signal + Draht (10), Ausgabe 7 + 8/2010. Verlag Eurailpress Hamburg

Franz Klier

18.1 Allgemeines

Das Themengebiet „Elektromagnetische Verträglichkeit im Bahnbereich“ lässt sich anhand der zu erfüllenden Schutzziele in mehrere Teilbereiche untergliedern:

- Verträglichkeit der Komponenten und Geräte eines Fahrzeuges untereinander, so dass das Fahrzeug bestimmungsgemäß eingesetzt werden kann (Abschn. 18.2, Schlagwort „EN50121“)
- Verträglichkeit der Komponenten, Geräte und Anlagen der Infrastruktur untereinander, so dass die Infrastruktur bestimmungsgemäß arbeiten kann (Abschn. 18.2, 18.3, Schlagworte „EN50121“, „Beeinflussung von LST-Anlagen durch Bahnstrom“)
- Störaussendung von Fahrzeugen in die Außenwelt (Abschn. 18.2, Schlagwort „EN50121“)
- Störaussendung der Eisenbahn-Infrastruktur in die Außenwelt (Abschn. 18.2, Schlagwort „EN50121“)
- Sicheres und hochverfügbares internes Zusammenwirken von Fahrzeugen mit der Bahn-Infrastruktur (Abschn. 18.4, Schlagwort „Beeinflussung von Gleisfreimeldeeinrichtungen“)
- Begrenzung der Störauswirkungen der Bahn zum Schutz anderer paralleler Infrastrukturen wie z. B. Telekommunikations- oder Rohrlei-

tungen (Abschn. 18.3, Schlagwort „Beeinflussung durch Bahnstrom“).

Ein weiteres Schutzziel ist der Personenschutz. Einige Auswirkungen des 16,7-Hz-Bahnstromes auf Personen sind im Abschn. 18.3 aufgeführt.

Nicht alle Themen können an dieser Stelle umfassend dargestellt werden, es kann hier nur auf die ganz wesentlichen Grundlagen eingegangen werden.

Generell eingeschätzt werden kann, dass durch die Zunahme des Einsatzes

- moderner Umrichter für Antrieb und Hilfsenergieversorgung von Fahrzeugen mit immer höheren Taktraten und steileren Schaltflanken,
- zusätzlicher Sekundärsysteme, die dem Fahrgastkomfort sowie der Information des Fahrgastes dienen und
- der mobilen Kommunikation in der Gesellschaft

die Sicherstellung der elektromagnetischen Verträglichkeit in der Zukunft immer mehr an Gewicht gewinnt.

18.2 EMV im hochfrequenten Bereich

Allgemeines Unter Elektromagnetischer Verträglichkeit (EMV) zweier oder mehrerer elektrischer Geräte (oder Einrichtungen) untereinander versteht man die ungewollte Beeinflussung bzw. Nichtbeeinflussung mittels elektrischer- oder magnetischer Felder sowie durch elektrische Spannungen und Ströme.

Dieser Beitrag wurde unverändert aus Fendrich, Handbuch Eisenbahninfrastruktur, 1. Aufl. Springer Berlin Heidelberg 2007 entnommen.

F. Klier (✉)
DB Systemtechnik, 80939 München, Deutschland

Allgemein kann eine derartige Beeinflussung einer Einrichtung durch alle ihre Anschlüsse sowie durch ihr Gehäuse selbst erfolgen. Als Anschlüsse der Einrichtung wiederum gelten:

1. Wechselspannungsanschlüsse,
2. Gleichspannungsanschlüsse,
3. Eingänge,
4. Ausgänge,
5. Erdungsanschlüsse.

Die gegenseitige Beeinflussung hängt dabei von der Störfestigkeit und der Störaussendung der beteiligten Geräte (oder Einrichtungen) sowie von deren Verkopplung untereinander ab.

Um ungewollte Beeinflussungen elektrischer Einrichtungen untereinander zu vermeiden und somit einen störungsfreien Betrieb der Geräte (oder Einrichtungen) zu ermöglichen, wird die Mindeststörfestigkeit und die Maximalstöraussendung von Geräten und Einrichtungen durch Normen auf nationaler und internationaler Ebene geregelt.

Im nachfolgenden Abschnitt wird näher auf die EMV-Normenreihe für Bahnanwendungen eingegangen.

EMV-Normen EN 50121 und IEC 62236 Anfang der 1990er Jahre wurde begonnen, bei CENELEC auf europäischer Ebene eine EMV-Norm für Bahnanwendungen zu entwickeln, die dann modifiziert als Weltnorm bei IEC übernommen wurde. Die europäische Normenreihe trägt die Bezeichnung EN 50121 „Bahnanwendungen Elektromagnetische Verträglichkeit“, die Normenreihe auf Weltebene IEC 62236 „Railway Applications – Electromagnetic Compatibility“. Beide Normenreihen bestehen aus sechs Teilen und unterscheiden sich nur geringfügig voneinander.

Im Einzelnen besteht die Normenreihe EN 50121 aus folgenden Teilnormen:

- EN 50121-1, Teil 1: Allgemeines

Dieser Teil enthält eine Beschreibung des elektromagnetischen Verhaltens einer Bahn und legt für die gesamte Norm die Bewertungskriterien für das Betriebsverhalten fest. Ein Planverfahren für die Sicherstellung der EMV an der Schnittstelle der Bahninfrastruktur mit den Zügen wird ebenfalls festgelegt.

- EN 50121-2, Teil 2: Störaussendungen des gesamten Bahnsystems in die Außenwelt
Dieser Teil legt die Grenzwerte für hochfrequente Störaussendungen der Bahn in die Außenwelt fest. Er beschreibt die anzuwendenden Messverfahren und enthält Informationen über typische Feldstärken verschiedener Traktionssysteme (z. B. 15 kV 16,7 Hz; 25 kV 50 Hz).

- EN 50121-3-1, Teil 3-1: Bahnfahrzeuge – Zug und gesamtes Fahrzeug

Dieser Teil legt die Anforderungen zur Störaussendung und Störfestigkeit für alle Arten von Schienenfahrzeugen fest. Er deckt sowohl Triebfahrzeuge und Züge als auch unabhängige gezoogene Fahrzeuge ab.

- EN 50121-3-2, Teil 3-2: Bahnfahrzeuge – Geräte

Dieser Teil legt Anforderungen an die Störaussendungen und Störfestigkeit von elektrischen und elektronischen Geräten (Einrichtungen), die zur Verwendung an Bord von Schienenfahrzeugen vorgesehen sind, fest.

- EN 50121-4, Teil 4: Störaussendungen und Störfestigkeit von Signal- und Telekommunikationseinrichtungen

Dieser Teil legt die Anforderungen an die Störaussendungen und Störfestigkeit von Signal- und Telekommunikationseinrichtungen für den Bahnbetrieb fest.

- EN 50121-5, Teil 5: Störaussendungen und Störfestigkeit von ortsfesten Anlagen und Einrichtungen der Bahnenergieversorgung

Dieser Teil legt die die Anforderungen an die Störaussendungen und Störfestigkeit von ortsfesten Anlagen und Einrichtungen der Bahnenergieversorgung fest.

Neben den Vorschriften dieser Normenreihe sind für einen beeinflussungsfreien Betrieb der einzelnen Einrichtungen weitere Maßnahmen zu beachten, auf die im nachfolgenden Abschnitt näher eingegangen wird.

Zusätzliche EMV-Anforderungen Als weitere wichtige Anforderung ist die Funkverträglichkeit zu nennen, die sich aus der Norm EN 50121-3-1 ergibt. Sie betrifft sowohl die Störaussendungen der Geräte und Einrichtungen, die an Bord von Schienenfahrzeugen eingesetzt werden, als auch das Schienenfahrzeug als Ganzes selbst.

Die Funkverträglichkeit soll den störungsfreien Betrieb der Signal- und Telekommunikationseinrichtungen gewährleisten, d. h. die bahnbetrieblichen Kommunikationsfunkbereiche schützen. Darunter fallen Funkbereiche für den Rangierbetrieb, für die Wartung und Instandhaltung, Lokomotivenfernsteuerung sowie den analogen- und digitalen Zugfunk.

Da die hierfür verwendeten Funkbereiche von Land zu Land variieren, gelten für jedes Land eigene Vorschriften hinsichtlich der Frequenzbereiche und der Messanordnung. Die Einhaltung dieser Vorschriften ist als Netzzugangskriterium des jeweiligen Landes einzustufen.

Bei der Anbringung von Funkantennen an oder in Schienenfahrzeugen ist auf die gegenseitige Entkopplung der Antennen zu achten, um einen beeinträchtigungsfreien Betrieb der verschiedenen Funksysteme auf den Schienenfahrzeugen zu gewährleisten. Dabei muss berücksichtigt werden, dass Fahrzeuge auch gekuppelt in Mehrfachtraktion fahren können.

Die Anforderungen an die Entkopplungen der unterschiedlichen Funksysteme zueinander ergeben sich aus den hochfrequenztechnischen Eigenschaften der beteiligten Funksysteme sowie den verwendeten Antennentypen.

18.3 Beeinflussung von Anlagen der Leit- und Sicherungstechnik durch Bahnströme

Bahnströme können bahneigene Anlagen der Leit- und Sicherungstechnik sowie Anlagen Dritter, z. B. Telekommunikationsanlagen oder Rohrleitungen, beeinflussen. In diesem Abschnitt beschränken wir uns im Wesentlichen auf die Beeinflussung bahneigener Anlagen. Weiterführende Hinweise zur Beeinflussung Dritter finden sich am Ende dieses Abschnittes.

Ursache der Beeinflussung Wird ein Verbraucher an eine Spannungsquelle angeschlossen, fließt Strom. Mit dem Stromfluss entsteht ein magnetisches Feld, dessen Feldlinien kreisförmig um den stromdurchflossenen Leiter angeordnet sind.

Beim elektrischen Zugbetrieb wird über ein Unterwerk (Uw) oder einen Schaltposten (Sp) Strom in die Oberleitung zum Verbraucher Zug (Lokomotive) eingespeist. Der Rückstrom fließt über die Schienen an das Uw oder den Sp zurück. Durch den Strom in der Oberleitung und den Rückstrom in den Schienen entstehen zwei, aus der unterschiedlichen Stromrichtung resultierende, überlagerte magnetische Felder, s. Abb. 18.1. Diese Magnetfeldlinien greifen auch durch die Fläche, die zwischen einem parallel zur elektrifizierten Bahnstrecke verlegten Signalkabel und Erde aufgespannt ist, s. Abb. 18.2. Dadurch wird zwischen den Enden jeder Signalkabelader eine (Längs-)Spannung induziert. Wenn an einem Kabelende ein Erdfehler (z. B. Durchschlag gegen Erde) auftritt, dann liegt am anderen Ende die induzierte Spannung in voller Höhe als (Quer-)Spannung zwischen der beeinflussten Kabelader und Erde an.

Die Beeinflussungsspannung beansprucht die Kabelisolation und die angeschlossenen Geräte und Einrichtungen und kann den Menschen gefährden, wie in den folgenden Abbildungen dargestellt.

Bei gleichzeitigem Vorhandensein von einer unbeabsichtigten leitenden Verbindung zwischen beeinflusster Ader und Erde (Erdfehler) einerseits und einer großen Beeinflussungsspannung andererseits kann ein Strom induziert werden, der zu Fehlreaktionen z. B. eines Relais in der Stellwerksanlage führen könnte.

Die in Abb. 18.2 dargestellten Fälle müssen verhindert werden, indem bestimmte Grenzwerte der Beeinflussungsspannung eingehalten werden.

Die allgemeinen Grundlagen und weiterführende Informationen sind in der VDE 0228 „Maßnahmen bei Beeinflussung von Fernmeldeanlagen durch Starkstromanlagen“ sowie in den „Technischen Empfehlungen“ der von Betreibern von Bahn-, Telekommunikations- und 50-Hz-Energieübertragungsanlagen gegründeten „Schiedsstelle für Beeinflussungsfragen“ beschrieben. Diese Technischen Empfehlungen wurden in den letzten Jahren überarbeitet und können unter www.sfb-emv.de kostenlos abgerufen werden.

Abb. 18.1 Felder im Bahnbetrieb (Bild aus dem Internet)

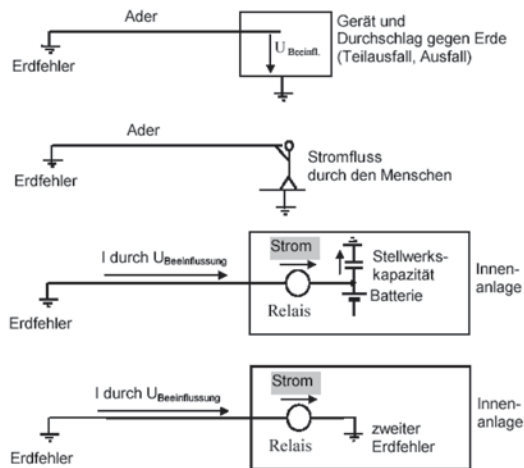
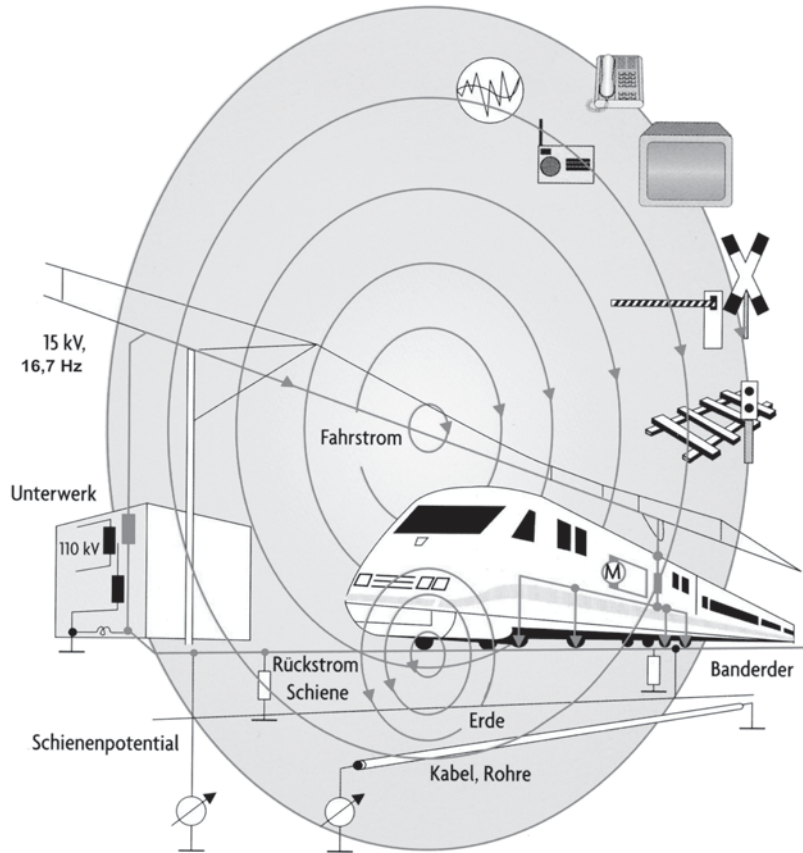


Abb. 18.2 Mögliche Auswirkungen unzulässig hoher Beeinflussungsspannungen

Die für die Anlagen der Leit- und Sicherungstechnik (LST) zulässigen Grenzwerte der Beeinflussungsspannungen sowie weitere bahnspezifische Festlegungen sind in der Richtlinie 819.08 „LST-Anlagen planen; Beeinflussung und Schutzmaßnahmen“ festgeschrieben. Die Richtlinie 819.0802 schreibt folgende Nachweispflichten vor:

Ist eine induktive Beeinflussung vorhanden, muss diese bei der Planung einer Anlage der Leit- und Sicherungstechnik grundsätzlich beachtet werden. Dies gilt sowohl bei Neubau und Umbau von LST-Anlagen. An elektrifizierten Bahnstrecken ist dies grundsätzlich notwendig. Wird das beeinflussende System nachgerüstet (z. B. nachträgliche Elektrifizierung einer Strecke), muss für die Anlagen der Leit- und Sicherungstechnik die induktive Beeinflussung beachtet werden. Es muss sichergestellt werden, dass durch geeignete Beeinflussungs-

schutzmaßnahmen die zulässigen Beeinflussungsspannungen nicht überschritten werden.

Der Nachweis für die Einhaltung der zulässigen Grenzwerte der Beeinflussungsspannung ist Bestandteil der Planunterlagen einer LST-Anlage. Die angewandten Schutzmaßnahmen sind als Bestandteil der Unterlagen aufzuführen. Die Einhaltung der Grenzwerte wird vom Eisenbahn-Bundesamt überprüft.

Da die Messung der maximalen Beeinflussungsspannung zwar grundsätzlich möglich, aber sehr aufwändig ist, wird vorrangig eine Berechnung durchgeführt. Die Vorgehensweise bei der Berechnung ist in der Richtlinie 819.0803 beschrieben.

Berechnung der Beeinflussungsspannung Die wesentlichen Einflussfaktoren für die Höhe der induzierten Beeinflussungsspannung U_B sind:

- Amplitude I des beeinflussenden Stromes (z. B. Fahrstrom I_F bei der Langzeitbeeinflussung, Kurzschlussstrom I_K bei der Kurzzeitbeeinflussung),
- Frequenz f des beeinflussenden Stromes,
- Abstand a zwischen dem beeinflussenden und dem beeinflussten System,
- spezifische Erdleitfähigkeit κ (Reziprokwert des spezifischen Erdwiderstandes),
- Beeinflussungslänge ℓ ,
- reduzierende Faktoren r wie
 - r_S – Anzahl der in die Rückstromführung einbezogenen Gleise/Schienen
 - r_K – Kabel mit Induktionsschutz/Reduktionsfaktorkabel
 - r_E – Erd- oder Rückleiterseile
 - r_X – andere benachbarte, geerdete Leiter.

Bei der Berechnung der induzierten Spannung ist das beeinflusste Kabel zunächst in Abschnitten zu unterteilen, in denen die oben genannten Einflussfaktoren jeweils als konstant angesehen werden können. Daher führen bei der praktischen Berechnung Änderungen z. B.

- des Abstandes a oder
- des beeinflussenden Stromes, z. B. an Unterwerksstandorten oder
- der Anzahl der Gleise

zur Bildung von solchen Abschnitten. Für jeden Abschnitt wird die Beeinflussungsspannung gemäß der folgenden Formel berechnet:

$$U_B = 2\pi f \cdot I \cdot M' \cdot r_{ges} \cdot \Delta l \cdot w$$

Dabei ist M' die Gegeninduktivität zwischen beeinflussendem Oberleitungssystem und beeinflusstem Kabel als Funktion des Abstandes a , der spezifischen Erdleitfähigkeit κ und der Frequenz f . Δl ist die Abschnittslänge. Der Erwartungsfaktor w (durch diesen Faktor wird berücksichtigt, dass der Berechnung des Kurzschluss-Stromes die ungünstigsten Verhältnisse zugrunde gelegt wurden und dass das gleichzeitige Zusammentreffen aller ungünstigsten Verhältnisse wenig wahrscheinlich ist) ist 0,7 bei Kurzzeitbeeinflussung und 1 bei Langzeitbeeinflussung.

Für eine genauere Darstellung der Berechnung sei an dieser Stelle auf die oben genannten Richtlinien, VDE-Normen und Technischen Empfehlungen verwiesen.

Zusammenfassend soll dargestellt werden, welches Mindestmaß an Informationen für eine Beeinflussungsberechnung vorhanden sein muss:

- Länge ℓ der zu betrachtenden Kabelverbindung. Damit ist die längste galvanisch durchgeschaltete Verbindung gemeint. Typische Endpunkte sind Vorseignale, Weichen und Stellwerke bzw. Riegelstellen. Wenn die zu betrachtende Verbindung im Stellwerk nicht galvanisch getrennt ist, so darf das Stellwerk auch nicht als Endpunkt der zu betrachtenden Kabelverbindung angenommen werden.
 - Abstand a des beeinflussten Kabels zum Gleis,
 - Überblick über die Speiseverhältnisse sowie Fahr- und Kurzschluss-Stromdiagramm für die betrachtete Strecke, siehe auch Abschnitt „Stromdiagramme“,
 - reduzierende Systeme und deren Faktoren r_X .
- Die Berechnung kann als vereinfachte Überschlagsrechnung, als detaillierte Handrechnung sowie mit Hilfe von speziellen Berechnungsprogrammen durchgeführt werden.

Eine Berechnung ist auch in jedem Fall erforderlich, wenn eine Veränderung der Beeinflussungsintensität durch das beeinflussende System (z. B. Stromerhöhung) oder eine Änderung von reduzierenden Faktoren (z. B. Gleisrückbau) zu erwarten ist.

Grenzwerte Die Beeinflussungsspannung darf die zulässigen Grenzwerte nicht überschreiten. In der Richtlinie 819.0804 sind die Werte für die verschiedenen LST-Techniken angegeben.

Bei neueren LST-Anlagen müssen mindestens folgende Beeinflussungsspannungen zulässig sein:

- Langzeitbeeinflussung: 250 V,
- Kurzzeitbeeinflussung: 1500 V.

Diese Grenzwerte sind Anlagenschutzwerte. Die Personenschutzgrenzwerte liegen deutlich niedriger. Bei Arbeiten an beeinflussten Anlagen sind die Vorgaben der Gesetzlichen Unfallverhütungsvorschriften zu beachten (z. B. GUV-V A3 – Elektrische Anlagen und Betriebsmittel).

Schutzmaßnahmen Ergeben die Berechnungen eine zu hohe Beeinflussungsspannung, müssen Schutzmaßnahmen gemäß Richtlinie 819.0805 durchgeführt werden. Diese werden in die nochmalige Berechnung einbezogen und müssen die Beeinflussungsspannung auf die zulässigen Grenzwerte reduzieren.

Folgende Schutzmaßnahmen sind im Bahnbereich sinnvoll und können angewendet werden:

- Verkürzung der Beeinflussungslänge, z. B. durch Einsatz von Wandlern in der Stellwerks-Stromversorgung oder von Trennübertragern,
- Einsatz von Kabeln mit Induktionsschutz. Der Metallmantel dieser Kabel muss beidseitig geerdet werden, um wirksam zu sein,
- Einsatz oder Berücksichtigung anderer geerdeter Leiter, die eine Reduktionswirkung erzeugen,
- Einsatz von Überspannungsableitern unter Beachtung der bahnspezifischen Bedingungen,
- Einsatz von anderen Techniken, die höhere Beeinflussungsspannungen zulassen,
- befristete betriebliche Maßnahmen.

Die Schutzmaßnahmen müssen bereits bei der Planung zusätzlich vorgesehen werden. Vorhandene Maßnahmen mit geeigneter Schutzwirkung können bei der Planung einbezogen werden. Schutzmaßnahmen sind nach technisch-wirtschaftlichen Gesichtspunkten auszuwählen. Ausreichende Schutzmaßnahmen müssen realisiert sein, bevor die beeinflussende Anlage in Betrieb genommen bzw. bevor eine LST-Anlage unzulässig beeinflusst wird.

Stromdiagramme Als Basis für eine Beeinflussungsberechnung dienen die für die verschiedenen elektrifizierten Streckenabschnitte vorzuhaltenden Fahr- und Kurzschluss-Strom-Diagramme.

Diese Diagramme sind bereits während der Planungen, also **vor** dem Bau einer Strecke oder **vor** einer Elektrifizierung zu erstellen. Für die DB AG werden diese Diagramme für alle elektrifizierten Strecken in Deutschland vom Bereich Technik und Beschaffung, DB Systemtechnik, durch die OE TZF 15 erstellt.

Wie diese Diagramme zu erstellen sind, ist in der DIN VDE 0228 mit dem Titel „Maßnahmen bei Beeinflussung von Fernmeldeanlagen durch Starkstromanlagen“ mit den Teilen 1 und 3 geregelt:

- DIN VDE 0228 Teil 1 Allgemeine Grundlagen
- DIN VDE 0228 Teil 3 Beeinflussung durch Wechselstrom-Bahnanlagen

Um ein Diagramm erstellen zu können, ist es erforderlich, die Ströme, die in einem Streckenabschnitt zwischen zwei Einspeisepunkten maximal fließen können, hinreichend genau zu kennen. Dabei ist der Fahrstrom, also der Strom, der von allen im Streckenabschnitt befindlichen Fahrzeugen benötigt wird, zu betrachten und im Weiteren der Kurzschluss-Strom, der an einem beliebigen Ort im Streckenabschnitt durch eine Störung im System auftreten kann.

Durch die Planer einer Baumaßnahme sind für die Diagrammerstellung weitere wichtige Eingangs-Informationen zur Verfügung zu stellen:

Die Antworten auf folgende Fragen beschreiben die betriebliche Situation:

- Eingleisiger, zweigleisiger, mehrgleisiger Abschnitt?
- Welche Triebfahrzeuge und Zuggattungen sind unterwegs (z. B. S-Bahn, Reisezüge, Güterzüge)?
- Einfachtraktion, Mehrfachtraktion?
- Fahrplankontakt?
- Gleichzeitige Beschleunigungsvorgänge?

Die Antworten auf folgende Fragen beschreiben die technische Situation:

- Durch welche Uw bzw. Sp wird der Streckenabschnitt mit Energie versorgt?
- An welcher Stelle befindet sich die Einspeisung in die Oberleitung (z. B. Streckenkilometer)?

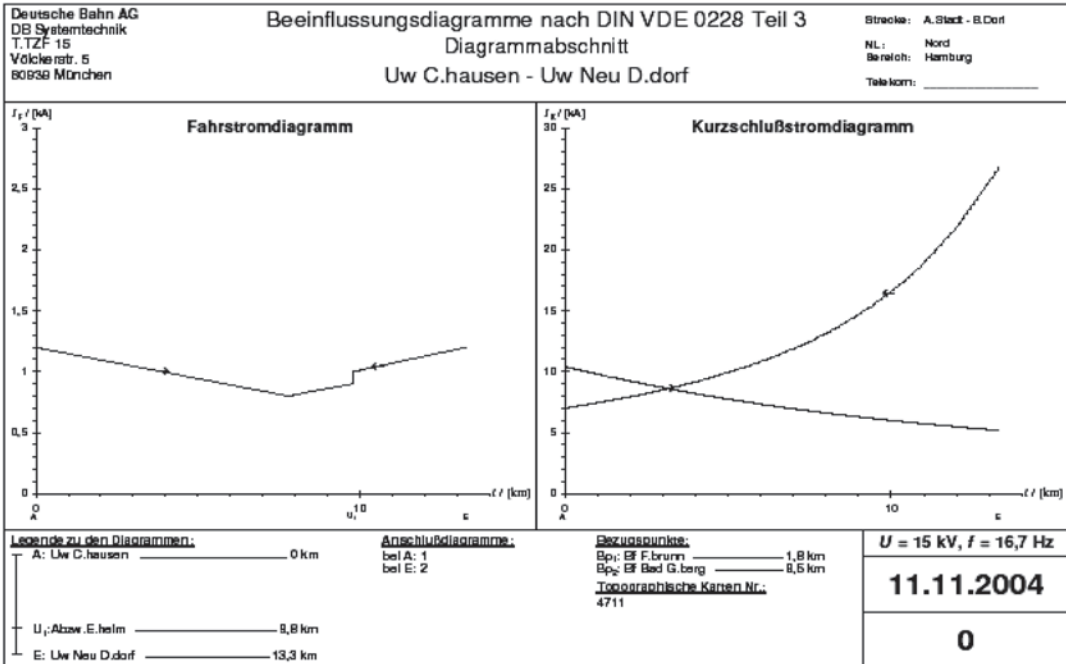


Abb. 18.3 Beispiel für ein Fahr- und Kurzschluss-Stromdiagramm

- Oberleitungsbauart, z. B. Rillenfahrdraht (Re 100, Re 160, Re 200) oder eventuell Stromschiene?
- Kabel- bzw. Speiseleitungslänge vom Uw/Sp zur Einspeisung (Typ/Querschnitt)?
- Existieren weitere Speiseleitungen, Verstärkungsleitungen, Umgehungsleitungen, Rückleitungen (Info zu deren Verlauf, Länge, Typ, Querschnitt)?

Zur Erleichterung der Diagrammerstellung dienen verschiedene weitere Unterlagen:

- Strecken- und Betriebsstellenkarten, wenn schon existent,
- Eintragungen des zukünftigen Streckenverlaufes in einer topografischen Karte,
- Streckenspeisepläne/Listen,
- Oberleitungspläne (EbsU), Lagepläne, Baupläne,
- Planungsnetzplan.

Ein aus diesen Daten zu generierendes Fahr- und Kurzschluss-Stromdiagramm ist in Abb. 18.3 dargestellt.

Wie bleiben diese Fahr- und Kurzschluss-Stromdiagramme aktuell? Um nun diese Fahr- und Kurzschluss-Stromdiagramme auf einem aktuellen Stand halten zu können, sind diverse Informationen über die Strombelastung eines Streckenabschnittes erforderlich. Zu diesem Zweck erfasst DB Energie in einem definierten Zeitraum für alle elektrifizierte Strecken die von einem Uw oder einem Sp auf einen Streckenabschnitt eingespeisten Ströme durch Oberleitungsbeeinflussungsmessungen (OLBM) und übersendet diese zur weiteren Verwendung an DB Systemtechnik.

Hier wird jedes Jahr für alle bestehenden Diagramme ein Vergleich zwischen den in den Diagrammen festgelegten Fahrströmen und den Ergebnissen der OLBM durchgeführt. Weichen die Ströme aus den OLBM um mehr als 10% vom Fahrstrom des Diagramms ab, wird eine Anpassung des entsprechenden Fahr- und Kurzschluss-Stromdiagrammes vorgenommen.

Wer benötigt diese Informationen? Neue oder aktualisierte Fahr- und Kurzschluss-Stromdiagramme werden grundsätzlich an das Eisenbahn

Bundesamt (EBA), die Deutsche Telekom, die DB Telematik, an DB Netz, an DB Projektbau und an DB Energie verteilt. Dort werden sie als Bezugsdaten für verschiedene Aufgaben und Anfragen vorgehalten und als Grundlage genutzt für Berechnungen der Beeinflussung durch Ströme in der 15-kV-Oberleitungsanlage auf

- die LST-Anlagen von DB Netz und die Tk-Anlagen von DB Telematik gemäß Richtlinie 819.080x,
- Anlagen der Deutschen Telekom,
- Anlagen von Rohrleitungsbetreibern,
- Gebäude und Anlagen im Bereich der Bahnstrecken.

Die DB AG als beeinflussende Partei bzw. die beeinflussten DB-Internen und Dritten sind verpflichtet, bestimmte *Beeinflussungsgrenzwerte mit den folgenden Schutzziele* einzuhalten:

- Magnetfeldgrenzwerte gemäß 26.BImSchV mit dem Ziel „Personenschutz“,
- Grenzwerte der induktiven Beeinflussung von DB-eigenen LST- und Tk-Anlagen mit dem Schutzziel Personen- und Anlagenschutz gemäß Ril 819.0802 und 819.0804,
- Grenzwerte der induktiven Beeinflussung von Telekomleitungen Dritter und von Rohrleitungen mit dem Schutzziel Personen- und Anlagenschutz gemäß VDE 0228 und der Empfehlung Nr. 3 der Arbeitsgemeinschaft für Korrosionsfragen „Maßnahmen beim Bau und Betrieb von Rohrleitungen im Einflussbereich von Hochspannungs-Drehstromanlagen und Wechselstrom-Bahnanlagen“.

Zusammenfassende Information für Planer und -Instandhalter von LST- und Oberleitungsanlagen Notwendiges Ziel ist es, die Fahr- und Kurzschluss-Stromdiagramme aktuell zu halten und bei Umbaumaßnahmen an der Bahnstromversorgung vorausschauende, vorläufige Diagramme für die LST-Planer zur Verfügung zu stellen.

Es ist deshalb sehr wichtig, dass alle Planer bei relevanten Umbauten, d. h. wenn zu erwarten ist, dass die Strombelastung an den Strecken erheblich zunehmen wird, den Diagrammersteller rechtzeitig und vor den Baumaßnahmen informieren und einbinden. Nur dann ist es möglich, vorläufige Diagramme zu erstellen, die den zu

erwartenden Belastungen besser gerecht werden und zu einer angepassten Beeinflussungsberechnung führen.

Ohne ausreichende Informationen würden nach Inbetriebnahme einer geänderten Anlage die Diagramme erst nach Vorlage der OLBM jährlich überprüft und ggf. anschließend aktualisiert werden. Als Ansprechpartner für die Diagrammerstellung steht bei der DB AG, Technik und Beschaffung, DB Systemtechnik, Abteilung TZF 15 „Elektromagnetische Verträglichkeit“ in der Völkerstraße 5 in 80939 München zur Verfügung.

18.4 Beeinflussung von Gleisfreimeldeanlagen durch Eisenbahnfahrzeuge

Moderne Stellwerke zeichnen sich durch die selbsttätige Freimeldung von Weichen und Gleisen aus. Hierbei kommen verschiedene Bauarten von Gleisfreimeldeanlagen zur Anwendung: Gleisstromkreise, Tonfrequenz-Gleisstromkreise und Achszähler.

Gleisfreimeldeanlagen können durch Eisenbahnfahrzeuge auf verschiedene Art beeinflusst werden. Es werden die galvanische, kapazitive, induktive, elektromagnetische Beeinflussung und die Beeinflussung durch transiente Vorgänge unterschieden. Mit dem Einsatz von Stromrichtern auf Eisenbahnfahrzeugen treten neben der Grundfrequenz 16,7 Hz auch höherfrequente Anteile (Oberschwingungen) auf, die im Traktionsrückstrom enthalten sind, aber auch in Form von magnetischen Feldern von Fahrzeugen in den Gleisbereich abgestrahlt werden können. Sind Oberschwingungsanteile in ausreichender Größe im Arbeitsfrequenzbereich von Gleisfreimeldeanlagen enthalten, können unzulässige Beeinflussungen auftreten.

Gleisstromkreise/Tonfrequenz-Gleisstromkreise – Wirkprinzipien Der Wirkungsbereich eines Gleisstromkreises (Gleisfreimeldeabschnitt) wird über Isolierstöße begrenzt. Dabei können sowohl eine Schiene (einschienige Isolierung) als auch beide Schienen (zweischienige Isolierung) elekt-

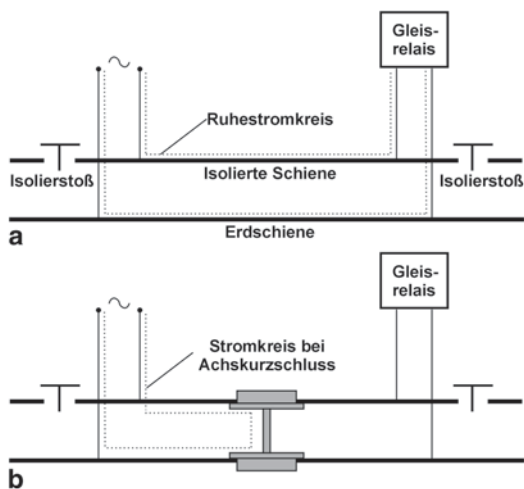


Abb. 18.4 Einschienig isolierter Gleisstromkreis. **a** im nicht belegten und **b** im belegten Zustand

risch gegen die Schienen eines angrenzenden Abschnittes und gegen Erde isoliert sein. Da im Falle der zweischienigen Isolierung die Rückführungsmöglichkeit des Stromes nicht gegeben ist, wird der Strom mittels Gleisdrosseln über die Isolierstöße geführt. Abbildung 18.4 zeigt den einschienig isolierten Gleisstromkreis.

Das Wirkprinzip des Gleisstromkreises ergibt sich dadurch, dass an einer Seite des Gleisstromkreises eine Spannung fester Frequenz (z. B. 100 Hz) an beiden Schienen angelegt wird (vgl. Abb. 18.4a). Diese Spannung steuert am Ende des Gleisstromkreises ein Gleisrelais an, welches im nicht belegten Zustand (kein Zug befindet sich im Abschnitt) angezogen ist. Fährt ein Eisenbahnfahrzeug in einen überwachten Gleisabschnitt ein, so wird die eingespeiste Spannung über dessen Achsen kurzgeschlossen und das Gleisrelais fällt ab (vgl. Abb. 18.4b). Die Gleisfreimeldeanlage registriert in diesem Fall eine Besetzung.

Der Gleisstromkreis arbeitet somit nach dem Ruhestromprinzip. Im Fehlerfall, z. B. bei einem Schienenbruch, wird der betroffene Gleisabschnitt automatisch als besetzt gemeldet.

Tonfrequenz-Gleisstromkreise (Arbeitsfrequenzen: ca. 4 kHz bis 17 kHz) verfügen im Gegensatz zu niederfrequenten Gleisstromkreisen (Arbeitsfrequenzen: 42 Hz, 50 Hz und

100 Hz) über keine Isolierstöße. Die Trennung der verschiedenen Abschnitte wird durch galvanische Verbindungen der Schienen (z. B. Kurzschlussverbinder, S-Verbinder) realisiert. Ein Sender am Anfang des Gleisabschnittes speist ein Signal fester Frequenz in die Schienen ein, welches von einem Empfänger am Ende des Abschnittes registriert wird. Der Empfänger ist als Schwingkreis konzipiert, dessen auf die Schienenimpedanz abgestimmte Resonanzfrequenz im nicht belegten Zustand gleich der Senderfrequenz ist. Die Abstimmung der Resonanzfrequenz auf die Schienenimpedanz des Abschnittes bewirkt, dass im Falle eines einfahrenden Eisenbahnfahrzeuges eine Reduktion der Schienenimpedanz erfolgt und dies in eine Veränderung der Resonanzfrequenz resultiert. Die Abnahme der Amplitude des Freimeldestromes und der Abfall des Überwachungsrelais (Gleis-Besetzung) sind die Folge.

Beeinflussung durch Eisenbahnfahrzeuge

Gleisstromkreise und Tonfrequenz-Gleisstromkreise können von Eisenbahnfahrzeugen galvanisch beeinflusst werden. Es wird in diesem Zusammenhang zwischen der Fernbeeinflussung und der Nahbeeinflussung unterschieden. Bei einer Fernbeeinflussung befindet sich der beeinflusste Gleisstromkreis zwischen dem beeinflussenden Schienenfahrzeug (Verbraucher) und der speisenden Einheit (z. B. Unterwerk). Der Gleisstromkreis wird vom Schienenrückstrom beeinflusst (s. Richtlinie 810.0250).

Bei einer Nahbeeinflussung befindet sich der beeinflusste Gleisstromkreis unter dem beeinflussenden Zug oder im Nachbargleis. Der Gleisstromkreis wird durch Rückströme bei zentraler Energieversorgung beeinflusst. Im Falle einer Diesellok mit Reisezugwagen bedeutet dies beispielsweise, dass bei zentraler Speisung der Verbraucher der Reisezugwagen (z. B. Heizung, Klimatechnik, Batterieladung) über die Zugsammelschiene die Rückströme über die Schienen des befahrenen Gleises und bei guter Vermaschung auch über Nachbargleise zurück zur Diesellok fließen und dadurch Gleisstromkreise beeinflusst werden können.

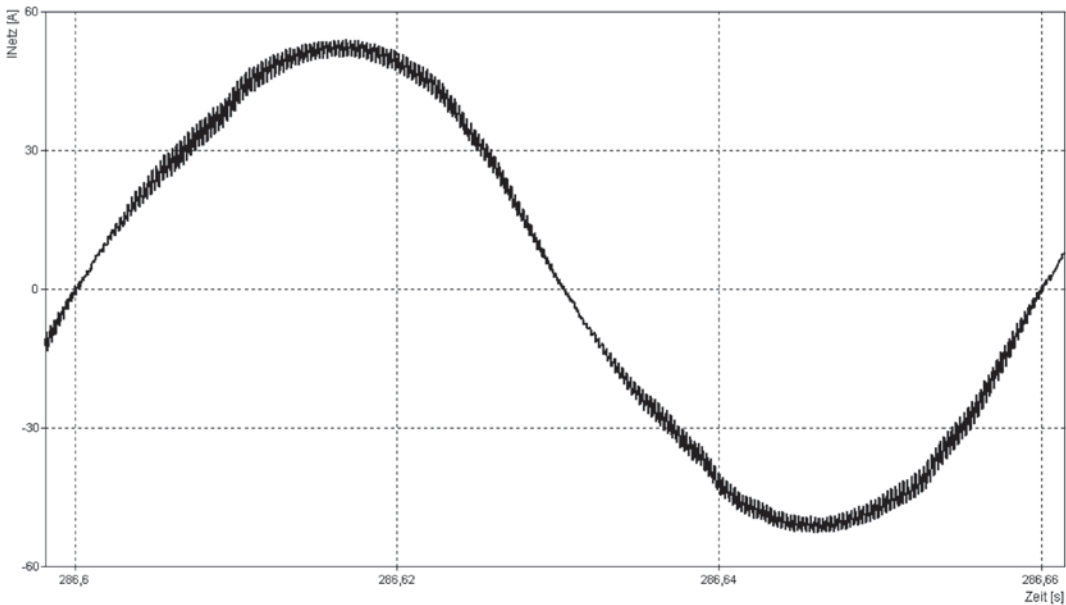


Abb. 18.5 Oberleitungsstrom I_{Netz} eines Nahverkehrstriebzuges

Beeinflussungen sind grundsätzlich deshalb möglich, weil Eisenbahnfahrzeuge aufgrund des Einsatzes von Stromrichtern zur Speisung der Traktionseinheit und aller elektrischen Verbraucher keinen idealen sinusförmigen Strom dem Netz entnehmen. Der nicht ideal sinusförmige Oberleitungsstrom eines Eisenbahnfahrzeuges enthält folglich neben der Grundfrequenz 16,7 Hz auch höherfrequente Anteile, die maßgeblich von den auf dem Zug eingesetzten Stromrichtertechniken mitbestimmt werden.

Abbildung 18.5 zeigt exemplarisch den Oberleitungsstrom I_{Netz} eines Zuges.

Abbildung 18.6 enthält die zugehörige Fourier-Darstellung mittels der sog. „Schnellen Fourier-Transformation (engl. Fast Fourier Transform, FFT)“.

Deutlich erkennbar sind die Taktfrequenzen der eingesetzten leistungselektronischen Bauteile bei 4 kHz und geradzahlig Vielfachen von 4 kHz.

Würde der Schienenrückstrom neben der Grundschwingung 16,7 Hz auch Oberschwingungsanteile enthalten, die im Bereich der Arbeitsfrequenz von Gleisstromkreisen oder Tonfrequenz-Gleisstromkreisen liegen und sind

einige andere Parameter wie die Mindestbeeinflussungsdauer (niederfrequente Gleisstromkreise: 0,5 s, Tonfrequenz-Gleisstromkreise: 40 ms), ausreichende Amplitude, Phase etc. gegeben, könnte eine unzulässige Beeinflussung auftreten. Dabei wären sowohl die Belegmeldung eines freien Abschnittes als auch die Freimeldung eines belegten Abschnittes (Betriebsgefährdung!) möglich. Daher sind diese Beeinflussungen durch Störströme zu untersuchen und auszuschließen.

Es sei darauf hingewiesen, dass sich das Spektrum des Traktionsstromes von Eisenbahnfahrzeugen in Abhängigkeit von den Betriebszuständen (Geschwindigkeits, Beschleunigung, zugeschaltete Hilfsbetriebe etc.) stark verändern kann. Damit abschließende Aussagen hinsichtlich einer Kompatibilität mit Gleisstromkreisen getätigt werden können, müssen alle üblichen Betriebszustände eines Eisenbahnfahrzeuges vor dem Netzzugang messtechnisch untersucht werden (vergleiche Richtlinie 807.0205).

Auch Änderungen an Hard- und Software von Eisenbahnfahrzeugen können das Oberschwingungsverhalten nachteilig beeinflussen. In diesem Falle sind Änderungen an bereits zugelasse-

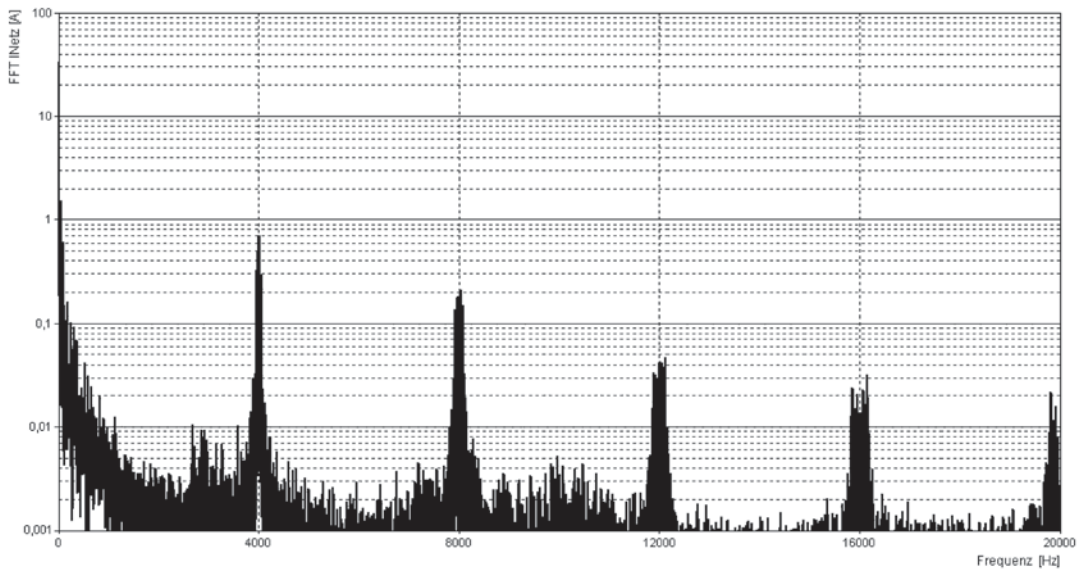


Abb. 18.6 FFT-Darstellung des Netzstromes aus Bild 2 (12 Perioden)

nen und abgenommenen Fahrzeugen gegenüber dem Eisenbahn-Bundesamt und der DB Netz AG anzeigepflichtig (s. Richtlinie 810.0250).

Regelwerke Der Netzzugang von Fahrzeugen ist national in der Richtlinie 810.0250 geregelt. Die Nachweisführung über eine Kompatibilität mit Gleisstromkreisen (Fernbeeinflussung) beinhaltet die Modulreihe 807.020x der Deutschen Bahn AG: Neben einer Übersicht (Richtlinie 807.0200) besteht diese aus den Modulen „Störstromgrenzwerte für Triebfahrzeuge“ (Richtlinie 807.0201) und „Messverfahren für Störströme von Triebfahrzeugen“ (Richtlinie 807.0205).

Regelwerke für die Nahbeeinflussung von Gleisstromkreisen befinden sich augenblicklich in Arbeit und werden nach deren Fertigstellung in die Modulreihe 807.020x übernommen.

Auf europäischer Ebene werden derzeit die Annahmen, die zur Definition von Störstromgrenzwerten führten, die Grenzwerte selbst und das Nachweisverfahren für Fahrzeuge durch die CENELEC SC9XA WGA4-2 harmonisiert. Anschließend sollen die Grenzwerte und Nachweisverfahren in die Technischen Spezifikationen für Interoperabilität (TSI) der Europäischen Union einfließen.

Achszähler-Wirkprinzipien Achszähler stellen Impulsgeber dar, die am Anfang und am Ende eines zu überwachenden Gleisabschnittes installiert sind und die Anzahl der Achsen eines Zuges an ein Achszählwerk weitermelden. Beim Einfahren eines Zuges in einen durch Achszähler abgesicherten Gleisabschnitt werden zunächst alle Achsen eingezählt und bei der Ausfahrt wieder ausgezählt. Stimmt die Anzahl der ein- und ausgezählten Achsen überein, wird der Gleisabschnitt frei gemeldet, ansonsten erfolgt eine Besetzmeldung.

Es lassen sich hauptsächlich zwei verschiedene Ausführungen bei Achszählern unterscheiden: die Sender-/Empfänger-Ausführung und die Ausführung als Näherungsschalter. Bei der Ausführung des Achszählers als Sender-/Empfänger-Einheit werden an der einen Schienenseite ein Sender und an der anderen ein Empfänger (Empfangsspule) installiert. Der Sender strahlt ein Feld konstanter Frequenz über den Schienenkopf hinaus aus, welches im Empfänger eine Induktionsspannung erzeugt. Ein in den Wirkungsbereich des Achszählers einfahrendes Rad verändert die Kopplung zwischen Sender und Empfänger und erzeugt je nach Achszähltyp eine Anhebung (Erhöhung der Kopplung) oder Absenkung (Ernied-

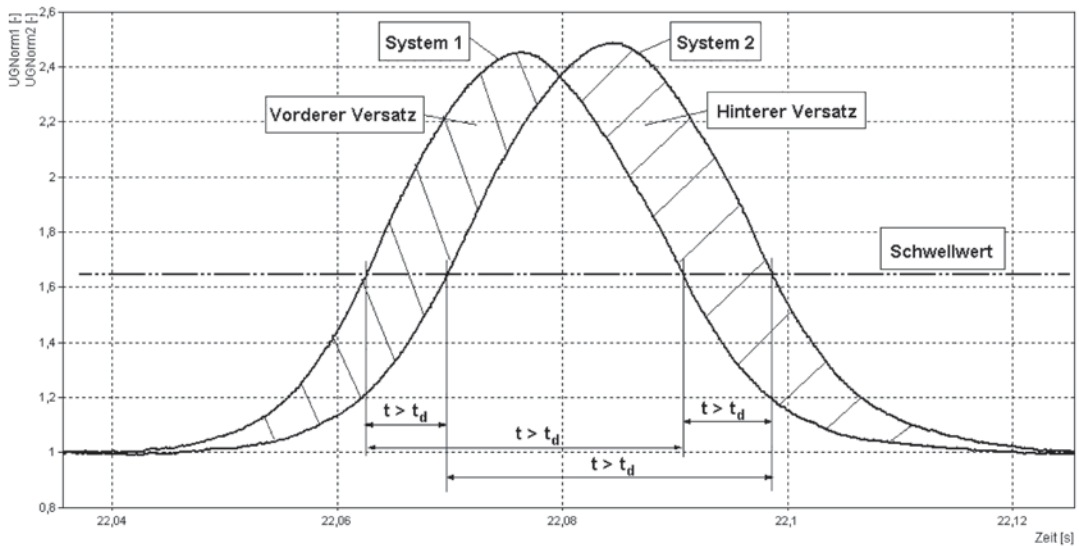


Abb. 18.7 Einfluss eines vorbeifahrenden Rades (Kopplungserhöhung)

rigung der Kopplung) der Induktionsspannung vom Ruhewert. Damit die Fahrtrichtung von Zügen erkannt werden kann, besitzen Achszähler grundsätzlich zwei unabhängige Systeme, die im Abstand von wenigen zehn Zentimetern nebeneinander angeordnet sind.

Abbildung 18.7 zeigt ein Beispiel für den Einfluss eines vorbeifahrenden Rades auf einen Achszähler bei vorliegender Kopplungserhöhung. Dargestellt sind die gleichgerichteten und auf ihren Ruhespannungswert normierten Empfängerspannungen UG_{Norm1} und UG_{Norm2} der Systeme 1 und 2. Der Schwellwert wurde in diesem Beispiel frei gewählt.

Bei der Ausführung eines Achszählers als Näherungsschalter reagiert ein Spulensystem auf das ferromagnetische Material des Spurkranzes und erzeugt ähnliche Ausgangssignale wie sie in Abb. 18.7 dargestellt sind. Die bei der Deutschen Bahn AG eingesetzten Achszähler arbeiten im Frequenzbereich bis etwa 1 MHz.

Räder, die den Vorgaben der Eisenbahn Bau- und Betriebsordnung (EBO) entsprechen müssen, werden grundsätzlich von Achszählwerken erst dann als zählfähig akzeptiert, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind (vgl. Abb. 18.7):

a. ein vordefinierter Schwellwert wird unter- oder überschritten,

- die Unter- oder Überschreitung des Schwellwertes erfolgt für eine vordefinierte Mindestdauer t_d ,
- in beiden Kanälen werden die Bedingungen a. und b. eingehalten,
- der vordere und hintere Radversatz sind vorhanden und für beide gilt $t > t_d$,
- alle Räder des Zuges betätigen die Systeme des Achszählers zeitlich stets in der gleichen Reihenfolge (z. B. System 1 wird vor System 2 betätigt).

Bei Nichteinhaltung einer der o.g. Bedingungen wird ein Rad verworfen und dies mündet in eine Fehlzählung (Besetzmeldung).

Abschließend sei noch erwähnt, dass Räder abhängig vom Achszähltyp nur bis zu einer bestimmten Befahrungsgeschwindigkeit detektiert werden können. Deshalb erhalten Achszähler eine geschwindigkeitsabhängige Zulassung.

Beeinflussung durch Eisenbahnfahrzeuge Achszähler können durch Felder beeinflusst werden, sofern diese Frequenzanteile im Arbeitsfrequenzbereich von Achszählern besitzen (induktive, kapazitive und elektromagnetische Beeinflussung). Äußere Felder induzieren in den Spulen der Achszähler Spannungen, die sich je nach Phasenlage und Amplitude den Nutzsignalen überlagern.

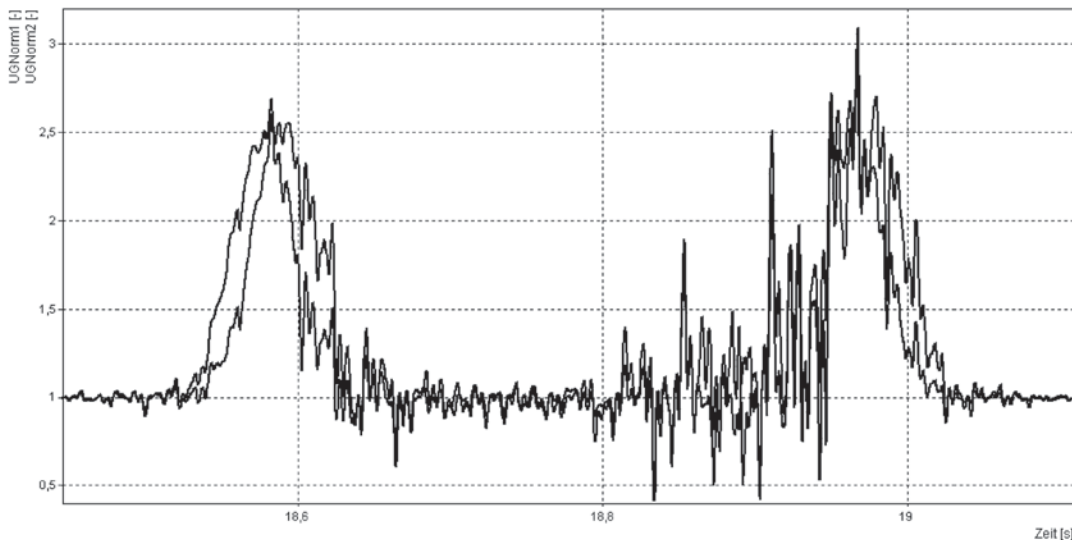


Abb. 18.8 Beeinflussung eines Achszählers durch ein Motorfeld (Darstellung eines angetriebenen Drehgestells)

Da in den Empfängersystemen von Achszählern LC-Glieder zur Anwendung kommen, stellen auch impulsförmige Felder mit einer Pulsfolgerate im Kilohertzbereich eine Gefahr der Beeinflussung dar (Beeinflussung durch transiente Vorgänge).

Quellen der Beeinflussung können grundsätzlich alle stromführenden Leiter sein, die ein Magnetfeld entsprechender Frequenz in den Gleisbereich emittieren.

In der Vergangenheit wurden hauptsächlich Felder von Motorkabeln, aber auch Motorfelder als Quellen der Beeinflussung erkannt, die aufgrund von Rückwirkungen der eingesetzten Stromrichter höherfrequente Anteile aufwiesen.

Abbildung 18.8 zeigt exemplarisch die Beeinflussung eines Achszählers durch das Motorfeld eines Zuges.

Da die Anforderungen für ein zählfähiges Rad sehr hoch sind (vgl. Abschnitt „Wirkprinzipien“), ist die Wahrscheinlichkeit für eine Radgenerierung durch eine Stör-Beeinflussung deutlich geringer als für eine Radauslöschung. Die Achszähler zeigen vor allem gegenüber Störungen, die im Bereich des vorderen oder hinteren Radversatzes auftreten (vgl. Abb. 18.7), eine erhöhte Störfälligkeit. Grundsätzlich wirken sich Stör-Beeinflussungen aufgrund einer Besetztmeldung des

betroffenen Gleisabschnittes nur betriebshemmend, nicht jedoch betriebsgefährdend aus.

Durch zu häufige, unzulässige Störeinkopplungen bei Achszählern und damit verbundenen ständigen Betriebsbehinderungen durch einen bestimmten Fahrzeugtyp oder Reisezug kann ein Gewöhnungseffekt beim Bedienpersonal von Stellwerksanlagen eintreten, d. h. es ist nicht mehr auszuschließen, dass dadurch die bei der Deutschen Bahn AG bestehenden Vorschriften (z. B. Fahrdienstvorschrift/Richtlinie 408) aus Gewohnheit nicht mehr im vollen Umfang beachtet werden. Nach wissenschaftlichen Studien liegen die Fehlhandlungen eines Menschen zwischen 10^{-3} und 10^{-4} , in Stresssituation ist ein noch wesentlich geringerer Faktor anzunehmen. Daraus leitet sich die Forderung ab, dass bei sicherungstechnischen Einrichtungen ein hohes Maß an Verfügbarkeit gefordert wird. Daraus folgt, dass für dieses Störphänomen Grenzwerte definiert und in die Netzzugangsbedingungen aufgenommen werden müssen.

Achszähler können nicht nur durch in den Gleisbereich abgestrahlte Felder, sondern auch durch tief hängende ferromagnetische Materialien beeinflusst werden. Abbildung 18.9 zeigt den Einfluss einer nur wenige Millimeter über

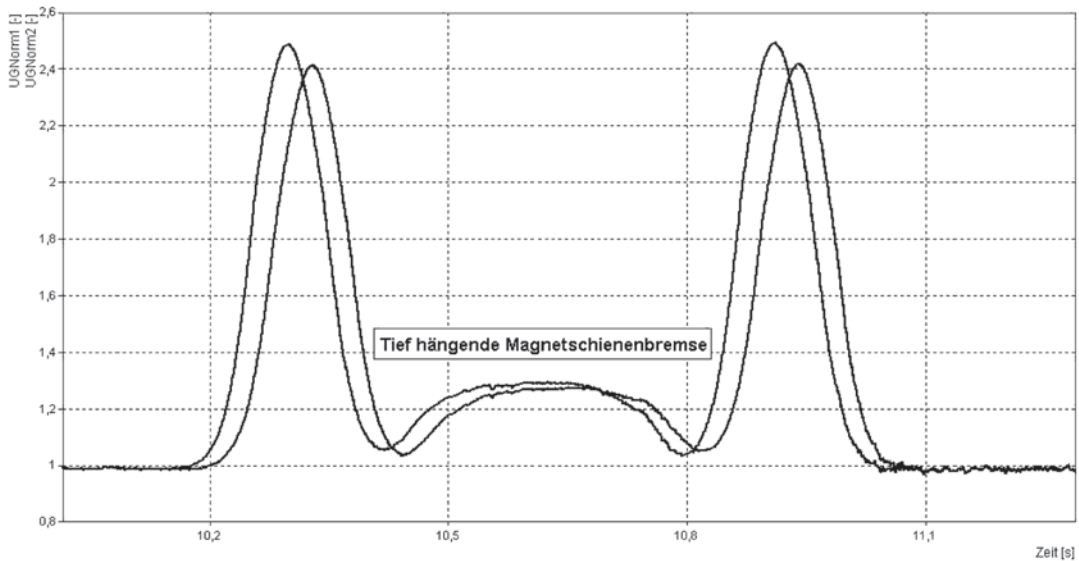


Abb. 18.9 Einfluss einer tief hängenden Magnetschienebremse

der Schienenoberkante in Ruhelage hängenden Magnetschienebremse (MG).

Eine derart tief hängende MG birgt, sofern diese den Schwellwert des Achszählers erreicht, die Gefahr in sich, dass bei höheren Geschwindigkeiten die Luftspalte zwischen der MG und den Rädern eines Drehgestells eventuell nicht mehr erkannt werden können ($t_{\text{Luftspalt}} < t_d$). Das gesamte Drehgestell verschmilzt für den Achszähler zu einer einheitlichen ferromagnetischen Masse und die Detektion nur einer einzigen Radachse ist die Folge. Betriebshemmende Besetztmeldungen erfolgen nur dann, wenn die Achszähler eines Gleisabschnittes mit stark unterschiedlichen Geschwindigkeiten befahren und bei der Ein- und Auszählung voneinander abweichende Achszahlen registriert werden.

Regelwerke Grenzwerte und zugehörige Messverfahren zur Untersuchung einer Kompatibilität zwischen Achszählern/Sensoren und Eisenbahnfahrzeugen werden von dem nationalen Arbeitskreis „Messung von elektrischen und magnetischen Feldern im Gleisbereich“ erarbeitet. Dieser setzt sich aus Vertretern der Deutschen Bahn AG und Herstellern von Eisenbahnfahrzeugen und Achszählern/Sensoren zusammen. Im Rahmen des

Arbeitskreises wurden bereits im März 2003 vorläufige Grenzwerte und ein zugehöriges Messverfahren veröffentlicht. Die endgültigen Ergebnisse des Arbeitskreises werden die Grundlage sein für Netzzugangsrichtlinien in der Reihe 807.02xx.

Auf europäischer Ebene werden die Aktivitäten zur Festlegung von Grenzwerten und Messverfahren ebenfalls durch die CENELEC SC9XA WGA4-2 koordiniert.

Die Ergebnisse sollen in die Technischen Spezifikationen für Interoperabilität (TSI) der Europäischen Union einfließen.

Weiterführende Literatur

Rechtsvorgaben und Regelwerk

1. EN 50121-1, Teil 1: Allgemeines
2. EN 50121-2, Teil 2: Störaussendungen des gesamten Bahnsystems in die Außenwelt
3. EN 50121-3-1, Teil 3-1: Bahnfahrzeuge – Zug und gesamtes Fahrzeug
4. EN 50121-3-2, Teil 3-2: Bahnfahrzeuge – Geräte
5. EN 50121-4, Teil 4: Störaussendungen und Störfestigkeit von Signal- und Telekommunikationseinrichtungen
6. EN 50121-5, Teil 5: Störaussendungen und Störfestigkeit von ortsfesten Anlagen und Einrichtungen der Bahnenergieversorgung
7. VDE 0228 „Maßnahmen bei Beeinflussung von Fernmeldeanlagen durch Starkstromanlagen“

8. Technische Empfehlungen der Schiedsstelle für Beeinflussungsfragen
9. Richtlinie 819.0801 „Beeinflussung und Schutzmaßnahmen; Übersicht“
10. Richtlinie 819.0802 „Beeinflussung und Schutzmaßnahmen; Starkstrombeeinflussung, Induktive Beeinflussung; Übersicht“
11. Richtlinie 819.0803 „Beeinflussung und Schutzmaßnahmen; Starkstrombeeinflussung durch das Bahnsystem, Induktive Beeinflussung, Berechnung“
12. Richtlinie 819.0804 „Beeinflussung und Schutzmaßnahmen; Grenzwerte der Beeinflussungsspannung“
13. Richtlinie 819.0805 „Beeinflussung und Schutzmaßnahmen; Schutzmaßnahmen“
14. Empfehlung Nr. 3 der Arbeitsgemeinschaft für Korrosionsfragen „Maßnahmen beim Bau und Betrieb von Rohrleitungen im Einflussbereich von Hochspannungs-Drehstromanlagen und Wechselstrom-Bahnanlagen“
15. Richtlinie 810.0250 Technischer Netzzugang für Fahrzeuge; Kompatibilität mit den Anforderungen des Netzes – Elektromagnetische Verträglichkeit –
16. Richtlinie 807.0200 Ausgewählte Maßnahmen und Anforderungen an das System Fahrweg/Fahrzeug; Elektromagnetische Verträglichkeit; Übersicht
17. Richtlinie 807.0201 Ausgewählte Maßnahmen und Anforderungen an das System Fahrweg/Fahrzeug; Elektromagnetische Verträglichkeit; Störstromgrenzwerte für Triebfahrzeuge
18. Richtlinie 807.0205 Ausgewählte Maßnahmen und Anforderungen an das System Fahrweg/Fahrzeug; Elektromagnetische Verträglichkeit; Messverfahren für Störströme von Triebfahrzeugen
19. Initial Results of the German Working Group „Measurement of Trackside Electric and Magnetic Fields“, Interference Limits and Tests on Wheel Sensors and Axle Counters, März 2003, S. Jank

Bernhard Koch

19.1 Umweltmanagement

Matthias Rieke und Bernhard Koch

19.1.1 Ziel und Nutzen von Managementsystemen unter besonderer Berücksichtigung des Umweltmanagements

Beim Planen, Bauen, Betreiben und Instandhalten der Eisenbahninfrastruktur sind Umweltbeeinträchtigungen zu vermeiden und unvermeidbare Umweltbeeinträchtigungen zu minimieren oder auszugleichen bzw. zu ersetzen. Die materiellen und ethischen Anforderungen sind in einer Vielzahl von Gesetzen, Verordnungen, Richtlinien, Leitfäden, sowie sonstigen Normen und Regelwerken verankert. Verstöße können zu straf- und haftungsrechtlichen Konsequenzen führen, darüber hinaus kann die Reputation des Unternehmens erheblichen Schaden nehmen. Die Beachtung dieser Anforderungen auf allen Ebenen der Unternehmenshierarchie sicher zu stellen, ist für die oberste Leitung des Unternehmens von gleicher Relevanz, wie etwa die Gewährleistung der Gebrauchssicherheit von Produktionsmitteln und Produkten.

B. Koch (✉)
DB Netz AG, 60486 Frankfurt a. M., Deutschland
E-Mail: Bernhard.Koch@deutschebahn.com

Hierzu ist es notwendig, dass die permanente Weiterentwicklung des Rechts- und Normensystems auf europäischer, nationaler und Länderebene verfolgt, bewertet, implementiert und umgesetzt wird. Dazu muss die Flexibilität struktureller Anpassungsmaßnahmen beachtet und der arbeitsteiligen Organisation und personeller Fluktuation Rechnung getragen werden. Mit tradierten Instrumenten, hierzu zählen Weisungen, Vorschriften oder Regelwerk, ist nicht zu gewährleisten, dass in den Arbeitsprozessen die Gesamtheit der rechtlichen Vorgaben eingehalten werden. Die Einführung und kontinuierliche Weiterentwicklung einer durchgängigen Prozesslandschaft für die strategischen und operativen Funktionen des Unternehmens erhöht die Sicherheit der Unternehmensorganisation und die Qualität der Produkte. Ein Managementsystem, wie das Umweltmanagementsystem (UMS) gemäß der internationalen Norm DIN ISO 14001, welches auf der Methode Planen-Ausführen-Kontrollieren-Optimieren (**Plan-Do-Check-Act**=PDCA-Cyclus) beruht, bietet das benötigte Werkzeug, um die Einhaltung der externen Anforderungen und internen Vorgaben zu gewährleisten. Wichtiges Element des Systems ist eine kontinuierliche Beobachtung des Umfeldes, um drohende Negativeffekte auf Kosten oder Erlöse aus politischen, rechtlichen oder gesellschaftlichen Entwicklungen frühzeitig zu erkennen und die zum Erhalt der Rechtsicherheit notwendigen Maßnahmen rechtzeitig umzusetzen.

Ein weiteres freiwilliges Instrument für Unternehmen und Organisationen, welche ihre Um-

weltleistungen zielgerichtet verbessern möchten, bietet das „Eco Management and Audit Scheme (EMAS). EMAS wurde auf Grundlage der sog. EG-Öko-Audit-Verordnung bereits 1993 in der Europäischen Union eingeführt und liegt inzwischen in der dritten novellierten Version vor (EMAS III, EG-Verordnung Nr. 1221/2009) welche am 11. Januar 2010 in Kraft gesetzt wurde. Der Aufbau eines UMS und die Abläufe basieren auch bei EMAS auf der Umsetzung der DIN ISO 14001. Wesentliche Aspekte, die für die Einführung und Anwendung eines Umweltmanagementsystems sprechen sind:

- Bewertung und Sicherstellung der Ressourcenverfügbarkeit sowie Ermittlung von Einsparpotenzialen,
- systematische Erfassung von Einsparpotenzialen führt z. B. zur Verbesserung der Energieeffizienz und verringert Treibhausgasemissionen und Kosten gleichermaßen,
- Steigerung der Mitarbeiterakzeptanz und Motivation,
- Prüfung des rechtskonformen Verhaltens und daraus folgend die Verringerung des Haftungsrisikos,
- Verbesserung der Organisation und Dokumentation,
- Erhöhung der Prozesssicherheit, Risikominimierung bei umweltrelevanten Prozessen und damit verbunden die Verbesserung der Rechts- und Nachweissicherheit,
- Erhalt und Entwicklung von Vertrauen und Akzeptanz bei Kunden, Behörden, Versicherungen und der Öffentlichkeit,
- kontinuierliche Verbesserung des betrieblichen Umweltschutzes durch geregelte Verfahren und Abläufe,
- Wettbewerbsvorteile bei Vergabeverfahren,
- mögliche Vorteile durch Vollzugsvereinfachungen.

Auch auf dem Kapitalmarkt wird honoriert, wenn Unternehmen ein Managementsystem eingeführt haben und es leben. Die DB AG hat ihre Ziele im Rahmen der Nachhaltigkeitsstrategie 2020 aktualisiert und im Bereich der Ökologie folgende Themen in den Fokus gestellt:

- Klimaschutz/Energieeffizienz,
- Lärmschutz,

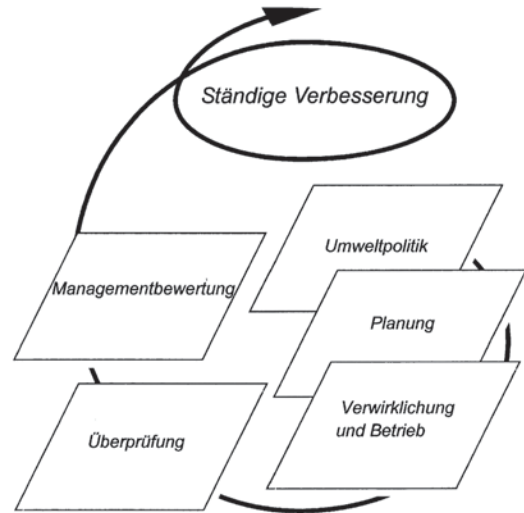


Abb. 19.1 Modell des Umweltmanagementsystems. (Nach DIN EN ISO 14001:2004)

- Ressourcen-/Materialeffizienz,
- Luftreinhaltung,
- Naturschutz/Artenvielfalt.

19.1.2 Normen des Umweltmanagements

Es existieren verschiedene Standards und Normen, die sich mit dem Umweltmanagement an sich und dem Aufbau von Umweltmanagementsystemen beschäftigen. Für die Bundesrepublik Deutschland sind es vor allem die beiden im Abschn. 19.1.1 genannten Standards, auf deren Grundlage die meisten Systeme aufgebaut sind: EMAS III und die DIN EN ISO 14001 „Umweltmanagementsysteme – Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung (ISO 14001:2004+Cor 1:2009)“. Tabelle 19.1 zeigt, welche Merkmale die jeweiligen Standards auszeichnen.

Andere Normen der ISO-14000-Reihe geben darüber hinaus Hinweise für einzelne Elemente des Umweltmanagements. Die ISO 14001 ist jedoch die einzige Norm, welche als Spezifikation, d. h. als zertifizierungsfähige Norm ausgestaltet ist [4]. Eine Übersicht ausgewählter Normen der ISO 14000-Reihe gibt Tab. 19.2.

Tab. 19.1 Wesentliche Unterschiede EMAS III und DIN EN ISO 14001. [3]

| Merkmal | EMAS | ISO 14001 |
|-----------------------------------|---|---|
| Basis | Europäische Verordnung (EG) Nr. 1221/2009 Umsetzung im Umweltauditgesetz | Internationaler Standard DIN EN ISO 14001 Ohne Rechtscharakter |
| Inhalt | Umweltmanagementsystem (UMS) mit interner und externer Überprüfung, Registrierung in öffentlichem Register und Umweltberichterstattung | Umweltmanagementsystem mit interner und externer Überprüfung |
| Ausrichtung und Ziel | Kontinuierliche Verbesserungen der Umweltleistung von Organisationen, bei aktiver Beteiligung der Arbeitnehmer und im Dialog mit der Öffentlichkeit | Kontinuierliche Verbesserung des UMS, um Reduzierungen der Umweltauswirkungen zu erzielen |
| Anforderung | Über ISO 14001 hinaus fordert EMAS: Umweltprüfung Nachweis der Einhaltung geltender Rechtsvorschriften und Genehmigungen Externe Kommunikation mit der Öffentlichkeit, interessierten Kreisen, Kunden usw Umwelterklärung | UMS einführen, dokumentieren, verwirklichen, aufrechterhalten und ständig verbessern: Umweltpolitik verfassen Bestimmung der Umweltaspekte, geltende rechtliche Verpflichtungen ermitteln, Ziele setzen Dokumentation regeln Verfahren und Abläufe planen Notfallvorsorge und Gefahrenabwehr festlegen Überprüfung, Messung, Korrekturen, interne Audits Managementbewertung |
| Betrachtungsebenen | Organisations- und standortbezogen | Organisationsbezogen |
| Veröffentlichung | Umwelterklärung muss veröffentlicht werden | Umweltpolitik muss öffentlich zugänglich sein |
| Prüfer | Validierung durch akkreditierten Umweltgutachter bzw. Umweltgutachterorganisation | Zertifizierung durch akkreditierte Organisation (= Zertifizierungsorganisation) |
| Einbeziehung von Umweltbehörden | zuständige Umweltbehörden werden vor der Registrierung einbezogen | nicht vorgesehen |
| Gültigkeits-erklärung/ Zertifikat | „Gültigkeitserklärung“: der EMAS-Umweltgutachter stellt eine unterzeichnete Erklärung zu den Begutachtungs- und Validierungstätigkeiten aus | Zertifikat: ausgestellt durch eine private Zertifizierungsorganisation, bescheinigt die Erfüllung der ISO 14001 Anforderungen |
| Registrierung/Urkunde | Registrierungsstellen (Industrie- und Handelskammern, Handwerkskammern) tragen in die nationalen und internationalen Register ein und stellen eine Registrierungsurkunde aus | Kein Register |

Tab. 19.2 Übersicht ausgewählter Normen der 14000-Serie

| Norm | Titel |
|----------------------------|---|
| DIN EN ISO 14001 [9] | Umweltmanagementsysteme – Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung (ISO 14001:2004+Cor 1:2009) |
| E DIN ISO 14004:2010 [14] | Umweltmanagementsysteme – Allgemeiner Leitfaden über Grundsätze, Systeme und Hilfsinstrumente |
| DIN ISO 14015:2010 [13] | Umweltmanagement – Umweltbewertung von Standorten und Organisationen (UBSO) |
| DIN EN ISO 14020:2002 [10] | Umweltkennzeichnungen und – deklorationen – Allgemeine Grundsätze |
| DIN EN ISO 14031:2011 [11] | Umweltmanagement – Umweltleistungsbewertung – Leitlinien |
| DIN EN ISO 14040:2009 [12] | Umweltmanagement – Ökobilanz – Prinzipien und allgemeine Anforderungen |

19.1.2.1 Aufbau eines Umweltmanagementsystems auf Grundlage der DIN EN ISO 14001

Abbildung 19.1 zeigt den Regelkreis eines Umweltmanagementsystems, basierend auf der DIN EN ISO 14001:2004. Die Norm orientiert sich am Deming-Kreis: Plan–Do–Check–Act (Planen–Ausführen–Kontrollieren–Optimieren). Der hier dargestellte Regelkreis, welcher aus der ISO 14001:2004+Cor 1:2009 stammt, ist in fünf Phasen gegliedert. Diese sollen im Sinne einer ständigen Verbesserung regelmäßig durchlaufen werden und stellen eine wesentliche Anforderung an das UMS dar [7].

In **Phase 1 „Umweltpolitik“** ist durch das Unternehmen eine Umweltpolitik zu definieren. Hier fordert die Norm, die Verpflichtung des Unternehmens zur Einhaltung der relevanten gesetzlichen Vorschriften. Darüber hinaus muss auch die Verpflichtung zur kontinuierlichen Verbesserung und Verhütung von Umweltbelastungen Bestandteil der Umweltpolitik sein.

In **Phase 2 „Planung“** ist die Einführung von Verfahren zur Ermittlung der bedeutenden Umweltaspekte, sowie der gesetzlichen und weiterer Anforderungen durch das Unternehmen gefordert. Unter dem Begriff Umweltaspekt versteht die Norm einen *„Bestandteil der Tätigkeiten oder Produkte oder Dienstleistungen einer Organisation, der auf die Umwelt einwirken kann“*. Daraus resultiert der Anspruch für alle Funktionen und Ebenen der Organisationsstruktur möglichst messbare Ziele zu definieren. Zur Umsetzung der definierten Ziele sind Programme festzulegen und Aussagen zu Verantwortlichkeiten, Mitteln und dem Zeitrahmen der im Programm aufgenommenen Maßnahmen zu treffen.

Mit der Umsetzung und Durchführung eines Umweltmanagementsystems beschäftigt sich **Phase 3 „Verwirklichung und Betrieb“** unmittelbar nach den vorbereitenden Phasen 1 und 2 [vgl. 7]. Zunächst werden die Themen Ressourcen, Aufgaben, Verantwortlichkeiten und Befugnisse angesprochen. In diesem Kontext zählen zu den Ressourcen die Infrastruktur der Organisation, das Personal sowie technische und finanzielle Mittel, welche durch die oberste Leitung zur Verfügung gestellt werden müssen. Auch die

Bestellung mindestens eines speziellen Beauftragten für Umweltschutz durch die oberste Leitung ist vorgeschrieben.

Im zweiten Teil der Phase 3 wird auf die Aspekte Fähigkeit, Schulung und Bewusstsein eingegangen. Nach den dort beschriebenen Forderungen müssen alle Personen, die als Mitarbeiter des Unternehmens oder in dessen Auftrag Tätigkeiten durchführen, von denen bedeutende Umweltauswirkungen ausgehen, entsprechend qualifiziert sein. Diese Forderung bedeutet eine deutliche Verschärfung gegenüber der ursprünglichen Norm DIN EN ISO 14001:1996.

Es muss ein Verfahren etabliert werden, mit dem sichergestellt werden kann, dass diese Mitarbeiter sich über bedeutende Umweltaspekte im Kontext zu den durchgeführten Aufgaben sowie Folgen einer Nichteinhaltung festgelegter Abläufe bewusst sind. Das Verfahren muss darüber hinaus sicherstellen, dass ihnen die Bedeutsamkeit des Einhaltens der Umweltpolitik und der etablierten zugehörigen Verfahren und Anforderungen des UMS bewusst sind.

Hierzu bedarf es der internen Kommunikation zwischen den unterschiedlichen Ebenen und Funktionsbereichen der Organisation. Darüber hinaus wird besonderer Wert auf die Beantwortung von Äußerungen externer relevanter Kreise, z. B. von Umweltverbänden, Anliegern, gelegt. Eine externe Kommunikation zu den bedeutenden Umweltaspekten ist nicht zwingend vorgeschrieben.

Weitere Anforderungen an ein UMS werden hinsichtlich der Dokumentation und Lenkung von Dokumenten definiert. Dort ist festgelegt, welche Bestandteile die Dokumentation des Umweltmanagementsystems mindestens beinhalten muss. Darüber hinaus ist ein Verfahren zur Lenkung dieser Dokumente einzuführen, das den unter Punkt 4.4.5 der DIN EN ISO 14001:2004+Cor 1:2009 genannten Anforderungen genügen muss.

Des Weiteren wird der Unterpunkt *„Ablauflenkung“* betrachtet. Hiernach muss die Organisation Abläufe ermitteln und planen, die zur Erfüllung der Umweltpolitik, Zielsetzungen und Einzelziele notwendig sind und im Zusammenhang mit den bedeutenden Umweltaspekten des Unternehmens stehen. Es sind dokumentierte Verfahren bspw. in Form von Arbeits- und Ver-

fahrsanweisungen einzuführen. In solche Überlegungen sind auch verwendete Waren und Dienstleistungen einzubeziehen und bestehende Regelungen den Zulieferern und Auftragnehmern bekannt zu geben.

Abschließend wird in Phase 3 der Punkt „Notfallvorsorge und Gefahrenabwehr“ betrachtet. Hiernach muss das Unternehmen Verfahren einführen, durch die mögliche Notfallsituationen und deren Auswirkung auf die Umwelt ermittelt werden können. Die Organisation muss bei Eintritt einer solchen Situation reagieren können, um mögliche Umweltauswirkungen zu minimieren. Die Regelungen zur Notfallvorsorge und Gefahrenabwehr müssen regelmäßig, aber insbesondere nach Eintreten einer Notfallsituation überprüft werden. Sofern möglich sollten die vorher genannten Regelungen im Rahmen von Übungen erprobt werden. Im Rahmen der Phase 3 „Planung“ soll sichergestellt werden, dass durch die etablierte Ablauforganisation die Umsetzung der Umweltpolitik und der Umweltziele erfolgt [4].

In **Phase 4 „Überprüfung“** ist der Aufbau eines Überwachungs- und Kontrollsystems gefordert. Dazu zählt die Einführung eines Verfahrens zur Überwachung und Messung der maßgeblichen Merkmale einer Tätigkeit, die eine bedeutende Auswirkung auf die Umwelt haben können. Dafür erweist sich der Aufbau eines Umweltkennzahlensystems als sinnvoll, mit dem Umweltleistungen eines Unternehmens gemessen, gesteuert und verbessert werden können.

Zur Vorbeugung von Rechtsverstößen wird gefordert, eine Vorgehensweise zur Prüfung der Einhaltung rechtlicher Vorschriften und von Anforderungen zu etablieren, zu denen sich das Unternehmen selbst verpflichtet hat. Zusätzlich muss eine Regelung getroffen sein, wie mit mangelnder Konformität mit den Vorgaben des bestehenden UMS umgegangen wird. Dazu muss beschrieben sein, wie Nichtkonformitäten aufgedeckt, die Ursachen ermittelt, Maßnahmen zur Verringerung möglicher Umweltauswirkungen getroffen und Maßnahmen ergriffen werden, diese in Zukunft zu vermeiden.

Abschließend gilt es, Regelungen hinsichtlich der Durchführung von Audits zu treffen. Es muss mindestens ein Verfahren und ein Auditpro-

gramm etabliert werden, um die systematische Durchführung von Audits abzusichern. Ziel der Audits ist es, die Umsetzung der Festlegungen des UMS und dessen Normkonformität abzusichern.

In der abschließenden **Phase 5 „Managementbewertung“** sind Anforderungen an die Bewertung des Managementsystems durch die oberste Leitung definiert. Im Rahmen des auch als Management-Review bezeichneten Prozesses sind bestimmte Inputs vorausgesetzt. Es sind dies Ergebnisse Interner Audits, Informationen über Umweltleistungen und erreichte Erfüllungsgrade der Zielsetzungen und Einzelziele. Als Resultat des Management-Reviews muss der Handlungsbedarf hinsichtlich der Anpassung der bestehenden Elemente des Umweltmanagementsystems, z. B. der Umweltpolitik, der Zielsetzungen und Einzelziele, abgeleitet werden. Hierdurch wird das o.g. Gesamtziel der ständigen Verbesserung umgesetzt.

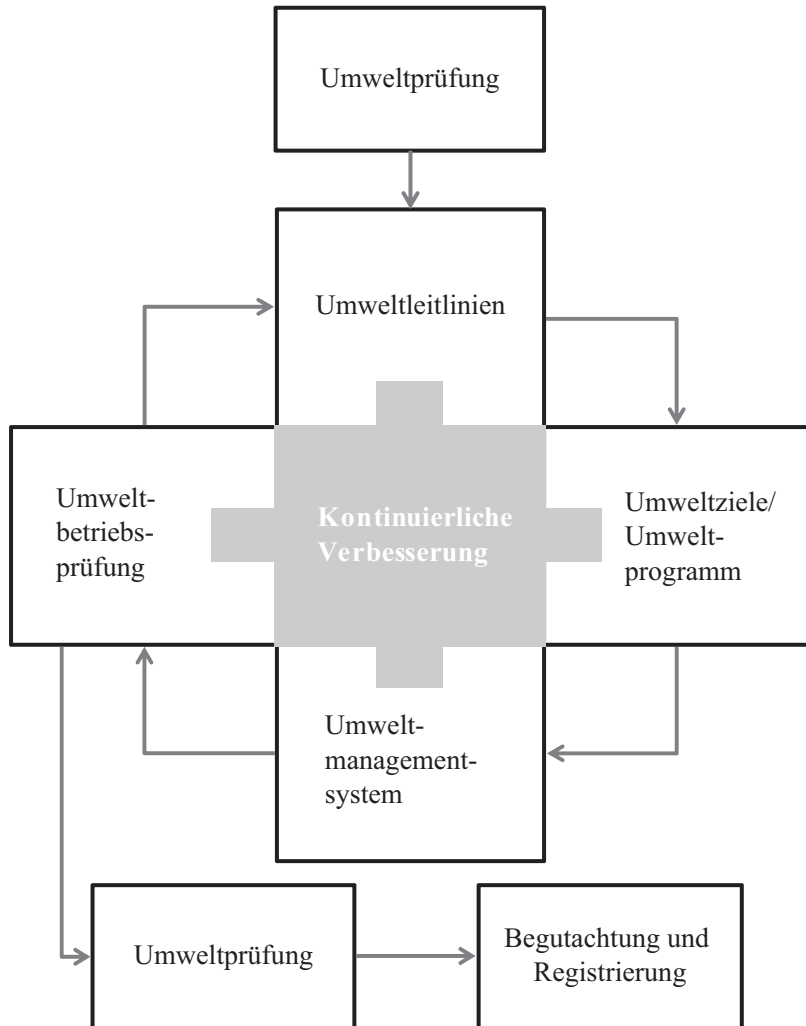
Nach dem Aufbau eines Umweltmanagementsystems auf Grundlage der DIN EN ISO 14001 kann sich ein Unternehmen durch eine Zertifizierungsorganisation zertifizieren lassen. Im Jahr 2012 hatten insgesamt 49 Prozent der aktiven Unternehmen des DB-Konzerns dieses Umweltmanagementsystem. 27 Prozent der Unternehmen waren sogar nach ISO 14001 zertifiziert (DB Nachhaltigkeitsbericht 2012).

19.1.2.2 Teilnahme an EMAS III

EMAS III ist die novellierte EMAS-Verordnung (EG) Nr. 1221/2009 über die freiwillige Teilnahme von Organisationen an einem Gemeinschaftssystem für Umweltmanagement und Umweltbetriebsprüfung (ABl. EG Nr. L 342 S. 1 vom 22. Dezember 2009), welche am 11. Januar 2010 in Kraft gesetzt worden ist.

Das Ziel von EMAS, einem wichtigen Instrument des Aktionsplans für Nachhaltigkeit in Produktion und Verbrauch und für eine nachhaltige Industriepolitik, besteht darin, kontinuierliche Verbesserungen der Umweltleistung von Organisationen zu fördern, indem die Organisationen Umweltmanagementsysteme errichten und anwenden, die Leistung dieser Systeme einer systematischen, objektiven und regelmäßi-

Abb. 19.2 Ablauf der EMAS-Verordnung



gen Bewertung unterzogen wird, Informationen über die Umwelleistung vorgelegt werden, ein offener Dialog mit der Öffentlichkeit und anderen interessierten Kreisen geführt wird und die Arbeitnehmer der Organisationen aktiv beteiligt werden und eine angemessene Schulung erhalten (EMAS III, Art. 1, S. 2).

Neben den in Tab. 19.1 dargelegten Unterschieden zur DIN EN ISO 14001 existieren weitere Anforderungen, die explizit nur im Rahmen der EMAS III gefordert werden. Hierzu zählt die im neuen EMAS III erforderliche Konkretisierung der erforderlichen Angaben in Form standardisierter Kennzahlen. Mit dieser Vorgabe soll die Darstellung der Umwelleistungen der Orga-

nisationen in den Umwelterklärungen übersichtlicher und einheitlicher werden.

Das Ablaufschema bei der Teilnahme an EMAS III gibt Abb. 19.2 in vereinfachter Form wieder.

Zu Beginn fordert die EMAS III, abweichend von der DIN EN ISO 14001:2004, die Durchführung einer **Umweltprüfung**. Die Umweltprüfung beinhaltet die erstmalige umfassende Untersuchung der Umweltaspekte, der Umweltauswirkungen und der Umwelleistung im Zusammenhang mit den Tätigkeiten, Produkten und Dienstleistungen einer Organisation (Verordnung (EG) Nr. 1221/2009, Art. 2, S. 9; 2009).

Bestandteil der Prüfung ist der Nachweis eines **Umweltmanagementsystems** gemäß DIN

EN ISO 14001 für den jeweiligen Standort. Die DIN EN ISO 14001 und die EMAS III sind also miteinander verknüpft, indem EMAS III die Anforderungen der DIN EN ISO 14001 für das aufzubauende Umweltmanagementsystem zugrunde legt.

Nach Abschluss der Implementierung des Umweltmanagementsystems ist eine **Umweltbetriebsprüfung** inklusive der Erstellung eines Umweltprogramms zur Behebung der festgestellten Mängel durchzuführen. Darüber hinaus sind Unternehmen, die sich an EMAS III beteiligen, verpflichtet, eine **Umwelterklärung** zu verfassen, die der Öffentlichkeit und interessierten Kreisen zugänglich gemacht werden muss.

Ist dies erfolgt, wird das Unternehmen nach Prüfung durch einen Umweltgutachter in eine Liste aller registrierten Standorte durch die zuständige Stelle eingetragen. Das Unternehmen ist nach Eintragung in das Verzeichnis der EU berechtigt, das EMAS-Zeichen eingeschränkt in der produktbezogenen Werbung zu verwenden.

Für eine kontinuierliche Teilnahme an EMAS III sind eine i. d. R. dreijährige Wiederholung des beschriebenen Zyklus und eine jährliche Validierung der Umwelterklärung vorgeschrieben.

Mit Stand Juli 2012 beteiligen sich in der BRD 3195 und weltweit 12 749 Standorte an EMAS III (Quelle:EMAS-Register).

19.1.3 Integrierte Managementsysteme (IMS)

Bis vor wenigen Jahren war die Einführung separat nebeneinander stehender Managementsysteme z. B. für Umweltschutz (z. B. nach DIN EN ISO 14001:1996 oder EMAS I oder II), Qualität (nach DIN EN ISO 9001) und Arbeitsschutz (z. B. OHSAS 19.001) die Normalität. Durch das Führen separater Managementsysteme entstehen leicht Redundanzen, wie mehrfache umfangreiche Dokumentationen und Informationsverlust sowie unklare Verantwortlichkeiten, Mehrfachaudits und nicht abgestimmte Auditzyklen und -termine [8]. Darüber hinaus liegen mögliche Schwachstellen solcher Insellösungen in der mehrfachen Beschreibung identischer Abläufe und Tätigkeiten, sich widersprechender Detail-

regelungen, verbunden mit einem Identitätsverlust der Mitarbeiter mit dem Unternehmen [7]. Es besteht somit die Gefahr, die ganzheitliche Führung eines Unternehmens aus den Augen zu verlieren [6].

Sogenannte Integrierte Managementsysteme (IMS) können hier Abhilfe schaffen [2]. Unter einem IMS wird das koordinierte Zusammenwirken verschiedener Managementbereiche (z. B. Qualitäts-, Umweltschutz-, Arbeitsschutzmanagement, sowie Sicherheit (safety)) verstanden. Durch die Bündelung werden die Effizienz gesteigert, Synergien genutzt und insgesamt eine Qualitätsverbesserung generiert.

Konkrete Vorteile der Einführung eines integrierten Managementsystems und der Abkehr von Systeminseln liegen nach Pischon [7] sowie Reuter und Zink [8] in der:

- Schaffung transparenter Strukturen und Abläufe und Vereinfachung der Kommunikation,
- Erhöhung der Rechts- und Prozesssicherheit durch Beschreibung der Schnittstellen,
- Reduzierung der Dokumentenflut durch integrierte Prozessbeschreibungen,
- Vermeidung von Doppelarbeiten und Nutzung von Synergien zwischen den Systemen,
- Systemsteuerung aus einer Hand mit einheitlichen Instrumenten und Methoden,
- Vernetzung von Kennzahlen,
- Erweiterbarkeit und Flexibilität offener Managementsysteme und
- Verringerung des Aktualisierungsaufwands.

In der Regel lassen sich durch die Einführung eines IMS eine Reduzierung des Zeitaufwands und damit auch eine Minimierung der entstehenden Personal- und Transaktionskosten erreichen. Hinzu kommt eine erhöhte Handlungssicherheit für die Mitarbeiter.

19.1.4 Delegation von Unternehmer-/Betreiberpflichten

Unter Delegation wird die Übertragung von Entscheidungskompetenzen von einer Instanz (Delegierender) an unterstellte Instanzen/Stellen (Delegationsempfänger) verstanden.

Rechtlich sind Mitglieder des vertretungsberechtigten Organs einer Kapitalgesellschaft (z. B. der Vorstand einer Aktiengesellschaft) dazu verpflichtet, Aufgaben wahrzunehmen, die dem Unternehmen als juristischer Person obliegen, (z. B. gemäß § 9 (1) des Gesetzes über Ordnungswidrigkeiten (OWiG) und § 14 (1) Strafgesetzbuch (StGB)). Für Mitglieder dieses Organs ist es normalerweise nicht möglich, allen nachgeordneten Führungskräften für alle Situationen des Tagesgeschäftes Vorgaben zu machen. Diese müssen daher in einer arbeitsteiligen Organisation mit Entscheidungskompetenzen ausgestattet werden, um die im Umweltrecht beschriebenen Betreiberpflichten umzusetzen [1]. Betreiberpflichten, die Umweltbelange betreffen, sind z. B.:

- Pflichten des Anlagenbetreibers im Sinne von §§ 62, 63 Wasserhaushaltsgesetz (WHG),
- Pflichten des Betreibers im Sinne der §§ 5, 22, 38 und § 52b Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG),
- Verkehrssicherungspflichten im Sinne von § 823 ff. Bürgerliches Gesetzbuch (BGB).

Um die Organmitglieder von der Erfordernis einer ständigen und lückenlosen Überwachung zu entlasten, werden Unternehmerpflichten auf nachgeordnete Mitarbeiter delegiert (z. B. gemäß § 9 (2) OWiG). Durch die Dokumentation der Verantwortung und Zuständigkeiten im Unternehmen (z. B. Stellenbeschreibung für Umweltbeauftragte) und die Übertragung von Unternehmerpflichten kann die Leitung einer Organisation einen Teil ihrer Aufgaben delegieren und sich in ihrer Aufgabe entlasten [2]. Die Gesamtverantwortung des vertretungsberechtigten Organs für die Wahrnehmung von Unternehmerpflichten bleibt hiervon unberührt.

Mit der Delegation von Aufgaben werden gleichzeitig auch die Kompetenzen und die sich daraus ergebende Verantwortung für die Wahrnehmung derselben übertragen. Die Delegation von Unternehmerpflichten ist bei der Beauftragung eines Mitarbeiters mit der ganzen oder teilweisen Leitung eines Betriebes mit umfasst [gemäß § 9 (2), Ziffer 1 OWiG]. Sie muss ausdrücklich erfolgen, wenn ein Mitarbeiter, der nicht als Betriebsleiter tätig ist, als sonstiger Be-

auftragter [gemäß § 9 (2), Ziffer 2 OWiG] Unternehmerpflichten wahrnehmen soll.

Die Übertragung von Unternehmerpflichten ist nur dann zulässig und wirksam, wenn der mit der Wahrnehmung von Unternehmerpflichten Beauftragte diese Pflichten eigenverantwortlich erfüllen kann, d. h. der Mitarbeiter fachlich geeignet und geschult ist, der Mitarbeiter berechtigt und in der Lage ist, die ihm übertragenen Pflichten fachlich zu erfüllen und dem Mitarbeiter die zur Wahrnehmung der übertragenen Pflichten erforderlichen Entscheidungs- und Weisungsbefugnisse eingeräumt sind [1].

Mit der Delegation können grundsätzlich nur Primärpflichten, sog. Ausführungspflichten, übertragen werden. Dem Delegierenden verbleiben hierbei allerdings die Sekundärpflichten. Ihm verbleiben Auswahlpflichten, bezogen auf die Fachkunde und Zuverlässigkeit des Delegationsempfängers und die Pflicht einer eindeutigen, klaren, und lückenlosen Delegation (Instruktionspflicht) [1]. Darüber hinaus muss er den Delegationsempfänger überwachen und sich regelmäßig von dessen Fachkunde und Zuverlässigkeit überzeugen. Des weiteren treffen ihn Eingriffspflichten bei fehlerhaftem Verhalten des Delegationsempfängers [5]. Auch müssen dem Verpflichteten die notwendigen Ressourcen zur Pflichterfüllung zur Verfügung gestellt werden.

Die Verpflichteten (z. B. Leiter von Organisationseinheiten) können delegierte Pflichten bzw. Aufgaben nach Ermächtigung wiederum an nachgeordnete Mitarbeiter übertragen; auch ihnen verbleiben hierbei die beschriebenen Sekundärpflichten [5].

19.1.5 Beauftragtenwesen

Im Bereich des Umweltschutzes besteht für den Unternehmer/Betreiber die Pflicht, unter bestimmten Bedingungen Beauftragte im Bereich Umweltschutz zu bestellen. Die Gesetzgebung unterscheidet hierbei zwischen dem Betriebsbeauftragten für Abfall, dem Betriebsbeauftragten für Immissionsschutz, dem Betriebsbeauftragten für Gewässerschutz, dem Betriebsbeauftragten für Strahlenschutz, dem Störfallbeauftragten und dem Gefahrgutbeauftragten. [1, 5].

Betriebsbeauftragter für Abfall

Die Bestellung von Betriebsbeauftragten für Abfall erfolgt gemäß § 59 (1) des „Kreislaufwirtschaftsgesetzes“ (KrWG). Eine Bestellung ist notwendig, wenn im Zuständigkeitsbereich Anlagen, die in § 1 der „Verordnung über Betriebsbeauftragte für Abfall (AbfBetrbV)“ aufgeführt sind, betrieben werden. Im Einzelfall kann die zuständige Behörde die Bestellung von einem oder mehreren Abfallbeauftragten auch auf Grundlage des § 59 (2) KrWG anordnen. Die Einzelanordnung geht entweder formal aus einem selbstständigen Verwaltungsakt oder als Auflage in einem Anlagenzulassungsbescheid bzw. einer Plangenehmigung/Planfeststellung hervor. Die Aufgaben eines Betriebsbeauftragten für Abfall sind in § 60 KrWG beschrieben. So hat der Beauftragte eine Überwachungsfunktion bei der Entsorgung von Abfällen, angefangen bei der Entstehung bis zur Verwertung oder Beseitigung und bei der Einhaltung der gesetzlichen Grundlagen im Abfallrecht. Darüber hinaus ist er berechtigt und verpflichtet, bei genehmigungsbedürftigen Anlagen im Sinne des § 4 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) oder solchen Anlagen, in denen regelmäßig gefährliche Abfälle anfallen, auf die Entwicklung und Einführung umweltfreundlicher und abfallarmer Verfahren, einschließlich Verfahren zur Vermeidung, ordnungsgemäßen und schadlosen Verwertung oder umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen hinzuwirken.

Betriebsbeauftragter für Immissionsschutz

Die Bestellung von Betriebsbeauftragten für Immissionsschutz nach § 53 (1) des BImSchG ist notwendig, wenn durch Art oder Größe der Anlagen, wegen der von den Anlagen ausgehenden Emissionen, technischen Probleme der Emissionsbegrenzung oder Eignung der Erzeugnisse, bei bestimmungsgemäßer Verwendung schädliche Umwelteinwirkungen in Form von Luftverunreinigungen, Geräusche oder Erschütterungen hervorgerufen werden. Anlagen für die zwingend ein Beauftragter für Immissionsschutz zu bestellen ist werden im Anhang 1 der Verordnung über Immissionsschutz- und Störfallbeauftragte (5. BImSchV) genannt. Auch beim

Betriebsbeauftragten für Immissionsschutz kann die zuständige Behörde abweichend von den in o. g. Verordnung festgelegten Grundsätzen nach § 53 (2) BImSchG die Bestellung eines oder mehrerer Betriebsbeauftragter fordern. Zu den Aufgaben des Immissionsschutzbeauftragten gehört u. a. nach § 54 BImSchG, darauf hinzuwirken, dass umweltfreundliche Verfahren und Erzeugnisse eingeführt und entwickelt werden und auch hierbei mitzuwirken. Darüber hinaus hat er die Betriebsangehörigen aufzuklären über von einer Anlage ausgehende Umweltauswirkungen. Einmal jährlich ist durch ihn ein Bericht an den Betreiber zum Thema Immissionsschutz anzufertigen. Hinsichtlich der Anforderungen an die Qualifikation eines Immissionsschutzbeauftragten sei hier auf § 7–10 der 5. BImSchV verwiesen.

Betriebsbeauftragter für Gewässerschutz

Die Pflicht zur Bestellung von Betriebsbeauftragten für Gewässerschutz ist in § 64 des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) festgelegt. Hiernach sind ein oder mehrere Beauftragte für Gewässerschutz zu bestellen, wenn mehr als 750 m³ Abwasser pro Tag direkt in ein Gewässer eingeleitet werden. Darüber hinaus kann die zuständige Behörde nach § 64 (2) WHG anordnen, dass Einleiter in Gewässer, für die nach o. g. Vorgaben kein Beauftragter vorgeschrieben ist, und Einleiter von Abwasser in Gewässer oder in Abwasseranlagen und öffentliche Kanalisationen einen oder mehrere Gewässerschutzbeauftragte bestellen müssen. Die Aufgaben des Beauftragten für Gewässerschutz sind in § 65 des WHG benannt. Auch dieser Beauftragte trägt eine Überwachungsfunktion bspw. hinsichtlich einzuhalten der gesetzlicher Vorgaben und Auflagen im Bereich Gewässerschutz. Hieraus abgeleitet ist die Pflicht, den Benutzer über aufgedeckte Mängel zu informieren und Maßnahmen zur Fehlerbeseitigung vorzuschlagen. Weiterhin hat der Beauftragte auf die Anwendung geeigneter Verfahren im Bereich Gewässerschutz und der Entwicklung und Einführung dieser hinzuwirken. Hinsichtlich weiterer Pflichten sei hier u. a. auf die § 62–65 des WHG hingewiesen.

Störfallbeauftragter

Betreiber genehmigungsbedürftiger Anlagen haben nach § 58 a (1) des BImSchG ggf. einen oder mehrere Störfallbeauftragte zu bestellen. Ein Störfallbeauftragter ist zu bestellen, wenn eine genehmigungsbedürftige Anlage betrieben wird, die Betriebsbereich oder Teil eines solchen nach § 1 (1) oder eines gleichgestellten Betriebsbereich nach § 1 (2) der 12. BImSchV „Störfall-Verordnung“ ist. Auch hier kann die zuständige Behörde nach § 58 (2) BImSchG die Bestellung einer oder mehrerer Störfallbeauftragter fordern, unabhängig davon, ob genannte Grundsätze/Bedingungen zutreffen.

Die Aufgaben des Störfallbeauftragten sind in § 58 b definiert. So hat er auf eine Anlagenverbesserung hinzuwirken, Störungen und bestimmte Mängel im Bereich vorbeugender Brandschutz und technische Hilfeleistungen dem Betreiber zu melden und für den Betreiber einen Jahresbericht zu erstellen.

Über die beschriebenen Grundlagen zur Notwendigkeit der Bestellung eines Betriebsbeauftragten und deren Aufgaben hinaus gibt es weitergehende gesetzliche Regelungen. So darf ein Betriebsbeauftragter nur bestellt werden, wenn er die zur Erfüllung seiner Aufgaben erforderliche Qualifikation hinsichtlich Fachkunde und Zuverlässigkeit besitzt (siehe hierzu auch § 55 (2) BImSchG bzw. § 60 (3) KrWG). Die zuständige Behörde ist im Rahmen der genannten gesetzlichen Grundlagen berechtigt, die Bestellung eines anderen Betriebsbeauftragten zu verlangen, wenn Tatsachen bekannt sind, nach denen dieser die erforderliche Fachkunde oder Zuverlässigkeit nicht besitzt.

Die Anforderungen an die Fachkunde von Immissionschutz- und Störfallbeauftragten sind in der 5. BImSchV sowie explizit in deren Anhängen geregelt. Solche detaillierten Vorgaben existieren für den Bereich Gewässerschutz und Abfall allerdings nicht.

Hinsichtlich des festgeschriebenen Benachteiligungsverbots und zu den Regelungen zum Kündigungsschutz sei hier auf § 58 BImSchG hingewiesen.

19.2 Anlagenbezogener Umweltschutz

Thorsten Herold, Roland Richter, Jürgen Kroeter, Björn Zimmer

Gewässerschutzbezogene Betriebsanlagen von Eisenbahn-Infrastrukturunternehmen, wie Abwasserbehandlungsanlagen, Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen, Innenreinigungsanlagen, zählen zu den Bahnanlagen nach § 4 Abs. 1 Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO). Für den Bau oder die wesentliche Änderung dieser Anlagen bedarf es einer Planfeststellung oder Plangenehmigung nach § 18 Allgemeines Eisenbahngesetz (AEG). Die Verwaltungsvorschrift über die Bauaufsicht im Ingenieurbau, Oberbau und Hochbau des EBA (VV Bau) regelt, für welche Maßnahme eine Plangenehmigung und wann eine Planfeststellung erforderlich ist. Der Betrieb der Anlagen ist entsprechend den landesrechtlichen Bestimmungen von den Betreibern selbst zu überwachen.

19.2.1 Abwasseranlagen und Abwasserbehandlungsanlagen

Unter **Abwasseranlagen** sind Abwasserkanäle und -leitungen zu verstehen, die als Freispiegelleitungen außerhalb von Gebäuden der Ableitung von Niederschlagswasser (RW), Schmutzwasser (SW), Mischwasser (MW) oder industriellem Abwasser (IW) dienen (vgl. Kommunale Abwassersatzungen).

Abwasserbehandlungsanlagen sind Einrichtungen, die schädliche Inhaltsstoffe des Abwassers vor der Einleitung oder Wiederverwendung als Brauchwasser reduzieren bzw. beseitigen (nach Abwasserabgabengesetz (AbwAG) § 2 Abs. 3). Dabei werden die Inhaltsstoffe, die durch die Produktionsprozesse in das Wasser gelangt sind, abgetrennt und gesondert entsorgt. Werden Abwasseranlagen im Rahmen der Vorschriften der Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (VAwS) als Auffangvorrichtungen genutzt, sind spezielle Anfor-

derungen gemäß der VAWS des jeweiligen Bundeslandes einzuhalten (siehe Abschn. 19.2.2).

Zu den Abwasserbehandlungsanlagen gehören insbesondere:

- Abscheider für Leichtflüssigkeiten und Fette,
- Absetzanlagen (z. B. Schlammfänge),
- Abwasserhebeanlagen,
- Anlagen für die Entsorgung der Fäkalien aus geschlossenen WC-Systemen aus Reisezugwagen,
- Flockungs-/Fällungsanlagen,
- Kläranlagen/Kleinkläranlagen/biologische Kläranlagen,
- Neutralisationsanlagen,
- Ultrafiltrationsanlagen, Filtrationsanlagen.

Im Rahmen der Wahrnehmung der Betreiberaufgaben sind gesetzliche und technische Bestimmungen für den Betrieb und die Instandhaltung der Anlagen, die Unfallverhütung, den Arbeitsschutz/Gesundheitsschutz, den Brandschutz und den Explosionsschutz zu beachten. Neben den einschlägigen Bundes- und Landesgesetzen gelten die Satzungen der Abwasserverbände. Des Weiteren sind Abwassernormen und -regeln sowie allgemeingültige Regeln (DIN-Normen, Regelwerk der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA), des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfachs e. V. (DVGW) sowie die DB Ril 880.25 „Abwasseranlagen betreiben und instand halten“, anzuwenden.

Bei eisenbahnspezifischen Prozessen entstehen neben häuslichem Schmutzwasser auch belastete Industrieabwässer, die vor der Einleitung in die öffentliche Kanalisation oder in bahneigene Kläranlagen behandelt werden müssen. Zu behandelnde Abwässer fallen z. B. in Innenreinigungsanlagen und Außenreinigungsanlagen für Reisezugwagen, Werkstätten für Schienenfahrzeuge, Tankanlagen sowie Leckageplätzen an.

Häusliche Abwässer aus Gebäuden, unbelastetes Oberflächenwasser, Abwasser aus der mobilen WC-Entsorgung von Reisezugwagen und aus geschlossenen WC-Anlagen von Reisezugwagen (Vakuumstation) müssen vor der Einleitung i. d. R. nicht behandelt werden.

Indirekteinleitung von Abwässern Bestimmungen zur Indirekteinleitung von Abwässern sind im Wasserhaushaltsgesetz WHG, dem jeweiligen Landesrecht sowie den jeweiligen Satzungen der kommunalen Kanalnetzbetreiber geregelt. In anderen Fällen regeln jedoch auch öffentlich-rechtliche Verträge oder privatrechtliche Geschäftsbedingungen die für die Genehmigungen geltenden Bedingungen hinsichtlich der Art, Menge und Beschaffenheit des einzuleitenden Abwassers, in Abhängigkeit von Kanalnetz und Kläranlage. Bei Indirekteinleitung sind die einzuhaltenden Grenzwerte der erteilten Genehmigung (gemäß Landeswassergesetz) zu entnehmen. Zusätzlich zu den Auflagen der Indirekteinleiter-Genehmigung sind die Anforderungen der kommunalen Entwässerungssatzungen zu berücksichtigen. Für die Einleitung von Abwässern in öffentliche Abwasseranlagen ist i. d. R. (nach den Indirekteinleiter-Verordnungen der Länder) eine Einleitgenehmigung des kommunalen Anlageneigentümers erforderlich. Abwassermengen und Schmutzfracht sind der Behörde im Rahmen der rechtlichen Vorschriften (nach dem kommunalen Satzungsrecht) und den u. U. erteilten Auflagen mitzuteilen.

Direkteinleitung von Abwässern Bei der Direkteinleitung in einen Vorfluter (ohne Ableitung der Abwässer über eine öffentliche Kläranlage) werden i. Allg. sehr strenge Anforderungen (nach Abwasserverordnung (AbwV)) an die Reinheit des Abwassers gestellt. Die einzuhaltenden Grenzwerte sind der erteilten Erlaubnis (wasserrechtlicher Genehmigungsbescheid nach Landeswassergesetz) zu entnehmen. Für das in Gewässer eingeleitete Abwasser ist gemäß dem Abwasserabgabengesetz eine Abwasserabgabe zu entrichten; die Höhe der Abgabe richtet sich nach der Schädlichkeit des Abwassers (§ 3 AbwAG).

Eigenüberwachung Zur Instandhaltung der Anlage sind regelmäßig geeignete Maßnahmen nach den landesspezifischen Regelungen, wie der Eigenkontrollverordnung zur Feststellung und Beurteilung des ordnungsgemäßen Zustandes

und der Funktionsfähigkeit der gesamten Anlage sowie zur Bewahrung und Wiederherstellung des Sollzustandes der Anlagen, durchzuführen. Diese Maßnahmen umfassen die Wartung, die Inspektion und die Instandsetzung. Für Errichtung und Betrieb von Abwasseranlagen gelten die allgemeinen anerkannten Regeln der Technik; sie sind nach § 60 WHG so zu betreiben, dass die Anforderungen an die Abwasserbeseitigung eingehalten werden.

Der Betrieb und die Unterhaltung der Abwasseranlagen soll nur von entsprechend ausgebildeten und unterwiesenen Personen mit einer beruflichen Qualifikation im Bereich Wasser/Abwasser durchgeführt werden.

Auf Grundlage der Eigenüberwachungsverordnungen der einzelnen Bundesländer, der wasserrechtlichen Genehmigung bzw. der kommunalen Entwässerungssatzung ist ein Überwachungsturnus für die Eigenüberwachung festzulegen.

Außerdem müssen entsprechend den Vorgaben der Eigenüberwachungsverordnungen bzw. den Vorgaben der Anlagenhersteller die Wartungsintervalle sowie die Inspektionsintervalle schriftlich festgelegt und im Betriebs- und Wartungsbuch dokumentiert werden.

In den Eigenüberwachungsverordnungen der einzelnen Bundesländer ist geregelt, in welchen Fällen ein Betriebs- und Wartungsbuch/Betriebs-tagebuch für Abwasserbehandlungsanlagen zu führen ist. Fehlt eine entsprechende Regelung für die entsprechende Anlage, ist eine Einzelfallentscheidung (der zuständigen Kreisverwaltungsbehörde) notwendig.

Dem Betriebs- und Wartungsbuch ist die jeweils zugehörige Betriebsanweisung beizulegen. Außerdem ist es sinnvoll, die Anlagenbeschreibung (Beschreibung der Funktionsweise der Anlage) einschließlich der Anlagendaten, der Bedienungsanweisung, der Wartungsanweisung und der Überwachungshinweise des Herstellers sowie die Hinweise zur Funktion und Überprüfung der Kontroll-, Alarm-, Sicherheits- und Schalteinrichtungen und der entsprechende Auszug aus dem Kanalnetzlageplan dem Betriebs- und Wartungsbuch beizufügen. Die landesspezifischen Aufbewahrungsfristen sind zu beachten.

Probenahmen und Analysen sind im Rahmen der Eigenüberwachung oder aufgrund behördli-

cher Auflagen durchzuführen. In den Satzungen der Betreiber öffentlicher Abwasseranlagen (Entwässerungsabgabensatzungen) werden die Gebühren und Beiträge für das Einleiten von häuslichen Abwässern (sog. Schmutzwassergebühren) geregelt. Für einzelne Anlagen können auch sog. „Starkverschmutzerzuschläge“ erhoben werden.

Inspektion Die Inspektion von Abwasseranlagen dient dem frühzeitigen Erkennen von Schäden und deren Ursachen zur Vermeidung haftungs-, abgaben-, ordnungs- und strafrechtlich relevanter Konsequenzen und dem Erhalt der Funktionsfähigkeit der Anlage, um nachteilige Auswirkungen auf die abwassererzeugenden Produktionsprozesse zu vermeiden. Sie umfasst die bautechnischen Anlagenteile und die Anlagentechnik sowie Schaltanlagen, Zähl-, Mess- und Prüfeinrichtungen und Stromversorgungsanlagen. Die Inspektion ist nach den vom Hersteller der Anlage angegebenen Aufgaben und Fristen, nach den Festlegungen der Landesgesetzgebung (Eigenkontrollverordnungen) und der DWA durchzuführen bzw. zu beauftragen und zu überwachen.

Wartungsarbeiten, die der Betreiber einer Anlage zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen nach § 62 Punkt 1 WHG auszuführen hat, dürfen nur durch (nach § 3 Punkt 2 VAWs 2010) zugelassene Fachbetriebe durchgeführt werden. Dies betrifft neben Anlagen zum Umgang mit flüssigen wassergefährdenden Stoffen der Gefährdungsstufen C und D auch Abwasseranlagen nach § 62 Abs. 1 z. B. zur Rückhaltung wassergefährdender Stoffe oder Löschwasser, die Bestandteil von Anlagen zum Lagern, Abfüllen und Behandeln wassergefährdender Stoffe sind. Die Wartung muss entsprechend den Vorgaben der Eigenüberwachungsverordnungen bzw. der Abwassersatzung von einer anerkannten Prüforganisation durchgeführt und dokumentiert werden. Durch die Dokumentation der Durchführung und Abnahme der Arbeiten im Betriebs- und Wartungsbuch kann bei Anfragen durch die Überwachungsbehörde das Auffinden entsprechender Unterlagen sichergestellt werden.

Tab. 19.3 Wassergefährdungsklassen (WGK) mit Beispielen (nach Verwaltungsvorschrift wassergefährdende Stoffe – VwVwS)

| | | |
|--------------|--------------------------|---|
| <i>WGK 1</i> | Schwach wassergefährdend | Zum Beispiel bestimmte Säuren oder Laugen, wie sie in einigen Waschmitteln vorkommen |
| <i>WGK 2</i> | Wassergefährdend | Zum Beispiel Heizöl, bestimmte Lösungsmittel |
| <i>WGK 3</i> | Stark wassergefährdend | Zum Beispiel Lösemittel wie Trichlorethen (Tri) oder Tetrachlorethen (Per), Altöl, Benzin |

Rückstände aus Abwasseranlagen sind, sofern sie nicht verwertet werden können, entsprechend dem Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) als Abfall zu entsorgen (s. Abschn. 19.6.1).

Abwasseranlagen sind so stillzulegen, dass von ihnen keinerlei Gefahr mehr ausgehen kann, weder für den Eisenbahnbetrieb noch für das Grundwasser oder für Personen. Soweit es sich bei den betreffenden Anlagen um Betriebsanlagen einer Eisenbahn handelt, ist vor einem Rückbau bzw. einer Änderung ein Verfahren nach § 18 AEG (Planfeststellung, Plangenehmigung oder Verzicht hierauf) durchzuführen; bei übrigen Anlagen richtet sich die Genehmigung nach Landesrecht bzw. Wasserrecht. Die Stilllegung von Betriebsanlagen ist außerdem dem EBA anzuzeigen.

19.2.2 Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen

Beim Betrieb von **Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen** nach § 62 WHG findet die „Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“ (Anlagenverordnung VAwS) des jeweiligen Bundeslandes Anwendung. Generell müssen nach dem Besorgnisgrundsatz Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen so beschaffen und betrieben werden, dass wassergefährdende Stoffe nicht austreten können.

Um das Gefährdungspotenzial der Anlage und damit die jeweils einzuhaltenden Vorschriften (örtlich geltende VAwS) genau bestimmen zu können, sind für die Anlagen die Art des Umgangs, die Mengen und jeweiligen Wassergefährdungsklassen der eingesetzten Stoffe zu ermitteln, s. Tab. 19.3. Welche Stoffe wassergefährdend sind und welches Wassergefährdungspotenzial (Wassergefährdungsklasse WGK) sie

haben, ist dem jeweiligen Sicherheitsdatenblatt (des Herstellers) zu entnehmen.

Der Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (nach § 2 Muster-VAwS) ist definiert als:

- **Herstellen:** erzeugen, gewinnen oder schaffen von Stoffen,
- **Behandeln:** auf die Stoffe einwirken, um deren Eigenschaften zu verändern,
- **Verwenden:** anwenden, gebrauchen oder verbrauchen von Stoffen unter Ausnutzung ihrer Eigenschaften,
- **Lagern:** Vorhalten von Stoffen zur weiteren Nutzung, Abgabe oder Entsorgung,
- **Abfüllen:** Befüllen von Behältern oder Verpackungen mit diesen Stoffen,
- **Umschlagen:** Umladen der Stoffe in Behältern oder Verpackungen von einem Transportmittel auf ein anderes.

Je nach Art des Umgangs wird eine Einteilung in Anlagen zum Herstellen, Behandeln, Verwenden (**HBV**-Anlagen) und zum Lagern, Abfüllen, Umschlagen (**LAU**-Anlagen) von wassergefährdenden Stoffen vorgenommen.

Der Betreiber der vorgenannten in den Geltungsbereich des Wasserhaushaltsgesetz (WHG) fallenden Anlagen (nach § 62 WHG) hat die Dichtheit der Anlage und die Funktionsfähigkeit der Sicherheitseinrichtungen ständig zu überwachen.

Anlagen im Eisenbahnbetrieb, an denen mit wassergefährdenden Stoffen umgegangen wird, sind z. B.:

- Tankanlagen für Schienen- und Straßenfahrzeuge,
- Umfüllstellen,
- Abwasseranlagen,
- Waschanlagen für Triebfahrzeuge, Reisezug- und Güterwagen,
- Arbeitsgruben, Waschplatten und
- Lager von wassergefährdenden Stoffen.

Mobile Abfüll- und Umschlagstellen, die lediglich kurzzeitig oder an ständig wechselnden Orten eingesetzt werden (z. B. Baustellentankstellen) gelten nicht als Anlagen nach § 62 WHG. Sie werden von der VAWS nicht erfasst, unterliegen jedoch dem Minimierungsgebot und dem allgemeinen Sorgfaltsgrundsatz des § 5 WHG („Jedermann ist verpflichtet, bei Maßnahmen, mit denen Einwirkungen auf ein Gewässer verbunden sein können, die (...) erforderliche Sorgfalt anzuwenden, um eine (...) nachteilige Veränderung seiner Eigenschaften zu verhüten“).

In Bezug auf den Eisenbahnbetrieb der Eisenbahnen des Bundes hat die Zentrale des Eisenbahn-Bundesamtes im Jahr 2003 [Vermerk 11.40 Reb/2181 lub (DB Netz NSU) – Rechtsgrundlage für Anweisungen an DB Netz AG in Sachen „Wildes Betanken“] die regelmäßige Betankung von Schienenfahrzeugen aus Straßentankfahrzeugen untersagt. Diese Regelungen haben auch Eingang in die Nutzungsbedingungen für Serviceeinrichtungen (NBS (BT), Kap. 3.5.4) gefunden, die ein Betanken von Schienenfahrzeugen außerhalb den dafür vorgesehenen baulichen Anlagen untersagt.

Begründet wird diese Regelung mit dem im Umweltrecht maßgeblichen Vorsorgeprinzip, insbesondere Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG, § 4 Vermeidung schädlicher Bodenveränderungen) und Wasserhaushaltsgesetz (WHG, § 5 Sorgfaltspflicht und § 48 Reinhaltung, Besorgnisgrundsatz). Die Minimierung der Gefahren ist durch baulichen Boden- und Gewässerschutz sicherzustellen. Einzige Ausnahme stellt die Betankung von ortsbeweglichen Arbeitsmaschinen (Technische Regeln für brennbare Flüssigkeiten (TRbF) 30 – Füllstellen, Entleerstellen und Flugbetankungsstellen – Anhang 4, Abs 2) dar.

Um die Gefährdungsstufe der Anlage festlegen zu können, sind das maximale Volumen bzw. die Masse der Lagermenge und die Wassergefährdungsklassen der gelagerten Stoffe zu ermitteln. Anhand der Menge der wassergefährdenden Stoffe, ihrer Lagermenge und der hydrologischen Beschaffenheit und Schutzbedürftigkeit des Aufstellungsortes erfolgt eine Klassifizierung der

Tab. 19.4 Ermittlung der Gefährdungsstufen A bis D (nach § 6 der VAWS Baden-Württemberg)

| Volumen in m ³ bzw. Masse in t | Wassergefährdungsklassen | | |
|--|--------------------------|---------|---------|
| | 1 | 2 | 3 |
| <0,1 | Stufe A | Stufe A | Stufe A |
| >0,1 <1 | Stufe A | Stufe A | Stufe B |
| >1 <10 | Stufe A | Stufe B | Stufe C |
| >10 <100 | Stufe A | Stufe C | Stufe D |
| >100 <1000 | Stufe B | Stufe D | Stufe D |
| >1000 | Stufe C | Stufe D | Stufe D |

baulichen Anlagen in die Gefährdungsstufen A, B, C oder D, s. Tab. 19.4.

Aus Betreibersicht ist es sinnvoll zu überprüfen, ob durch Ersatz der Stoffe durch Betriebsmittel mit geringerer WGK oder durch eine Verringerung der Lagermenge, die Einteilung in eine niedrigere Gefährdungsstufe möglich ist – und sich damit der betriebliche Aufwand minimieren lässt.

Darüber hinaus ist abzuklären, ob sich die zu betreibende Anlage in einem Wasserschutzgebiet oder einem ausgewiesenen Überschwemmungsgebiet befindet (erforderlichenfalls sind mit der Behörde Schutzmaßnahmen und Ausnahmeregelungen zu treffen). Die Grundsätze des § 3 Muster-VAWS sind einzuhalten. So ist eine Betriebsanweisung mit Überwachungs-, Instandhaltungs- und Alarmplan aufzustellen. Den im Anhang 1 der Länder-VAWS festgelegten **Allgemeinen Anforderungen** an den Aufbau und die Ausrüstung von Anlagen ist nachzukommen. Es sind die technischen Anforderungen konkretisiert, die sich in Abhängigkeit vom Gefährdungspotenzial (nach § 6 Muster-VAWS) zur Erfüllung der Grundsatzanforderungen (nach § 3 Muster-VAWS) ergeben. Die beschriebenen Schutzmaßnahmen/Schutzanforderungen sind allgemein anerkannte Regeln der Technik (nach § 5 Muster-VAWS bzw. § 62 WHG), die von allen Anlagen, unabhängig vom Gefährdungspotenzial zu erfüllen sind. Hierbei sind z. B. die Punkte Standsicherheit, Dichtheit, Brandschutz, Einsehbarkeit und Abstände, Widerstandsfähigkeit und Auffangräume, Auffangwannen und Auffangtassen angesprochen.

Auffangräume, Auffangwannen, Auffangtassen Anlagenteile, bei denen Tropfmengen nicht

Tab. 19.5 Lagermengen und notwendige Auffangräume bei Fass- und Gebindelägern (nach § 6 der VAWS BW)

| Gesamtlagermenge V_{ges} in m^3 | Auffangraum |
|---|--|
| ≤ 100 | 10 % von V_{ges} , wenigstens der Rauminhalt des größten Gefäßes |
| $> 100 \leq 1.000$ | 3 % von V_{ges} , wenigstens jedoch 10 m^3 |
| > 1.000 | 2 % von V_{ges} , wenigstens jedoch 30 m^3 |

auszuschließen sind, sind mit gesonderten Auffangtassen zu versehen oder in einem sonstigen Auffangraum anzuordnen. Soweit der Anhang 1 der Länder-VAWS keine besonderen oder abweichenden Vorgaben enthält, gelten die Anforderungen an die Größe und Ausgestaltung der Auffangräume, wenn die folgenden Bestimmungen eingehalten werden:

Auffangräume sind grundsätzlich den zugehörigen Anlagen unmittelbar räumlich zuzuordnen. Von den zugehörigen Anlagen räumlich getrennte Auffangräume sind zulässig, wenn ihnen im Schadensfälle die wassergefährdenden Stoffe sicher zugeleitet werden können.

Der Rauminhalt eines Auffangraums muss dem Rauminhalt der in ihm aufgestellten Anlage entsprechen. Befinden sich mehrere Anlagen in einem Auffangraum, ist der Rauminhalt der größten Anlage maßgebend; dabei müssen aber wenigstens 10 % des Gesamtvolumens aller im Auffangraum aufgestellten Anlagen zurückgehalten werden. Bei Fass- und Gebindelägern ist die Größe des erforderlichen Auffangraums nach der möglichen Gesamtlagermenge nach Tab. 19.5 zu staffeln:

Abfüll- und Umschlagplätze Die Abfüll- und Umschlagplätze müssen so beschaffen sein, dass auslaufende wassergefährdende Flüssigkeiten nicht in ein oberirdisches Gewässer, eine hierfür nicht geeignete Abwasseranlage oder in das Erdreich gelangen können. Die Bodenfläche muss ausreichend dicht und widerstandsfähig gegen die Flüssigkeiten sowie die zu erwartenden mechanischen Beanspruchungen sein. Es sind Vorkehrungen zu treffen, dass beim Abfüll- oder Umschlagvorgang beteiligte Transportmit-

tel gegen Wegrollen, Verschieben oder Abfahren gesichert sind.

Im Anhang 2 der Länder-VAWS sind die einzuhaltenden **Besonderen Anforderungen** festgelegt. Dies sind insbesondere Anforderungen an die Befestigung und Abdichtung von Bodenflächen, das Rückhaltevermögen für austretende wassergefährdende Stoffe und Maßnahmen organisatorischer oder technischer Art. Im Anhang 2 sind nur die besonderen Anforderungen als F-, R- und I-Maßnahmen aufgelistet. Dabei steht F für Fläche (Befestigung und Abdichtung der Bodenfläche), R für Rückhaltevermögen und I für Infrastruktur (d. h. Anforderungen organisatorischer bzw. technischer Art, wie selbsttätige Störmeldeinrichtung oder Alarm- und Maßnahmenplan). Sie beschreiben abschließend die jeweils entsprechend ihrem Anwendungsbereich erforderlichen standortunabhängigen Maßnahmen nach den Grundsatzanforderungen (gemäß § 3 Nr. 1–6 Muster-VAWS). Weitergehende, standortabhängige Anforderungen (nach § 7 Muster-VAWS) können von den Behörden gestellt werden.

Anforderungen an die Fläche Die Schutzmaßnahmen/Schutzanforderungen der F-Maßnahmen beziehen sich auf die Befestigung und Abdichtung von Bodenflächen.

Bei der Maßnahme „F₀=keine Anforderung an die Fläche“ werden an die Anlagen über die betrieblichen Anforderungen hinaus aus der Sicht der §§ 62 und 63 WHG keine weitergehenden Anforderungen an die Aufstellfläche gestellt.

Die Anforderungen F₁ und F₂ sind materiell identisch. Der Nachweis der Stoffundurchlässigkeit liegt bei der Anforderung F₁ in der Eigenverantwortung des Betreibers (Betreibererklärung). Bei der Anforderung F₂ ist der Nachweis gegenüber der Behörde zu führen, bei HBV-Anlagen im Rahmen des Anlagenkatasters (§ 11 Muster-VAWS).

Anforderungen an das Rückhaltevermögen Das Rückhaltevermögen beschreibt das Volumen, das tatsächlich als Rückhaltevolumen eingerichtet werden muss. Der Begriff „Rückhaltevermögen“ steht in keiner Verbindung mit dem Begriff „Auffangraum“ in der Definition des § 13 hin-

Tab. 19.6 Anforderungen an Anlagen zum Lagern (nach VAWS Baden-Württemberg)

| Rauminhalt der Anlage in m ³ | WGK 1 | WGK 2 | WGK 3 |
|---|---------------------------|---------------------------|---------------|
| <0,1 | $F_0+R_0+I_0$ | $F_0+R_0+I_0$ | $F_0+R_0+I_0$ |
| >0,1<1 | $F_0+R_0+I_0$ | $F_0+R_0+I_0$ | $F_0+R_2+I_0$ |
| >1<10 | $F_1+R_0+I_1$ | $F_1+R_1+I_1$ | $F_2+R_2+I_0$ |
| >10<100 | $F_1+R_1+I_1$ | $F_1+R_1+I_2/F_1+R_1+I_1$ | $F_2+R_2+I_0$ |
| >100 | $F_1+R_1+I_2/F_2+R_1+I_1$ | $F_2+R_2+I_0$ | $F_2+R_2+I_0$ |

Tab. 19.7 Anforderungen an Abfüll- und Umschlaganlagen (nach VAWS Baden-Württemberg)

| Betriebliche Vorgänge | WGK 1 | WGK 2 | WGK 3 |
|--|---------------|---------------|---------------|
| Befüllen und Entleeren von Behältern | $F_1+R_1+I_0$ | $F_2+R_1+I_0$ | $F_2+R_1+I_0$ |
| Umladen von Flüssigkeiten in Verpackungen, die den gefahrgutrechtlichen Anforderungen nicht genügen oder nicht gleichwertig sind | $F_1+R_0+I_1$ | $F_1+R_1+I_1$ | $F_1+R_1+I_2$ |
| Umladen von Flüssigkeiten in Verpackungen, die den gefahrgutrechtlichen Anforderungen genügen oder gleichwertig sind | $F_0+R_0+I_0$ | $F_1+R_0+I_2$ | $F_1+R_0+I_1$ |

sichtlich der Anlagen einfacher oder herkömmlicher Art und dem Begriff des Anlagenvolumens nach § 6. Nach § 13 Abs. 1 (Muster VAWS) sind Anlagen zum Lagern, Abfüllen, Umschlagen von wassergefährdenden flüssigen Stoffen einfacher und herkömmlicher Art, wenn sie den öffentlich-rechtlichen Vorschriften entsprechen, nach der Gefährdungsstufe A eingestuft oder die Anforderungen gem. § 13 Abs. 2 erfüllt werden, wie z. B. Doppelwandig ausgeführte Tankanlagen. Bei der Maßnahme „R₀=Kein Rückhaltevermögen“ werden an die Anlagen über die betrieblichen Anforderungen hinaus aus der Sicht der §§ 62 und 63 WHG keine weitergehenden Anforderungen an das Rückhaltevermögen gestellt. Das Rückhaltevermögen „R₁“ bezeichnet das Volumen wassergefährdender Flüssigkeiten, das bis zum Wirksamwerden geeigneter Sicherheitsvorkehrungen (z. B. Absperrungen des undichten Anlagenteils oder Abdichten des Lecks) auslaufen kann. Mit der Bezeichnung „R₂“ wird das Rückhaltevermögen für das Volumen wassergefährdender Flüssigkeiten beschrieben, das bei Betriebsstörungen freigesetzt werden kann, ohne dass Gegenmaßnahmen berücksichtigt werden. Bei „R₃“ ist das Rückhaltevermögen ersetzt durch Doppelwandigkeit mit Leckanzeigergerät nach § 13 Abs. 2 Nr. 1 Buchst. a und b.

Maßnahmen zur Erreichung des Rückhaltevermögens R₁ oder R₂ nach Abs. 1 setzen immer

eine stoffundurchlässige Fläche oder höherwertig voraus. Für alle Anlagen außer Heizölanlagen sowie Anlagen der Gefährdungsstufe A ist grundsätzlich eine konkrete Betriebsanweisung nach § 3 Abs. 6 Muster-VAWS erforderlich, s. Tab. 19.6 und 19.7.

Anforderungen an die Infrastruktur Die Anforderungen an infrastrukturelle Maßnahmen sind organisatorischer oder technischer Art. Bei der Maßnahme „I₀=keine Anforderung an die Infrastruktur“ ergeben sich keine Forderungen über die betrieblichen hinaus; eine Betriebsanweisung nach § 3 Nr. 6 der Muster-VAWS ist nicht erforderlich. Die Anforderung I₁ schreibt die Überwachung durch selbsttätige Störmeldeinrichtungen in Verbindung mit einer ständig besetzten Betriebsstätte (z. B. Messwarte) oder Überwachung mittels regelmäßiger Kontrollgänge vor. Darüber hinaus ist die Aufzeichnung der Abweichungen vom bestimmungsgemäßen Betrieb und Veranlassung notwendiger Maßnahmen vorgegeben. Die „I₂-Anforderung“ schließlich sieht einen Alarm- und Maßnahmenplan vor, der wirksame Maßnahmen und Vorkehrungen zur Vermeidung von Gewässerschäden beschreibt und mit den in die Maßnahmen einbezogenen Stellen abgestimmt ist.

Hydrogeologische Beschaffenheit und Schutzbedürftigkeit des Aufstellungsortes Zu berücksichtigen sind vor allem:

- Einzugsgebiete von Wassergewinnungsanlagen und Heilquellen,
- oberirdische Gewässer, die für die Wasserversorgung vorgesehen sind,
- Gebiete, deren geologische Beschaffenheit die Verunreinigung auch weit entfernt liegender Gewässer, die der Wasserversorgung dienen oder dafür vorgesehen sind, besorgen lässt,
- Gebiete mit reichen oder örtlich bedeutsamen Grundwasservorkommen ohne ausreichend dicke und dichte Deckschichten,
- oberirdische Gewässer mit ihren Uferbereichen und Überschwemmungsgebieten und
- Einzugsgebiete von wasserwirtschaftlich bedeutsamen Seen.

In den örtlichen Schutzgebietsverordnungen können jedoch abweichend von der VAwS Verbote ausgesprochen oder Anlagen zugelassen werden. Als Ausgleich für Ausnahmegenehmigungen sind grundsätzlich höherwertige Sicherheitsanforderungen als im Regelfall vorzuschreiben.

VAwS-Anlagen unterliegen nach den Vorgaben der Landesgesetzgebung möglicherweise einer Anzeigepflicht. Es ist zu prüfen, ob nach § 9 der Muster-VAwS Anforderungen an die Kennzeichnung von Anlagen vorgegeben sind. Auch sind die Stoffe aufzuführen, mit denen in der Anlage umgegangen wird, außer die Art des Stoffes ist offenkundig.

Es ist zu überprüfen, ob die Anlage einer Fachbetriebspflicht nach § 1 VAwS 2010 unterliegt.

Es ist ebenfalls zu überprüfen, ob auf Grundlage der § 1 VAwS 2010 bzw. § 22 Muster-VAwS Prüfung durch Sachverständige erforderlich sind.

Durch Ersatz von wassergefährdenden Stoffen durch weniger wassergefährdende Stoffe sowie durch Mengenreduzierung lassen sich das Gefährdungspotenzial der Anlage und damit die Anforderungen an die Anlage verringern.

Alle VAwS-Anlagen (und -Anlagenteile) müssen nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik ausgeführt sein; dies schließt eine Auffangvorrichtung, mit der austretende Stoffe zurückgehalten werden können, mit ein. Je nach Art der Anlage, Gefährdungspotenzial der Anlage

und anderen Faktoren können des Weiteren u. a. regelmäßige Prüfungen und die Führung eines Anlagenkatasters verpflichtend sein. Ein Anlagenkataster ist generell für Anlagen der Gefährdungsstufe D zu erstellen. Die zuständigen Behörden können aber auch für Anlagen niedrigerer Gefährdungsstufen ein Anlagenkataster fordern (§ 11 Muster-VAwS). Ziel des Anlagenkatasters ist es sicherzustellen, dass der Anlagenbetreiber alle für den Gewässerschutz wichtigen Informationen über die Anlagen in übersichtlicher Form zur Verfügung hat.

Eignungsfeststellungen für Anlagen, die nicht einfacher und herkömmlicher Art sind, haben gemäß WHG (§ 63) zu erfolgen. Sind die VAwS-Anlagen allerdings Bestandteile von genehmigten BImSchG-Anlagen, so ist die Eignungsfeststellung in der BImSchG-Genehmigung eingeschlossen. Anzeigepflichten sind den geltenden Landeswassergesetzen zu entnehmen.

Entsprechend den Anforderungen der VAwS sind die notwendigen Sicherheitsvorkehrungen (primäre Maßnahmen, mit denen ein Austritt der Stoffe aus den Anlagen verhindert werden soll, und sekundäre Maßnahmen, durch die ein Eintritt in die Umwelt verhindert werden soll, falls die primären Maßnahmen nicht greifen) zu treffen.

Es ist (nach § 3 Abs. 6 Muster-VAwS) eine Betriebsanweisung mit Überwachungs-, Instandhaltungs- und Alarmplan zu erstellen (ausgenommen sind lediglich Anlagen der Gefährdungsstufe A sowie Heizölverbrauchsanlagen). Die Zusammenfassung aller Dokumente einschließlich der Nachweise über Unterweisungen, Prüfungen, Instandhaltungen etc. sollte in einem Betriebs- und Wartungsbuch erfolgen.

Für die **Betriebsanweisung** (nach Muster-VAwS) kommen insbesondere folgende Punkte in Betracht:

1. Überwachungsplan

Betriebliche Überwachungsmaßnahmen (§ 1 Abs. 2, Satz 1 und § 2 VAwS 2010 und Überprüfung durch Sachverständige (§ 23 Muster-VAwS), Terminüberwachung, Mängelbeseitigung

2. Instandhaltungsplan (§ 62 WHG Abs. 4 Punkt 5 und § 1 Abs. 2 VAwS 2010)

Wartungsmaßnahmen, regelmäßige und besondere Instandhaltungsmaßnahmen.

3. Alarmplan

Meldewege und Maßnahmen im Schadensfall (§ 8 Abs. 1 Muster-VAwS)

4. Sonderregelungen

Befüllen von Anlagen (§ 20 Muster-VAwS), Beseitigung von Niederschlagswasser und von wassergefährdenden Stoffen aus Auffangräumen und von Auffangflächen, Einleitung wassergefährdender Stoffe in Abwasseranlagen (§ 21 Muster-VAwS), Fachbetriebspflicht (§ 1 VAwS 2010 Abs. 1 Abs. 1, § 3 VAwS 2010 und § 24 Muster-VAwS) und Sonderanforderungen in Schutzgebieten (§ 10 Muster-VAwS, Schutzgebietsverordnung)

Generell sind zusätzlich die Anforderungen zur Löschwasser-Rückhaltung zu beachten. Im Brandfall können im Löschwasser wassergefährdende Stoffe, die am Brandort bereits vorhanden oder durch den Brand entstehen sowie wassergefährdende Inhaltsstoffe von Feuerlöschmitteln enthalten sein. Um im Brandfall zu vermeiden, dass Gewässer und/ oder Boden durch das Löschwasser geschädigt werden, ist das Löschwasser kontrolliert zu entsorgen; dazu ist das Löschwasser in geeigneten Anlagen zurückzuhalten. Die Vorgaben zur Bemessung der Löschwasser-Rückhaltung sind in den Löschwasser-Rückhalte-Richtlinien (LöRüRI) der Bundesländer geregelt, die Anforderungen gelten in Abhängigkeit von den Mengen und Wassergefährdungsklassen der gelagerten Stoffe.

Bestellung von Gewässerschutzbeauftragten

Bei besonders relevanten Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen, die täglich mehr als 750 m³ Abwasser einleiten dürfen, sind ein oder mehrere Gewässerschutzbeauftragte nach (§ 64 Abs. 2 WHG) zu bestellen.

Prüfung bei Stilllegung der Anlage Es ist zu prüfen, ob die Anlage einschließlich aller Anlagenteile entleert und gereinigt ist und ob Anhaltspunkte für Boden- oder Grundwasser-Verunreinigungen vorliegen. Es ist i. d. R. nicht erforderlich, die Anlage abzubauen oder auf andere Weise unbrauchbar zu machen, falls dies nicht aus anderen Gründen, wie aus Gründen

des Brand- und Explosionsschutzes oder der Standsicherheit geboten ist. Befüllstutzen sind vorsorglich abzubauen oder gegen irrtümliche Benutzung zu sichern. Nach Durchführung der Prüfung und Beseitigung evtl. Mängel handelt es sich nicht mehr um eine prüfpflichtige Anlage nach § 62 WHG.

Ausblick Mit Inkrafttreten des novellierten WHG zum 01.03.2010 hat der Verordnungsgeber in § 62 Abs. 4 die Grundlage für eine bundesweit gültige Anlagenverordnung geschaffen, die die bisherigen Länder-VAwSen ablösen soll. Mit der AwSV (Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen), die zum Redaktionsschluss lediglich als Referentenentwurf vorlag, sollen Regelungsinhalte zur Eigen-, und Fremdüberwachungspflicht sowie der Fachbetriebspflicht, welche bislang im WHG geregelt waren in die AwSV übernommen werden. Neben der Schaffung eines bundeseinheitlichen Standards der Anforderungen, die im Vergleich zu vielen Bundesländerregelungen eine Standardverschärfung darstellen, soll auch der Anwendungsbereich der Verordnung erweitert werden. Aus Sicht der Eisenbahninfrastrukturbetreiber werden insbesondere die fehlende Regelung zum Bestandsschutz sowie die Erhöhung der baulichen Anforderungen an Umschlaganlagen als kritisch gesehen.

19.2.3 Innenreinigungsanlagen

In der Ril 880.1040 (Entwurf) der DB AG sind die gesetzlichen und technischen Bestimmungen zum Gewässer- und Bodenschutz und zur Organisation der Reinigung von Fahrzeugen erläutert.

Die Prozesse (Reinigungsarten und zusätzlich erforderliche Behandlungen) werden in Innenreinigungsanlagen (IRA) durchgeführt und sind in Tab. 19.8 beschrieben.

Zusätzliche Behandlungen zu den Reinigungsarten IB und IT können sein:

- Bremsprüfung,
- Beleuchtung/Zugvorheizung/Klimatisierung,
- Desinfektion,
- manuelle Außenreinigung,

Tab.19.8 Reinigungsarten und -rhythmus (nach Ril 910.1004)

| Reinigungsart | Reinigungsrhythmus | |
|--|------------------------|--|
| <i>Fristen der Tages- und Grundreinigungsarten</i> | | |
| Bedarfsreinigung | IBF | nach jeder Wende (bedarfsorientiert) |
| | IBK | bedarfsorientiert |
| | IB | |
| Tagesreinigung | ITF | DB Fernverkehr - 1mal pro Tag |
| | IT | DB Regio - 1mal pro Tag |
| | ITK | Küchentagesreinigung |
| Grundreinigung | IGF | DB Fernverkehr spätestens nach 10 Wochen |
| | IG | DB Regio spätestens nach 8 Wochen |
| | IGK | Küchengrundreinigung |
| International | RIC | nach Vorgaben RIC |
| <i>Fristen der zugehörigen Module</i> | | |
| Teppiche | Trockenpulverreinigung | TP bedarfsorientiert |
| | Rotowashverfahren | TR nach 7 Laufplantagen / Einsatztagen |
| | Imprägnieren | TI nach 21 Laufplantagen / Einsatztagen |
| | Sprühextrahieren | TE bedarfsorientiert |
| Polster | Shampooieren | PS nach 6 Monaten |
| | Sprühextrahieren | PE jede 2. PE kann eine PS sein |
| Fußboden | Nassreinigung | FN nach 7 Laufplantagen / Einsatztagen |
| Glas | | GN |
| Deckenreinigung | | DN nach 12 Monaten |
| Entsorgung | | E spätestens am 3. Tag |
| Außenreinigung (maschinell) | | MA 1-2 mal pro Woche |

- Trinkwasserversorgung,
- Energieversorgung,
- Abfallsammlung/-entsorgung,
- Abschlussprüfung.

Die Anforderungen und Ausrüstungen der IRA sind in Abhängigkeit von Reinigungsart und den hierzu durchzuführenden Arbeiten (Geräte- und Maschineneinsatz, eingesetzte Reinigungsmittel) zu bestimmen. Um bei Einleitungen in öffentliche Mischwassersammler die gesetzlich festgelegten Grenzwerte (Indirekteinleiter-Verordnung des jeweiligen Bundeslandes) einzuhalten, müssen Abwasseranlagen und ggf. auch Abwasserbehandlungsanlagen vorgesehen werden.

Innenreinigungsanlagen für Arbeiten der Tagesreinigung (IT) müssen über einen Kanalschluss verfügen. Da ab der Grundreinigung (IG) im Regelfall industriell/gewerbliches Abwasser anfällt, sind die IRA mit einer entsprechenden Behandlungsanlage auszurüsten. Vor der Einleitstelle in den öffentlichen Schmutz- oder Mischwasserkanal muss auf jeden Fall ein Übergabeschacht vorhanden sein.

Fäkalabwässer aus Sammelbehältern geschlossener WC-Anlagen

Die Entsorgung von Fäkalabwässern in Reinigungs- und Behandlungsgleisen erfolgt mittels stationärer (ortsfester) Entsorgungsanlagen, s. Abb. 19.3. Die Fäkalabwässer sollen kontinuierlich über ein Speicherbecken ohne Vorbehandlung in den öffentlichen Sammelkanal eingeleitet werden.

Bei Bedarf (z. B. bei zu erwartender Grenzwertüberschreitung) muss eine Abwasserbehandlung vorgesehen werden.

Industrielles/gewerbliches Abwasser (IW)

Industrielles/gewerbliches Abwasser entsteht bei Innenreinigungsarbeiten ab der Reinigungsart Grundreinigung. Diese Abwässer können u. a. mit Schwermetallen (insbesondere Eisen, Zink, Kupfer, teilweise Blei), mit hohen Phosphor-, CSB- und BSB-5-Gehalten belastet und stark alkalisch sein und enthalten darüber hinaus Schweb- und Sinkstoffe. Es fällt aus folgenden Bereichen und Stellen an:

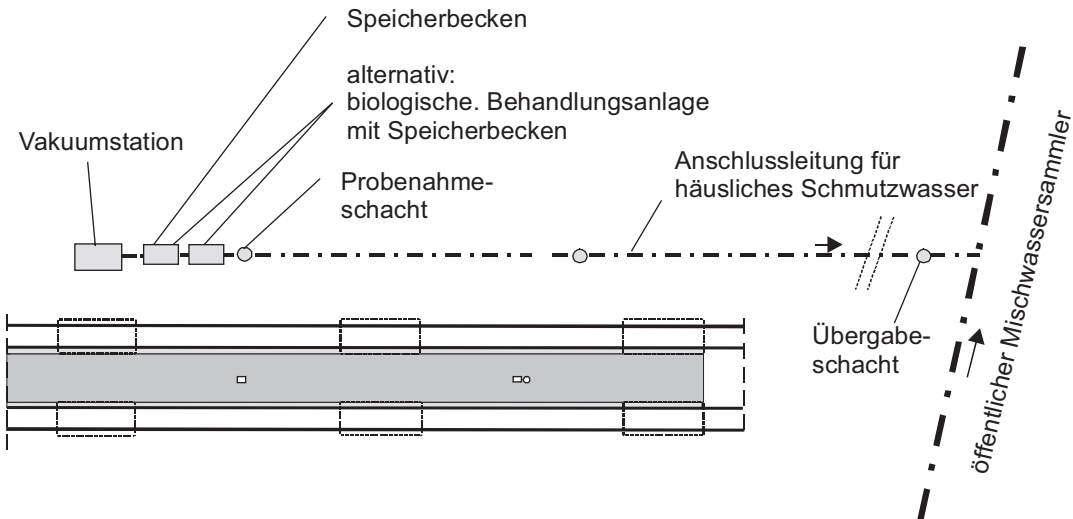


Abb. 19.3 Abwasserentsorgung bei geschlossenen WC-Anlagen. (Aus: Entwurf Ril 880.1040)

- Schmutzflotten aus der Reinigung von Glas-, Wand-, Türflächen, Böden und Einbauten der Fahrzeuge. Die Abwässer gelangen aus Eimern oder Nassaugern und deren Entleerung in die auf den Bühnen befindlichen Einfüllstellen (Ausgüsse) in die Entwässerungsleitung,
- Schmutzflotten aus der Reinigung von Böden und Podesten,
- Schüttverluste aus Schmutzflotten auf der Bühne und Oberflächenwasser aus dem Bereich unter/auf der Bühne.

Geringe Abwassermengen aus vorgenannten Bereichen sollen über eine eigene Sammelleitung für industrielles/gewerbliches Abwasser einem Auffangbecken zugeführt und anschließend geleert und entsorgt werden, s. Abb. 19.4.

Eine Behandlung der Abwässer vor Einleitung in den öffentlichen Kanal zur Einhaltung der Grenzwerte kommunaler Abwassersatzungen umfasst i. d. R. das Entfernen von absetzbaren Stoffen in einem ausreichend bemessenen und dimensionierten Absetzbecken und das Reinigen in einer anschließenden chemischen Abwasserbehandlungsanlage (Flockungs- und Fällungsstufe sowie Neutralisation).

19.2.4 Genehmigungspflichtige Anlagen nach der 4. BImSchV

Das Bundes-Immissionschutzgesetz (BImSchG) unterscheidet zwischen genehmigungsbedürftigen (§ 4) und nicht genehmigungsbedürftigen (§ 22) Anlagen. Der Anlagenbegriff ist in § 3 Abs. 5 BImSchG definiert und umfasst folgende Anlagen:

- Betriebsstätten und sonstige ortsfeste Einrichtungen,
- Maschinen, Geräte und sonstige ortsveränderliche technische Einrichtungen sowie Fahrzeuge, soweit sie nicht der Vorschrift des § 38 BImSchG unterliegen,
- Grundstücke, auf denen Stoffe gelagert oder abgelagert oder Arbeiten durchgeführt werden, die Emissionen verursachen können, ausgenommen öffentliche Verkehrswege.

Weil es sich beim dem BImSchG um eine anlagenbezogene Vorschrift handelt, werden gemäß § 2 Abs. 1 Nr. 4 öffentliche Straßen und Schienenwege nur von den Regelungen der §§ 41–43 BImSchG erfasst. Diese Regelung gilt jedoch nicht für Nebenanlagen des Schienenweges (Serviceeinrichtungen), auf die die anlagenbezogenen Vorschriften des BImSchG sowohl bei den materiellen als auch formellen Anforderungen Anwendung finden (Jürgens 2012).

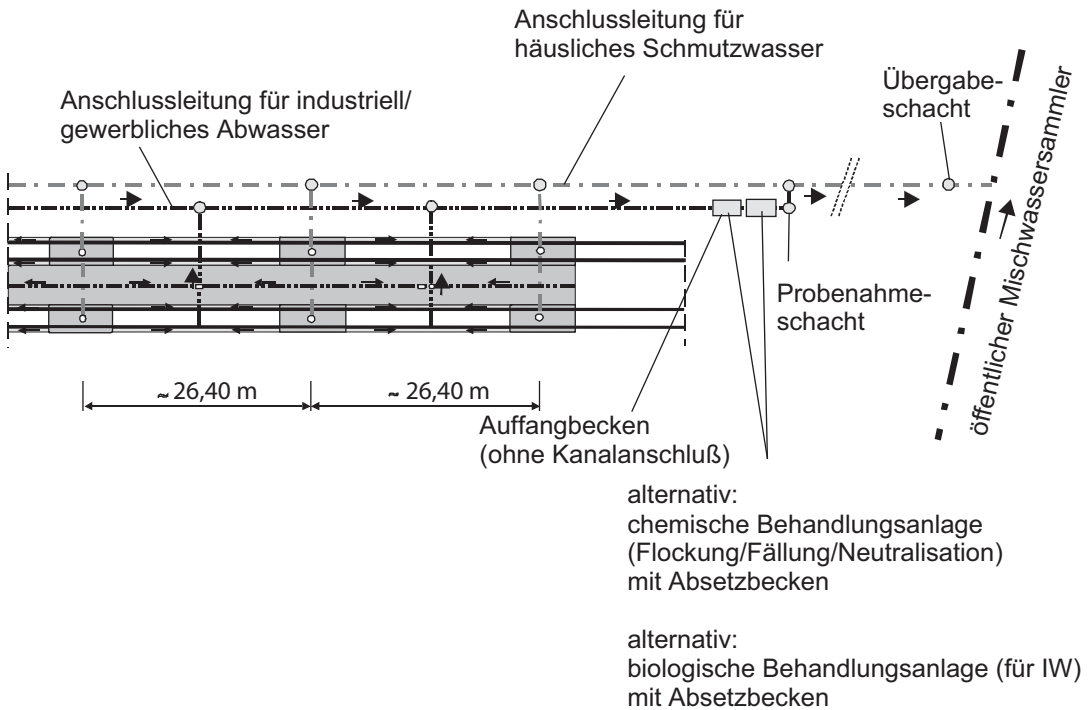


Abb. 19.4 Abwasserentsorgung der industriellen/gewerblichen Abwässer. (Aus: Entwurf Ril 880.1040)

Genehmigungsbedürftig sind Anlagen, die im Anhang der vierten Verordnung zur Durchführung des BImSchG (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen – 4. BImSchV) aufgeführt sind. Die Genehmigung umfasst die Errichtung, den Betrieb sowie die Stilllegung der Anlage.

Bei der Einstufung der Anlage in den Geltungsbereich der 4. BImSchV ist zu prüfen, ob die betreffende Anlage im Anhang zur 4. BImSchV Spalten C und D aufgeführt ist und ob sie nach Leistungsgrenze oder Anlagengröße die dort angegebenen Werte erreicht bzw. überschreitet. Anlagen der Spalte D unterliegen zusätzlich den Anforderungen der IED Ril. (2010/75/EU).

Die Genehmigungspflicht ist gegeben, soweit den Umständen nach zu erwarten ist, dass die Anlage länger als 12 Monate, die auf die Inbetriebnahme folgen und an demselben Ort betrieben wird (§ 1, 4. BImSchV). Eine zeitweise Einstellung des Betriebs unterbricht die Zwölfmonatsfrist nicht.

Nicht genehmigungsbedürftige Anlagen im Sinne des § 22 BImSchG sind alle Anlagen, die nicht im Anhang der Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen (4. BImSchV) aufgeführt sind oder die die in der 4. BImSchV genannten maßgeblichen Leistungsgrenzen unterschreiten sowie sonstige ortsfeste oder ortsveränderliche emissionserzeugende Einrichtungen und Verfahrensprozesse.

Für eine nicht genehmigungsbedürftige Anlage ist keine immissionsschutzrechtliche Genehmigung nach dem BImSchG erforderlich, gegebenenfalls ist aber eine Genehmigung nach einer anderen Rechtsvorschrift erforderlich – insbesondere etwa nach Baurecht der Länder bzw. bei Betriebsanlagen der Eisenbahn nach § 18 AEG kann dies zu treffen. Nicht genehmigungsbedürftige Druckbehälter, Lageranlagen für Druckgasbehälter fallen unter das Gesetz über die Bereitstellung von Produkten auf dem Markt (Produktsicherheitsgesetz – **ProdSG**).

Für genehmigungsbedürftige Anlagen (z. B. Lager für brennbare Gase für Weichenheizun-

gen (WHZ) > 3 t Lagervolumen) ist ein Verfahren zur Erteilung einer Genehmigung (nach § 10 BImSchG) für die Errichtung und zum Betrieb, zur wesentlichen Änderung der Lage oder der Beschaffenheit oder des Betriebes (Änderungsgenehmigung) nach den Bestimmungen der Verordnung über das Genehmigungsverfahren (9. BImSchV) sowie den Richtlinien für die Planfeststellung und Plangenehmigung von Betriebsanlagen der Deutsche Bahn AG (Planfeststellungsrichtlinien) des Eisenbahn-Bundesamtes durchzuführen. Das Gleiche gilt für die Errichtung oder für den Betrieb einer Anlage oder eines Teils einer Anlage oder zur Errichtung und zum Betrieb eines Teils einer Anlage (Teilgenehmigung), eines Vorbescheides oder einer Zulassung des vorzeitigen Beginns.

Fällt der Betrieb der Anlage unter eine bestehende oder noch zu beantragende Planfeststellung, ist eine gesonderte immissionsschutzrechtliche Genehmigung nicht erforderlich. Im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens werden die materiellen Vorgaben des BImSchG mit berücksichtigt. Der Planfeststellungsbeschluss hat eine sog. Konzentrationswirkung.

Genehmigungsverfahren lassen sich unterscheiden in:

- das vollständige (förmliche) Genehmigungsverfahren (§ 10 BImSchG), welches unter Beteiligung der Öffentlichkeit für Anlagen durchzuführen ist, die mit G im Anhang 1 der 4. BImSchV gekennzeichnet sind und
- das vereinfachte Genehmigungsverfahren (§ 19 BImSchG), welches ohne Beteiligung der Öffentlichkeit für alle anderen Anlagen durchzuführen ist.

Die Änderung der Lage, der Beschaffenheit oder des Betriebes einer genehmigungsbedürftigen Anlage ist bei möglichen Auswirkungen auf die in § 1 BImSchG genannten Schutzgüter mindestens einen Monat, bevor mit der Änderung begonnen werden soll, der zuständigen Behörde schriftlich anzuzeigen (§ 15 BImSchG). Sie bedarf der Genehmigung, wenn durch die Änderung nachteilige Auswirkungen hervorgerufen werden können und diese für die Prüfung der Betreiberpflichten erheblich sein können (§ 16 BImSchG).

Maßgebend für eine wesentliche Änderung ist, ob nachteilige Auswirkungen hervorgerufen werden können. Genehmigungsbedürftige wesentliche Änderungen wären z. B. der Bau eines neuen Betriebsgebäudes oder die Erweiterung eines Flüssiggaslagers für Weichenheizungen (WHZ).

Der Betreiber ist zur Begrenzung der Emissionen, die nach dem Stand der Technik vermeidbar sind, durch anlagenbezogene Maßnahmen verpflichtet. Hiernach sind alle möglichen und zumutbaren emissionsmindernden Maßnahmen auszuschöpfen. Kriterien zur Bestimmung des Standes der Technik (§ 3 Abs. 6 BImSchG) sind dem Anhang zum BImSchG zu entnehmen. Diese Vorgaben werden in spezifischen Rechtsverordnungen (z. B. 1., 7. oder 31. BImSchV) sowie, soweit vorhanden, in der jeweiligen Genehmigung (Baugenehmigung, Plangenehmigung) festgelegt.

Des Weiteren ist der Betreiber verpflichtet, die Immissionen auf ein Mindestmaß (Beschränkungsgebot) zu reduzieren. Hierbei handelt es sich um Maßnahmen, die über den Stand der Technik hinausgehen und nicht nur anlagenbezogen sind. Mögliche Maßnahmen können vor allem auch rein immissionsbegrenzende Vorkehrungen sein (Schutzabstände, Bepflanzungen, Wahl des Aufstellortes störender Maschinen oder Anlagenteile etc).

Insgesamt sind folgende Betreiberpflichten beim Betrieb nicht genehmigungsbedürftiger Anlagen zu berücksichtigen (§ 23 BImSchG):

- Umsetzen der Anforderungen, die aufgrund konkreter Rechtsverordnungen (BImSchVen) an die Errichtung, die Beschaffenheit und den Betrieb nicht genehmigungsbedürftiger Anlagen gestellt werden,
- Einhalten sämtlicher Auflagen aus Genehmigungen, behördlichen Anordnungen und deren Dokumentation,
- Nachkommen der Anzeigepflichten gegenüber den zuständigen Behörden, soweit dies Vorgaben der Behörde sind oder in der jeweiligen konkreten Verordnung vorgeschrieben wird (z. B. 1. BImSchV, 7. BImSchV)

- Beachten der Kriterien des Anhangs BImSchG zur Bestimmung des Standes der Technik – z. B. Ermittlung der „Art, Auswirkungen und Menge der jeweiligen Emissionen“.

Mitteilungspflichten gegenüber der Behörde Für immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftige Anlagen schreibt § 52a BImSchG (Mitteilungspflichten) für Kapitalgesellschaften, deren vertretungsberechtigtes Organ aus mehreren Mitgliedern besteht, Mitteilungen an die zuständige Behörde mit Benennung des im Organ verantwortlichen Betreibers und Angaben zur Betriebsorganisation vor.

Emissionserklärung Für genehmigungsbedürftige Anlagen sind der nach Landesrecht zuständigen Behörde Angaben darüber zu machen, welche Luftverunreinigungen von der Anlage nach

- Art, Menge,
 - räumlichen und zeitlichen Verteilung und
 - unter welchen Austrittsbedingungen
- in einem bestimmten Zeitraum ausgegangen sind. Die Emissionserklärung soll die Aufstellung eines Emissionskatasters in den durch Rechtsverordnung festgesetzten Untersuchungsgebieten ermöglichen und dient der Behörde gleichzeitig als Überwachungsinstrument.

Die rechtlichen Grundlagen ergeben sich aus dem BImSchG; insbesondere § 27 – Emissionserklärung – in Verbindung mit der 4. BImSchV und der Emissionserklärungsverordnung (11. BImSchV). Der Inhalt einer Emissionserklärung ist in den Anhängen 1 und 2 zur 11. BImSchV dargestellt.

Zur Abgabe der Emissionserklärung ist verpflichtet, wer die Anlage im Erklärungszeitraum betrieben hat. Bei einem Betreiberwechsel hat jeder Betreiber für den Teil des Kalenderjahres, in dem die Anlage von ihm betrieben wurde, die Erklärung abzugeben, sofern keine gemeinsame Emissionserklärung abgegeben wird.

Für die erklärungspflichtigen Anlagen wurde als Erklärungszeitraum das geradzahlige Kalenderjahr festgelegt (alle 2 Jahre ab 1992). Die Emissionserklärung ist vom Betreiber jeweils bis zum 30. April des dem Erklärungszeitraum folgenden Kalenderjahres abzugeben (jeweils un-

gerade Jahreszahl). Die Emissionserklärung ist (nach § 5 der 11. BImSchV) alle 4 Jahre nach den Anforderungen der 11. BImSchV zu ergänzen. Verfahren zur Ermittlung der Emissionen sind in der 11. BImSchV genauer dargestellt.

Genehmigungsbedürftige Anlage stilllegen Die Einstellung des Betriebs (Stilllegung) einer genehmigungsbedürftigen Anlage ist der zuständigen Behörde unter Angabe des Zeitpunktes der Einstellung unverzüglich anzuzeigen.

Hat ein Betreiber die Absicht, den Betrieb einer immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftigen Anlage einzustellen, so muss er dies unverzüglich der Überwachungsbehörde unter Bekanntgabe des Zeitpunktes der Betriebseinstellung anzeigen (§ 5 Abs. 3 BImSchG). Die Anzeigepflicht betrifft die in der 4. BImSchV genannten Anlagen.

Eine Pflicht zur Anzeige besteht auch bei der Stilllegung von Anlagen, die als gemeinsame Anlage gemäß § 1 Abs. 3 der 4. BImSchV genehmigungsbedürftig sind, sowie von solchen Teilen oder Nebeneinrichtungen, bei denen die gesonderte Genehmigungsbedürftigkeit lediglich aufgrund von § 1 Abs. 4 der 4. BImSchV entfallen ist.

Betriebsbereiche (Störfallverordnung – 12. BImSchV) Ermittelte störfallrelevante Betriebsbereiche sind der zuständigen Behörde durch den Betreiber schriftlich anzuzeigen. Ein Betriebsbereich ist (nach § 3 Abs. 5a BImSchG) definiert als *„der gesamte unter der Aufsicht eines Betreibers stehende Bereich, in dem gefährliche Stoffe in einer oder mehreren Anlagen einschließlich gemeinsamer oder verbundener Infrastrukturen und Tätigkeiten einschließlich Lagerung in Mengen tatsächlich vorhanden sind (oder vorgesehen sind oder vorhanden sein werden), soweit davon auszugehen ist, dass die genannten gefährlichen Stoffe bei einem außer Kontrolle geratenen industriellen chemischen Verfahren anfallen“*. Dieser fällt in den Anwendungsbereich der Störfallverordnung, wenn gefährliche Stoffe in Mengen vorhanden sind, die die in Anhang I Spalte 4 (der 12. BImSchV) genannten Mengenschwellen erreichen oder überschreiten.

Der Betreiber eines störfallrelevanten Betriebsbereiches hat ein schriftliches Konzept zur Verhinderung von Störfällen sowie Darlegungen zum Sicherheitsmanagement (Sicherheitsbericht) auszuarbeiten, die Umsetzung des Konzeptes sicherzustellen und für die zuständigen Behörden verfügbar zu halten.

19.2.5 Trinkwasser-Befüllungsanlagen

Die Anforderungen an das Betreiben von ortsfesten/mobilen Anlagen zur Trinkwasserversorgung von Schienenfahrzeugen im Bereich der Eisenbahnen des Bundes (Trinkwasser-Befüllungsanlagen) sind in Anhang I der Verwaltungsvorschrift des EBA in der jeweils gültigen Fassung zur Wahrnehmung der behördlichen Aufsicht gemäß § 72 Infektionsschutzgesetz (IfSG) festgelegt.

Demnach ist dem EBA die geplante Errichtung, die erstmalige Inbetriebnahme und die Wiederinbetriebnahme, entsprechend Anlage 1 des Anhang I, einer Trinkwasserfüllanlage spätestens 4 Wochen vorher anzuzeigen. Des Weiteren sind bauliche Änderungen an wasserführenden Teilen, die eine Auswirkung auf die Wasserbeschaffenheit haben können, und der Übergang des Eigentums oder der Nutzungsrechte auf eine andere Person anzuzeigen.

Es ist eine Betriebsanweisung auf Grundlage der VV IfSG des EBA (Anhang I) zu erstellen. Die mit der Bedienung der Anlage beauftragten Personen sind vor Inbetriebnahme und anschließend jährlich zu unterweisen und die Unterweisung zu dokumentieren.

Die Überprüfung der Wasserversorgungsanlagen ist gemäß VV IfSG des EBA (und bei Anlagen der DB AG auch gemäß Hygieneüberwachungsprogramm der DB) durchzuführen. Es sind mikrobiologische Trinkwasseruntersuchungen bei:

| | |
|---|---|
| WFA 1 bis 5 Trinkwasserfüllstellen: | 2 Trinkwasserfüllstellen/ Halbjahr |
| WFA 6 bis 13 Trinkwasserfüllstellen: | 3 Trinkwasserfüllstellen/ Halbjahr |

| | |
|--|---|
| WFA ab 14 Trinkwasserfüllstellen: | jede 4. Trinkwasserfüllstellen/ Halbjahr |
|--|---|

und eine chemische Untersuchung pro Trinkwasser-Befüllungsanlage durchzuführen. Bei Inbetriebnahme der Anlage sind die Untersuchungsergebnisse dem EBA vorzulegen.

Die Untersuchung bei mobilen Trinkwasser-Befüllungsanlagen ist vierteljährlich durchzuführen.

Die Desinfektion der Trinkwasserschläuche ist halbjährlich durchzuführen (Nachweisführung).

Das EBA führt eine Prüfung der Wasserfüllanlage durch. Die Dokumente sind vom Betreiber und vom EBA 10 Jahre aufzubewahren.

Bei Nichteinhaltung der mikrobiologischen bzw. chemischen Parameter (siehe Tab. 19.9) sind gemäß dem EBA Bescheid „Durchführung von Maßnahmen gemäß § 9 der Trinkwasserverordnung (Maßnahmeplan bei Parameterüberschreitungen)“ die geforderten Maßnahmen durchzuführen. Diese sind im

Die vollständige oder teilweise Stilllegung einer Wasserversorgungsanlage ist dem EBA innerhalb von 3 Tagen anzuzeigen.

19.2.6 Strahlenschutz

Rechtsgrundlagen und Regelwerk Die wesentlichen rechtlichen Grundlagen des Strahlenschutzes sind

- Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz – AtG) mit den darauf gründenden Rechtsverordnungen,
- Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) und
- Röntgenverordnung (RöV).

Aufbauorganisation des Strahlenschutzes Im Strahlenschutz sind folgende wesentlichen Funktionen definiert:

Strahlenschutzverantwortlicher (SSV) ist gemäß § 31 StrlSchV, wer einer Genehmigung zum Umgang (u. a. Gewinnung, Erzeugung, La-

Tab. 19.9 Mikrobiologische und chemische Trinkwasseruntersuchungen bei mobilen/ortsfesten Trinkwasser-Befüllungsanlagen

| Parameter | Grenzwert | Untersuchungsturnus |
|--|------------------------------|---------------------|
| <i>I. Routinemäßige Untersuchungen</i> | | |
| Coliforme Bakterien | 0 KBE*/100 ml | Halbjährlich |
| Escherichia coli | 0 KBE/100 ml | Halbjährlich |
| Koloniezahl bei 22°C | 1000 KBE/ml | Halbjährlich |
| Koloniezahl bei 36° C | 100 KBE/ml | Halbjährlich |
| Pseudomonas aeruginosa ** | 100 KBE/100 ml | Jährlich |
| Trübung | 1,0 NTU | Halbjährlich |
| Färbung | 0,5 m-1 | Halbjährlich |
| Wasserstoffionen-Konzentration | ≥ 6,5 und ≤ 9,5 pH-Einheiten | Halbjährlich |
| Geruch | TON | Halbjährlich |
| Geschmack | | Halbjährlich |
| Mangan | 0,05 mg/l | Jährlich |
| Eisen | 0,2 mg/l | Jährlich |
| <i>II. Umfassende Untersuchungen</i> | | |
| Enterokokken | 0 KBE/100 ml | Halbjährlich |
| Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe | 0,0001 mg/l | Jährlich |
| Blei | 0,010 mg/l | Jährlich |
| Benzo-(a)-pyren | 0,00001 mg/l | Jährlich |
| Trihalogenmethane*** | 0,05 mg/l | Halbjährlich |

* KBE – koloniebildende Einheiten

** Pseudomonas aeruginosa nur bei mobilen WFA

*** nur bei kontinuierlich betriebenen Anlagen zur Desinfektion des Trinkwassers

gerung, sonstige Verwendung und Beseitigung von radioaktiven Stoffen) bedarf oder eine Anzeige zu erstatten hat und gemäß § 13 RöV, wer einer Genehmigung zum Betreiben einer Röntgeneinrichtung bedarf oder eine Anzeige nach § 4 RöV zu erstatten hat.

Der SSV ist eine juristische Person mit Geschäftsführungsbefugnis (Mitglied eines Vorstandes oder einer Geschäftsführung).

Der **Strahlenschutzbevollmächtigte (SSBv)** ist eine vom Strahlenschutzverantwortlichen (SSV) gemäß § 164 BGB schriftlich benannte Person, die mit der Durchführung der Aufgaben des SSV beauftragt ist. Der SSBv besitzt Weisungsrecht, organisiert und kontrolliert den Strahlenschutz und ist Ansprechpartner gegenüber den atomrechtlichen Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden.

Strahlenschutzbeauftragte (SSBa) sind gemäß § 31 StrlSchV oder § 13 RöV schriftlich bestellte Mitarbeiter, die für den Strahlenschutz im Rahmen ihres betrieblichen Entscheidungsbereiches verantwortlich und weisungsbefugt sind.

Im DB Konzern wird der SSBa vom SSBv im Namen des jeweiligen SSV bestellt.

Physikalische Grundlagen Die Atomkerne bestimmter chemischer Elemente haben die Eigenschaft, sich von selbst, ohne äußere Einwirkung, umzuwandeln. Dabei wird energiereiche Strahlung ausgesandt. Diese Eigenschaft wird als Radioaktivität und solche chemischen Elemente werden als radioaktiv bezeichnet.

Die Geschwindigkeit des Zerfalls sowie die Art und Energie der dabei ausgesandten Strahlung sind für jedes dieser radioaktiven Elemente spezifisch und nicht beeinflussbar. Die Strahlung ist ständig vorhanden; sie lässt sich nicht abschalten; ist nicht direkt wahrnehmbar (außer an ihrer späteren Wirkung), sondern nur mit speziellen Detektoren bzw. Messgeräten nachzuweisen.

Energereiche Strahlung besitzt die Fähigkeit, die Atome der Materie zu ionisieren (elektrisch leitend machen). Bei diesem Ionisierungsvorgang werden Elektronen von der Hülle der getroffenen Atome abgelöst. Diese Elektronen la-

gern sich an neutrale Atome oder Moleküle an, so dass sich positive und negative Ionen bilden.

Die freiwerdende Strahlung wird im Wesentlichen in Alpha (α -), Beta (β -), Gamma (γ -) und Neutronen (n)- Strahlung unterschieden.

Röntgenstrahlung wird in speziellen Einrichtungen (z. B. Röntgenröhre) erzeugt und entsteht, wenn beschleunigte Elektronen hoher Energie auf Materie treffen und abgebremst werden.

α -Strahlen bestehen aus beschleunigten Heliumkernen und besitzen eine positive Ladung. Sie haben nur eine geringe Reichweite (z. B. in Luft etwa 40–60 mm). Entsprechend gering ist ihre Durchdringungsfähigkeit bei anderen Stoffen. Bereits die Dicke einer Postkarte genügt zur Abschirmung.

β -Strahlen sind schnell bewegte Elektronen und werden beim radioaktiven Zerfall des Atomkerns gebildet. Ihre Reichweite in der freien Luft beträgt bis zu einige Meter. Zur vollständigen Abschirmung genügen einige Millimeter Plexiglas oder Aluminium.

γ -Strahlen sind elektromagnetische Wellen hoher Energie. Während α - und β -Strahlen ihre Energie längs ihrer Bahn durch sehr viele Ionisierungsvorgänge abgeben, verlieren die γ -Strahlen durch einzelne Elementarprozesse ihre Energie. Die γ -Strahlen haben aus diesem Grund eine sehr große Durchdringungsfähigkeit. Sie lassen sich nur durch Material hoher Dichte (z. B. Blei) ausreichend abschirmen.

n-Strahlen entstehen bei Kernprozessen. Sie bestehen aus elektrisch neutralen Teilchen. Beim Durchgang durch Materie treten sie in Wechselwirkung mit den Atomkernen und ionisieren auf indirektem Wege. Neutronenstrahlung hat in der Luft eine Reichweite von einigen

hundert Metern. Ihre Durchdringungsfähigkeit des menschlichen Gewebes entspricht etwa der von γ -Strahlung.

Röntgenstr. ist eine kurzwellige, durchdringende, elektromagnetische Strahlung. Die Durchdringungsfähigkeit des menschlichen Gewebes entspricht etwa der von γ -Strahlung.

Umgang mit Ionisationsrauchmeldern Organisationseinheiten der Eisenbahninfrastruktur sind in Zusammenhang mit Strahlenschutz im Wesentlichen bei installierten Brandmeldeanlagen mit Ionisationsrauchmeldern (IRM) betroffen, s. Tab. 19.10. Diese Melder enthalten zur Ionisierung der in ihren Kammern befindlichen Luft einen schwach radioaktiven Stoff (vorwiegend Americium – (Am) 241 oder bei IRM älterer Bauart Radium- (Ra) 226). Bei Eindringen von Rauchaerosolen in die Messkammer wird der elektrische Normwert verändert und ein Alarm ausgelöst. Aufgrund ihrer Detektoreigenschaften (gute Ansprechwahrscheinlichkeit für alle Brände) werden IRM überall dort eingesetzt, wo aufgrund des voraussichtlichen Brandverlaufs keine anderen Detektoren zu empfehlen sind. Dies trifft besonders auf Schwelbrände in elektrischen Schalträumen und Kabelkanälen zu, da IRM auch auf unsichtbaren Rauch reagieren.

Umgang mit Isotopensonden Isotopensonden dienen der schnellen Qualitätskontrolle, insbesondere auf Baustellen zur Überprüfung der Verdichtung von Planumschutzschichten und dem Feuchtigkeitsgehalt im Boden, s. Tab. 19.11. Bei diesen Sonden handelt es sich um vollautomatische mit einem Mikroprozessor ausgestattete kombinierte Aufsatz- und Einstichsonden. Die radioaktive Strahlenquelle Cäsium-137 als γ -Strahler zur Messung der Bodendichte ist in der Spitze des ausfahrbaren Sondenstabes untergebracht. Die Americium-241/Beryllium Quelle als Neutronenstrahler zur Bestimmung des Feuchtegehaltes des Bodens ist im SONDENGÄHÄUSE unter-

Tab. 19.10 Anforderungen im Zusammenhang mit IRM

| | |
|--|--|
| Strahlenschutzbeauftragter | Für den Umgang mit IRM ist ein Strahlenschutzbeauftragter (SSBa) zu bestellen. Die erforderliche Fachkunde (Fachkundegruppe S 1.3) wird durch einen 14-stündigen Lehrgang mit Abschlussprüfung erlangt und muss alle 5 Jahre aktualisiert und nachgewiesen werden |
| Qualifikation der Mitarbeiter | Tätigkeiten mit IRM dürfen nur von Mitarbeitern durchgeführt werden, die im Strahlenschutz unterwiesen sind und denen für diese Tätigkeit ein Strahlenschutzmerkblatt ausgehändigt wurde |
| Bauartzulassung | Es sollten nur solche IRM verwendet werden, für die eine Bauartzulassung gemäß § 25 StrlSchV erteilt wurde Der Einbau von IRM ohne Bauartzulassung bedarf einer Genehmigung. Installierte IRM, deren Bauartzulassung abgelaufen ist, dürfen aber weiter in der Brandmeldeanlage verwendet werden |
| Genehmigung | Für Ein-, Ausbau, Wartung und Lagerung von IRM ist eine Genehmigung nach § 7 StrlSchV erforderlich |
| Kennzeichnung | In der Regel erfolgt die Kennzeichnung der IRM mit Strahlenzeichen, dem Wort „Radioaktiv“, der Angabe von Aktivität und Radionuklid durch den Hersteller auf der Rückseite der Meldereinsätze |
| Tätigkeitsverbot | Die IRM dürfen nicht geöffnet und baulich verändert werden, da eine Gefährdung durch Aufnahme von radioaktiven Stoffen über Mund und Atemwege nicht auszuschließen ist |
| Beauftragung Dritter | Mit Wartungs- und Instandhaltungstätigkeiten dürfen nur solche Firmen beauftragt werden, die für diese Tätigkeit eine gültige Umgangsgenehmigung nach § 7 StrlSchV vorweisen können |
| Nutzung von Räumen mit IRM/Kennzeichnung | Räume, in denen bauartzugelassene IRM bestimmungsgemäß betrieben werden, sind <i>nicht</i> zu kennzeichnen und unterliegen aus Gründen des Strahlenschutzes <i>keiner Nutzungsbeschränkung</i> |
| Beförderung | Die Beförderung von IRM ist genehmigungsfrei. Die Bestimmungen des Gefahrgutrechts sind einzuhalten |
| Buchführung | Über IRM ist Buch zu führen. Die Buchführung umfasst Erwerb, Abgabe bzw. Übergabe (einschl. Entsorgung) sowie Lagerbestand |
| Verhalten bei Vorkommnisse | Bei Vorkommnissen (z. B. Diebstahl, Brand, Wasser oder sonstige Beschädigungen) ist der zuständige Strahlenschutzbeauftragte unverzüglich zu informieren. Beschädigte oder mechanisch zerstörte IRM sind unter Verwendung von Handschuhen in Plastikbeuteln einzusammeln und zusammen mit diesen Handschuhen sicherzustellen |
| Entsorgung | IRM, die nicht mehr verwendet werden, sind dem radioaktiven Abfall zuzuführen. Die Abgabe von IRM erfolgt an die Hersteller- oder Lieferfirma oder an die entsprechende Landessammelstelle |

gebracht. Das Messprinzip beruht zum einen auf der Absorption von Gamma-Strahlung und zum anderen auf der Moderation und Rückstreuung von Neutronen.

Betrieb von Röntgeneinrichtungen Röntgeneinrichtungen werden u. a. zur Grobstrukturanalyse eingesetzt, s. Tab. 19.12. Mit Hilfe der erzeugten Röntgenstrahlen können Materialfehler in Schweißverbindungen von Bauteilen an Fahrzeugen sowie Brücken bzw. Stahlbauten bestimmt werden.

19.3 Schutz vor Lärm und Erschütterungen

Bernhard Koch, Rüdiger Garburg

19.3.1 Lärm

19.3.1.1 Schienenverkehrslärm

Schienenverkehrslärm wird durch die Antriebe und Aggregate der Schienenfahrzeuge, durch das Rollgeräusch, das an der Kontaktstelle von Rad

Tab. 19.11 Anforderungen zum Umgang mit Isotopensonden

| | |
|--|--|
| Strahlenschutzbeauftragter/ Qualifikation | Für Umgang und Lagerung von Isotopensonden sind SSBa zu bestellen. Die erforderliche Fachkunde richtet sich nach den verwendeten Nukliden und Aktivitäten. Für die bei der DB AG eingesetzten Sonden sind z. Z. folgende Fachkundegruppen nachzuweisen Die bisher erworbene Fachkunde (Fkg S 2.1–14 Unterrichtsstunden) gilt unbefristet weiter Durch die, ab dem 01.10.2004 geänderte Fachkunde – Richtlinie – Technik, ist durch einen 39-stündigen Lehrgang die Fachkunde (Fkg S 2.3) zu erwerben. Beide Fkg müssen alle 5 Jahre aktualisiert und nachgewiesen werden |
| Sonst tätige Personen | Mit Isotopensonden dürfen nur Mitarbeiter umgehen, die im Strahlenschutz unterwiesen wurden |
| Genehmigung | Für den Umgang und Lagerung ist eine Genehmigung nach § 7 StrlSchV erforderlich |
| Kennzeichnung | Die Kennzeichnung erfolgt durch die Herstellerfirma. Sie enthält das Strahlenzeichen und das Wort „Radioaktiv“. Zusätzlich ist der Lagerraum bei Nichtgebrauch mit Metallprägeschilder zu versehen |
| Beförderung | Gem. § 16 StrlSchV ist der Transport von Isotopensonden genehmigungsbedürftig, eine Beförderungsgenehmigung muss vorliegen. Das Fahrzeug und die Umpackung (Kiste) sind nach den Vorschriften der Gefahrgutverordnung Straße/Eisenbahn/Binnenschiff (GGVSEB) zu kennzeichnen |
| Ermittlung der Personendosis | Beim Umgang mit Isotopensonden sind von den Mitarbeitern Film- und Stabdosimeter zu tragen |
| Buchführung | Über Messeinsätze und die ermittelte Personendosis ist Buch zu führen |
| Verhalten bei Vorkommnissen | Bei Vorkommnissen (z. B. Diebstahl, Beschädigung) ist der Konzernstrahlenschutz in Minden bzw. die zuständige Aufsichtsbehörde zu informieren |
| Dichtheitsprüfung | Jährlich ist eine Dichtheitsprüfung von einer behördlich zugelassenen Stelle durchzuführen. Bei Verdacht auf Beschädigungen des Gamma-Strahlers ist vor der Weiterverwendung eine Dichtheitsprüfung zu veranlassen |
| Entsorgung | Isotopensonden werden an die Herstellerfirma zurückgegeben |
| Verhalten auf der Baustelle | Bei Messeinsätzen auf der Baustelle ist sicherzustellen, dass den Anweisungen des Betreibers folge zu leisten ist Der Strahlenschutzbeauftragte muss beim Einsatz (je nach Genehmigungsaufgabe) anwesend bzw. kurzfristig erreichbar sein |

Tab. 19.12 Anforderungen an den Betrieb von Röntgeneinrichtungen

| | |
|------------------------------------|--|
| Strahlenschutzbeauftragte | Für den Betrieb von Röntgeneinrichtungen sind SSBa zu bestellen. Die erforderliche Fachkunde (Fkg R1.1 bzw. R1.2) wird durch einen 40-stündigen bzw. 32-stündigen Lehrgang mit Abschlussprüfung erlangt und muss alle 5 Jahre aktualisiert und nachgewiesen werden SSBa muss bei ortsveränderlichem Röntgen anwesend sein |
| Sonst tätige Personen | Röntgeneinrichtungen dürfen nur von Röntgenprüfer, die im Strahlenschutz unterwiesen wurden, betrieben werden |
| Genehmigung | Der Betrieb von Röntgeneinrichtungen bedarf der Genehmigung nach § 3 RöV |
| Meldungen | Der ortsveränderliche Betrieb ist entsprechend der Meldefrist den zuständigen Aufsichtsbehörden mitzuteilen |
| Kontroll- und Überwachungsbereiche | Der Kontrollbereich (effektive Dosis > 6 mSv im Kalenderjahr) ist mit einem geeichten Dosisleistungsmessgerät auszumessen, abzugrenzen und zu kennzeichnen; Überwachungsbereich ist festzulegen |
| Personendosismessung | An Personen, die sich im Kontrollbereich aufhalten ist die Körperdosis zu ermitteln. Es sind amtliche Dosimeter (Filmdosimeter) und zusätzlich Stabdosimeter zu tragen |
| Buchführung | Über den Betrieb der Röntgeneinrichtung und die ermittelte Personendosis ist Buch zu führen. |
| Anweisungen | Den Anweisungen des SSBa und der Röntgenprüfer ist Folge zu leisten |

und Schiene entsteht, sowie durch aerodynamische Geräusche von Fahrzeug und Stromabnehmer hervorgerufen. Bei Geschwindigkeiten unter 50 km/h dominieren die Antriebs- und Aggregatgeräusche, im Geschwindigkeitsbereich von 50 bis 250 km/h ist das Rollgeräusch die maßgebliche Lärmquelle, erst ab 250 km/h überwiegen die aerodynamischen Emissionen.

Beim Bau neuer und der wesentlichen Änderung vorhandener Schienenwege besteht ein Anspruch auf Prüfung erforderlicher Lärmschutzmaßnahmen (Lärmvorsorge). Die rechtliche Grundlage hierfür ist das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) in Verbindung mit der 16. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung – 16. BImSchV).

Eine wesentliche Änderung ist dann gegeben,

- wenn ein Schienenweg um ein oder mehrere durchgehende Gleise baulich erweitert wird,
- durch einen erheblichen baulichen Eingriff der von dem zu ändernden Verkehrsweg ausgehende Lärm um mindestens 3 Dezibel (A) steigt,
- durch einen erheblichen baulichen Eingriff der von dem zu ändernden Verkehrsweg ausgehende Lärm auf mindestens 70 Dezibel (A) am Tag oder auf mindestens 60 Dezibel (A) in der Nacht erhöht wird. Gleiches gilt für erhebliche bauliche Eingriffe, die vorhandene Lärmbelastungen von 70 Dezibel (A) und mehr am Tag oder 60 Dezibel (A) und mehr in der Nacht zusätzlich erhöhen, auch wenn eine solche Erhöhung weniger als 3 Dezibel (A) ausmacht (dies gilt nicht in Gewerbegebieten).

Das Vorliegen eines erheblichen baulichen Eingriffs ist also Ausschlag gebend dafür, ob eine wesentliche Änderung vorliegt. Nach den „Hinweisen zur Erstellung schalltechnischer Untersuchungen in der eisenbahnrechtlichen Planfeststellung“ des Eisenbahnbundesamtes (2009) ist „ein baulicher Eingriff dann erheblich, wenn hierdurch äußerlich erkennbar in die Substanz des Schienenweges, bestehend aus Oberbau, Unterbau und Oberleitung, eingegriffen wird“.

Im Weiteren werden Änderungen einer Betriebsanlage gelistet, die als erhebliche bauliche

Eingriffe einzustufen sind, und somit eine schalltechnische Untersuchung erfordern. Beispiele dafür sind:

- „erstmalige Elektrifizierung einer Strecke (wenn sich hieraus Zuggeschwindigkeiten ergeben, die mit Dieseltraktion nicht erreichbar gewesen wären),
- Änderung von Gleislage und/oder deren Gradienten (ggf. nach Einzelfallprüfung),
- Neubau einer Eisenbahnüberführung (EÜ),
- Vergrößerung der lichten Weite oder lichten Höhe einer EÜ durch Änderung der Gradienten des Schienenwegs,
- Neubau eines Bahnübergangs (BÜ),
- Ersatz von Schwellengleis durch Feste Fahrbahn.

Darüber hinaus stellt auch der Neubau von Überholungs-, Bahnsteig- oder Ausziehgleisen einen erheblichen baulichen Eingriff dar, da es sich hierbei nicht um die Erweiterung eines Schienenweges um durchgehende Gleise im Sinne von § 1 Abs. 2 Nr. 1 16. BImSchV handelt.

Keine erheblichen baulichen Eingriffe hingegen sind:

- Einbau von Weichen, soweit kein kausaler Zusammenhang mit anderen erheblichen baulichen Eingriffen besteht,
- Errichten oder Versetzen von Signalanlagen,
- Änderung einer bestehenden Fahrleitung,
- Auswechseln von Schwellen (hierzu gehört auch der Ersatz von Holz- durch Betonschwellen),
- Geschwindigkeitserhöhungen durch Änderung der Sicherungs- und Leittechnik und/oder der Fahrleitung,
- Bau eines Bahnsteigs ohne Gradienten- und/oder Lageänderung der Gleise,
- Bau bzw. Rückbau einer Bahnhofshalle,
- Errichtung oder Rückbau von Bahnsteigüberdachungen,
- Rückbau eines BÜ,
- Wiederaufbau teilungsbedingt stillgelegter Gleise ohne Gradienten- und Lageänderungen,
- Bau von Lärmschutzwänden oder -wällen,
- Verbreiterung oder Verschmälerung von Bahndämmen,
- Bau von Stützwänden,

Tab. 19.13 Immissionsgrenzwerte der 16. BImSchV bei Neubau/wesentlicher Änderung

| | Tag | Nacht |
|---|----------------|----------------|
| An Krankenhäusern, Schulen, Kurheimen und Altenheimen | 57 Dezibel (A) | 47 Dezibel (A) |
| In reinen und allgemeinen Wohngebieten und Kleinsiedlungsgebieten | 59 Dezibel (A) | 49 Dezibel (A) |
| In Kerngebieten, Dorfgebieten und Mischgebieten | 64 Dezibel (A) | 54 Dezibel (A) |
| In Gewerbegebieten | 69 Dezibel (A) | 59 Dezibel (A) |

- Einbau von Lautsprechern auf Bahnsteigen,
- Abriss nicht mehr benötigter Gebäude (z. B. Stellwerke).

Die 16. BImSchV sieht die in Tab. 19.13 aufgelisteten Immissionsgrenzwerte vor.

Der maßgebende Immissionsort richtet sich nach den Umständen des Einzelfalls. Vor Gebäuden liegt er in Höhe der Geschossdecke (0,2 m über der Fensteroberkante) des zu schützenden Raumes; bei Außenwohnbereichen liegt der Immissionsort 2 m über der Mitte der als Außenwohnbereich genutzten Fläche.

Der Beurteilungspegel für Schienenwege (Tagwert) $L_{r,T}$ ist nach Anlage 2 zur 16. BImSchV gemäß folgender Formel zu berechnen

$$L_{r,T} = L_{m,T}^{(25)} + D_{Fz} + D_{l,v} + D_{Fb} + D_{sL} + D_{BM} + D_B + S$$

Dabei bedeuten:

$L_{m,T}^{(25)}$ Mittelungspegel in dB(A) für den Tag (6.00 bis 22.00 Uhr), der gemäß einer in der 16. BImSchV dargestellten Verfahrensweise ermittelt wird. Diesem Wert liegen als Fahrbahnart das Schotterbett (Holzschwelle), eine Zuggeschwindigkeit von 100 km/h, eine Zuglänge von 100 m und eine freie Schallausbreitung zugrunde. Da diese normierten Bedingungen von der Realität abweichen, werden durch die weiteren Summanden diverse Korrekturen vorgenommen:

- D_{Fz} Korrektur zur Berücksichtigung der Fahrzeugart,
- $D_{l,v}$ Korrektur für die Zuglänge und -geschwindigkeit,
- D_{Fb} Korrektur zur Berücksichtigung unterschiedlicher Fahrbahnarten,
- D_{sL} Pegeländerung durch unterschiedliche

Abstände zwischen dem Emissionsort (Achse des betrachteten Gleises in Höhe der Schienenoberkante) und dem maßgebenden Immissionsort ohne Boden- und Meteorologiedämpfung,

D_{BM} Pegeländerung durch Boden- und Meteorologiedämpfung,

D_B Pegeländerung durch topografische Gegebenheiten, bauliche Maßnahmen und Reflexionen,

S Korrektur um minus 5 dB(A) zur Berücksichtigung der geringeren Störwirkung des Schienenverkehrslärms.

Mit dem „Elften Gesetz zur Änderung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (11. BImSchGÄndG)“ vom 05.06.2013 wurde festgelegt, dass der Korrekturfaktor von 5 dB(A) (Schienenbonus) ab dem 01. Januar 2015 nicht mehr anzuwenden ist, „soweit zu diesem Zeitpunkt für den jeweiligen Abschnitt eines Vorhabens das Planfeststellungsverfahren noch nicht eröffnet ist und die Auslegung des Plans nicht öffentlich bekannt gemacht wurde“. Damit steigt das Lärmschutzniveau faktisch um 5 dB.

Infrastrukturseitig ist vor allem die schallbezogene Auswirkung unterschiedlicher Fahrbahnarten von Interesse, also die Korrektur D_{Fb} , s. Tab. 19.14.

In Anlage 2 zur 16. BImSchV ist per Fußnote die Möglichkeit eröffnet, für Fahrbahnen, bei denen aufgrund besonderer Vorkehrungen eine weitergehende dauerhafte Lärminderung nachgewiesen ist, zusätzliche Korrekturwerte zu berücksichtigen. Hiervon wird beim „Besonders überwachten Gleis“ (BüG) Gebrauch gemacht (s. hierzu Abschn. 19.3.1.3).

Auch für Fahrzeuge ist per Fußnote die Möglichkeit eingeräumt, für Fahrzeugarten, bei denen aufgrund besonderer Vorkehrungen eine weitergehende dauerhafte Lärminderung nachgewie-

Tab. 19.14 Korrekturwert D_{Fb} für unterschiedliche Fahrbahnarten in dB(A) *

| Fahrbahnart | Korrekturwert D_{Fb} |
|---|------------------------|
| 1 Gleiskörper mit Raseneindeckung | -2 |
| 2 Schotterbett, Holzschwelle | 0 |
| 3 Schotterbett, Betonschwelle | 2 |
| 4 Nicht absorbierende feste Fahrbahn und in Straßenfahrbahnen eingebettete Gleise | 5 |

*Für Fahrbahnen, bei denen aufgrund besonderer Vorkehrungen eine weitergehende dauerhafte Lärminderung nachgewiesen ist, können die der Lärminderung entsprechenden Korrekturwerte zusätzlich zu den Korrekturwerten D_{Fb} berücksichtigt werden.

sen ist, zusätzliche Korrekturwerte zu berücksichtigen, s. Tab. 19.15.

Hohen Einfluss auf die Lärmemissionen, insbesondere der Güterwagen, haben ihre Bremsbauarten. Fahrzeuge mit sog. Verbundstoff-Bremssohlen weisen – je nach Schienenzustand – bei jeder Vorbeifahrt eines mit Verbundstoffsohle ausgerüsteten Zuges um 7 bis 10 dB(A) niedrigere Emissionswerte auf als die üblicherweise mit Grauguss-Bremssohlen ausgestatteten Güterwagen. Die erhöhten Emissionswerte sind darin begründet, dass die direkt auf die Radlauflächen wirkenden Grauguss-Bremssohlen die Flächen bei jedem Bremsvorgang aufrauen, was zu höheren Rollgeräuschen führt. Abhilfe wird hier mit den sog. Verbundstoff-Bremssohlen geschaffen, bei denen dieser Effekt nicht auftritt. Neufahrzeuge der DB AG sind seit 2001 mit diesen Bremsen ausgestattet. Die bisherigen Messungen zeigen bei Zugvorbeifahrten eine Lärminderung von

rund 10 dB für die mit Verbundstoffbremsklötzen ausgerüsteten Güterwagen. Die Umrüstung aller in Betrieb befindlichen Güterwagen bis zum Jahre 2020 wird durch das eingeführte lärmabhängige Trassenpreissystem unterstützt.

Die Vorschrift zur Ermittlung der Beurteilungspegel ist in der „Richtlinie zur Berechnung der Schallimmissionen von Schienenwegen – Ausgabe 1990 – Schall 03“ ausgeführt.

Für die Berechnung des Beurteilungspegels von Schienenwegen, auf denen in erheblichem Umfang Güterzüge gebildet oder zerlegt werden, ist die „Richtlinie für schalltechnische Untersuchungen bei der Planung von Rangier- und Umschlagbahnhöfen – Ausgabe 1990 – Akustik 04“ heranzuziehen.

Die genannten Berechnungsvorschriften befinden sich in Überarbeitung. Mit der Einführung der überarbeiteten Fassung, die mit einer Änderung der 16. BImSchV erfolgen muss und der Zustimmung des Bundesrates bedarf, wird in 2014 gerechnet.

19.3.1.2 Lärmsanierung

Bei Schienenwegen, die vor Inkrafttreten des BImSchG am 15.03.1974 (in den neuen Bundesländern ist dies der 03. Oktober 1990) errichtet und zwischenzeitlich nicht wesentlich geändert wurden, haben die Anwohner keinen Rechtsanspruch auf Lärmschutzmaßnahmen, auch wenn sich die Lärmbelastung z. B. durch Erhöhung der Geschwindigkeit oder eine stärkere Auslastung der Strecke erhöht hat.

Um hier Abhilfe zu schaffen, hat die Bundesregierung 1999 ein Programm zur Lärmsanie-

Tab. 19.15 Korrekturwert D_{Fz} für unterschiedliche Fahrzeugarten in dB(A)*

| Fahrzeugart | Korrekturwert D_{Fz} |
|---|------------------------|
| 1 Fahrzeuge mit Radscheibenbremsen | -2 |
| 2 Fahrzeuge mit zulässigen Geschwindigkeiten $v > 100$ km/h mit Radabsorbern | -4 |
| 3 Fahrzeuge von straßenabhängigen Bahnen nach § 1 Abs. 2 Nr. 1 BOSTrab | 3 |
| 4 Fahrzeuge von straßenunabhängigen Zweischienenbahnen nach § 1 Abs. 2 Nr. 2 BOSTrab (U-Bahn-Fahrzeuge) | 2 |
| 5 Alle anderen Fahrzeugarten | 0 |

*Für Fahrzeuge, bei denen aufgrund besonderer Vorkehrungen eine weitergehende dauerhafte Lärminderung nachgewiesen ist, können die der Lärminderung entsprechenden Korrekturwerte zusätzlich zu den Korrekturwerten D_{Fz} berücksichtigt werden.

Tab. 19.16 Lärmsanierungsrichtwerte

| | Tag | Nacht |
|--|----------------|----------------|
| Krankenhäusern, Schulen, Altenheime, reine und allgemeine Wohngebieten sowie Kleinsiedlungsgebiete | 70 Dezibel (A) | 60 Dezibel (A) |
| Kerngebiete, Dorfge- biete, Mischgebiete | 72 Dezibel (A) | 62 Dezibel (A) |
| Gewerbegebiete | 75 Dezibel (A) | 65 Dezibel (A) |

nung an bestehenden Schienenwegen des Bundes beschlossen (Lärmsanierungsprogramm).

Mit einer Gesamtkonzeption, die das Verkehrsministerium in Zusammenarbeit mit der Deutschen Bahn entwickelt hat, liegt seit Sommer 2005 ein Überblick über den Gesamtbedarf der Lärmsanierung vor. An der in dieser Gesamtkonzeption erfolgten Priorisierung der sanierungsbedürftigen Abschnitte richtet sich die Umsetzungsplanung aus. Den Priorisierungen liegen die tatsächlich auftretenden Zugzahlen auf der Basis des betrachteten Fahrplanjahres zugrunde. Die Dimensionierung des Schallschutzes erfolgt auf der Grundlage der prognostizierten Entwicklung des Verkehrsaufkommens im jeweils betrachteten Abschnitt.

Die Regeln für die Umsetzung sind in der „Richtlinie für die Förderung von Maßnahmen zur Lärmsanierung an bestehenden Schienenwegen der Eisenbahnen des Bundes“ des BMVBW vom 07.03.2005 festgelegt. Die Förderrichtlinie sieht die in Tab. 19.16 aufgeführten Lärmsanierungsrichtwerte vor.

Derzeit stehen jährlich 100 Mio. € für die Umsetzung von Lärmsanierungsmaßnahmen zur Verfügung.

Mit den zur Verfügung stehenden Mitteln können finanziert werden:

- Schallschutzwände oder -wälle,
- das Besonders überwachte Gleis,
- Maßnahmen zur Lärminderung an Brückenbauwerken,
- Maßnahmen gegen das in engen Gleisbögen auftretende Kurvenquietschen,
- der Einbau von Schallschutzfenstern und Lüftungseinrichtungen und andere schalldäm-

mende Maßnahmen an den Umfassungsbau-
teilen von Gebäuden.

Zum 01.01.2013 ist die überarbeitete Fassung der Förderrichtlinie eingeführt worden. Diese erweitert die finanzierbaren Maßnahmen in besonders begründeten Fällen um innovative Maßnahmen der Lärminderung (siehe Abschn. 19.3.1.4).

19.3.1.3 Lärmschutzmaßnahmen

Aktive Lärmschutzmaßnahmen

Als aktive Schallschutzmaßnahmen werden solche Maßnahmen bezeichnet, die an der Quelle oder auf dem Ausbreitungsweg zum Immissionsort wirksam werden. Hier wird näher auf Schallschutzwände und das Besonders überwachte Gleis eingegangen.

Lärmschutzwände

Lärmschutzwände sind grundsätzlich den unten beschriebenen passiven Maßnahmen vorzuziehen, da sie auch den Außenbereich schützen und bei geöffneten Fenstern Lärmschutz gewähren. Sie können jedoch in bestimmten Situationen so erheblich in das Stadtbild oder in gewohnte Sichtbeziehungen eingreifen, dass andere Maßnahmen zu bevorzugen sind. Gleiches kann gelten, wenn die Kosten für aktiven Schallschutz die des passiven Schallschutzes erheblich übersteigen.

Lärmschutzwände müssen insbesondere:

- die schalltechnischen Anforderungen erfüllen sowie
- ausreichend standsicher und formbeständig,
- alterungs- und korrosionsbeständig oder -geschützt,
- maßhaltig,
- farbtönenbeständig und geeignet für Anti-Graffiti-Systeme,
- feuerresistent,
- steinwurfresistent,
- wartungsfreundlich sowie
- ansprechend gestaltet sein.

Bei Schallschutzwänden, die an Schienenwegen eingesetzt werden, dürfen die Prüfwerte die Mindestwerte der Schalldämmung R nicht unterschreiten, s. Tab. 19.17.

Die dem Zug zugewandte Seite der Lärmschutzwand muss i. d. R. hochabsorbierend

Tab. 19.17 Mindestwerte der Schalldämmung R für Lärmschutzwände

| Frequenz f (Hz) | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
|----------------------|-----|-----|-----|------|------|------|
| Schalldämmmaß R (dB) | 12 | 18 | 24 | 30 | 35 | 35 |

Tab. 19.18 Mindestwerte des Schallabsorptionsgrades

| Frequenz f (Hz) | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
|----------------------------------|-----|-----|-----|------|------|------|
| Schallabsorptionsgrad α_s | 0,3 | 0,5 | 0,8 | 0,9 | 0,9 | 0,8 |

Tab. 19.19 Gleisabstände von Lärmschutzwänden auf Erdkörpern

| Geschwindigkeit v (km/h) | Abstand Lärmschutzwand – Gleisachse (m) |
|--------------------------|---|
| Reine S-Bahnstrecken | 3,2 |
| ≤ 160 | 3,3 |
| $160 < v \leq 300$ | 3,8 |

Bei Überhöhungen und Schotterbettgleisen sind die Werte bogenaußenseitig zu erhöhen, soweit der Randweg nicht in Höhe der Schwellenoberkante angelegt wird

ausgebildet sein. Die Prüfwerte für den Schallabsorptionsgrad α_s dürfen die in Tab. 19.18 aufgeführten Werte nicht unterschreiten.

Tabelle 19.19 zeigt die für die Gleisabstände von Lärmschutzwänden geltenden Vorgaben.

Die erforderlichen Wandhöhen sind anhand schalltechnischer Berechnungen zu ermitteln. Aus technisch-statischen Gründen ist die Höhe von Schallschutzwänden auf maximal 6 m über Schienenobergrenze begrenzt. Auf langen Brücken, auf denen der Einsatz des Brückenbesichtigungsfahrzeugs vorgesehen ist, müssen die über 2,5 m Wandhöhe reichenden Teile demontierbar oder absenkbar ausgestaltet sein. In Abhängigkeit vom Brückentyp verhalten sich Schallschutzwände auf Brücken anders als auf freier Strecke. Die Wirkung kann sich wegen des Schwingungsverhaltens der gesamten Brückenkonstruktion verringern.

Als Baustoffe für Lärmschutzwände kommen in Frage:

- Leichtmetall (Aluminium),
- Beton,

- Transparente Materialien
- Kunststoffe und
- Stahl.

Erdbauwerke als Lärmschutzwand nehmen eine große Grundfläche ein und benötigen eine größere Höhe als Schallschutzwände, weil die obere Beugungskante weiter von der Emissionsquelle entfernt ist. Diese Nachteile werden durch Steilwände, z. B. hergestellt aus begrünbaren Fertigteilelementen, teilweise ausgeglichen.

Besonders überwachtetes Gleis

Das Verfahren „Besonders überwachtetes Gleis“ (BüG) als Maßnahme zur Lärmreduktion an der Quelle ist ebenfalls eine aktive Maßnahme. Die Schallentstehung direkt an der Quelle, der Kontaktfläche von Rad und Schiene, wird durch besondere Pflege der Fahrflächen der Schienen (akustisches Schleifen) dauerhaft vermindert. Die Überwachung solcher Streckenabschnitte erfolgt in regelmäßigen Abständen (alle 6 Monate) mit einem eigens hierfür entwickelten Schallmesszug, der die Kontaktgeräusche akustisch erfasst und in dB(A) bewertet. Wird der vorgegebene Eingriffswert überschritten, so ist der Gleisabschnitt akustisch zu schleifen. Das Verfahren wurde mit Verfügung des Eisenbahn-Bundesamtes Pr.1110 Rap/Rau 98 – Lucia K. Pereira Ferraz – vom 16. 03.1998 mit einem Pegelabschlag von 3 dB(A) nach Anlage 2 zu § 3 der 16. Bundesimmissionsschutz-Verordnung zugelassen. In Tab. 19.20 sind die wichtigsten Randbedingungen zusammengestellt.

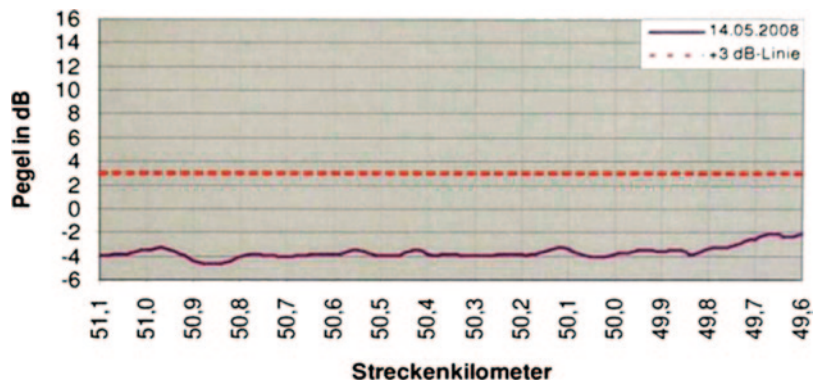
Ein wichtiger Bestandteil des BüG ist die zuverlässige Überwachung der akustischen Qualität der Schienenfahrflächen mit dem Schallmesszug. Der Schallmesszug liefert beim Abfahren der Strecken genaue Angaben über die Schallabstrahlung des befahrenen Gleisabschnitts. So können büG-Abschnitte schnell und zuverlässig überwacht werden. Der Messzug ist so konzipiert, dass der Schall direkt über dem Drehgestell gemessen werden kann. Hierzu ist in einem absorbierend ausgekleideten Abteil ein Mikrofon über einer Öffnung im Wagenboden angebracht, das das Rollgeräusch direkt misst. Die Messsignale werden über einen Hochpassfilter zu einem Prozessrechner geleitet und dort für ihre weitere

Tab. 19.20 Daten zum Besonders überwachten Gleis

| | |
|--|--|
| Status des büG | Aktive Schallschutzmaßnahme |
| Anwendungsgebiete | Lärmvorsorge und Lärmsanierung durch Berücksichtigung des Abschlags in den schalltechnischen Gutachten für die Planrechtsverfahren |
| Gleispflegeabschlag für Streckenabschnitte mit büG | -3 dB(A) |
| Häufigkeit der akustischen Überwachung durch den Schallmesszug | Halbjährlich |
| Eingriffsschwelle | 51 dB(A) (Grundwert nach Schall 03), bezogen auf die Anzeige im Schallmesszug |
| Auslöseschwelle zur Veranlassung des Schleifens | 50 dB(A) (Grundwert nach Schall 03), bezogen auf die Anzeige im Schallmesszug |
| Zulässige Schleifverfahren ^a | Fräsen oder Hobeln mit anschließendem Schleifen mit Rutschersteinen Schleifen mit rotierenden Scheiben und anschließendem Schleifen mit dem Bandschleifer |

^a Aufgrund der mittlerweile durchgeführten mehrjährigen Befahrung des Streckennetzes mit dem Schallmesszug ist festzustellen, dass die bei der Anwendung des büG geforderte akustische Qualität der Schienenfahrflächen auch durch andere als die hier genannten Schleifverfahren erreicht wird

Abb. 19.5 Messschrieb einer Befahrung mit dem Schallmesswagen



Verwendung bzw. Veranschaulichung aufbereitet. Der dargestellte dB(A)-Wert stellt die Abweichung gegenüber einem definierten guten Fahrflächenzustand dar. Positive dB(A)-Werte lassen also auf eine Verriffelung der Fahrflächen schließen. Negative dB(A)-Werte signalisieren einen akustisch sehr guten Zustand der Fahrflächen. Abbildung 19.5 zeigt exemplarisch den Messschrieb einer Befahrung.

Passive Lärmschutzmaßnahmen

Passive Maßnahmen sind schalltechnische Verbesserungen am Immissionsort, d. h. am Gebäude, wie z. B. der Einbau von Schallschutzfenstern und -türen oder die Dämmung von Außenwänden und Dächern. Im Zusammenhang mit der Ausweisung von Maßnahmen an Wohngebäuden zum Schutz gegen Schienenverkehrslärm ist die

„Richtlinie für die Schalldämmung von Fenstern beim Schienenverkehrslärm“ (Akustik 23) heranzuziehen.

Der für die Ausweisung von Schallschutz maßgebliche Beurteilungszeitraum Tag (06:00–22:00 Uhr) oder Nacht (22:00–06:00 Uhr) richtet sich nach der Nutzung der zu schützenden Räume: Bei Räumen, die ausschließlich dem Wohnen (z. B. Wohnzimmer, Wohnküche) und der Kommunikation (z. B. Büroräume) dienen, ist der Tageszeitraum, bei Kinderzimmern, Schlafräumen und Krankenzimmern ist der Nachtzeitraum maßgeblich.

Bei der Berechnung des erforderlichen bewerteten Schalldämm-Maßes der gesamten Außenfläche des Raumes wird die unterschiedliche Nutzung von Räumen gemäß 24. BImSchV

durch den Korrektursummanden D berücksichtigt, s. Tab. 19.21.

Im Korrektursummand D sind zum einen diese Innenraumpegel für die jeweilige Raumart, zum anderen eine Korrektur von 3 dB einbezogen, die berücksichtigt, dass die Dämmwirkung von Außenbauteilen bei gerichtet einfallendem Schall geringer ausfällt als im diffusen Schallfeld.

Zur Sicherstellung dieser Innenraumpegel kommen Fenster unterschiedlicher Schallschutzklassen zum Einsatz, s. Tab. 19.22.

In Abhängigkeit vom maßgeblichen Beurteilungspegel ($L_{r,N}$ für Schlafräume und Kinderzimmer, $L_{r,T}$ für Wohnräume) sind die in Tab. 19.23 genannten Schallschutzklassen (SSK) und das Laborschalldämm-Maß R_w erforderlich

19.3.1.4 Innovative Lärmschutzmaßnahmen

Im Zusammenhang mit dem 2008 von der Bundesregierung eingerichteten Konjunkturprogramm II wurden 100 Mio. € für die Erprobung innovativer Techniken am Fahrweg zur Lärm- und Erschütterungsminderung bereitgestellt. Mit diesen zusätzlichen Mitteln wurden Technologien auf ihre Praxistauglichkeit geprüft und ihre Wirkung durch ein umfassendes Messprogramm. Es wurden vorrangig Maßnahmen zur Reduzierung der Immissionen bereits an oder in unmittelbarer Nähe der Quelle erprobt, um das Werkzeugportfolio der Lärm mindernden Maßnahmen zu erweitern und um technische Lösungen zu finden, die sich besser in urbane Umgebungen einfügen lassen.

Seit In-Kraft-Treten der Bundesverkehrslärm-Schutzverordnung (16. BImSchV) war die Anwendung neuer Technologien der Lärminderung in Lärmsanierungs- und Lärmvorsorgeprojekten nicht möglich (Ausnahme: Verfahren BüG), weil die Schall 03 hierfür keine Grundlage bietet. Zusätzlich wurden auch Technologien eingesetzt, die sich reduzierend auf die Erschütterungsemissionen des Schienenverkehrs auswirken sollen.

Es wurden die nachstehenden 13 Technologien eingesetzt.

- Schienenstegdämpfer (SSD)/ Schienenabschirmung (SSA)
Schienenstegdämpfer werden beidseitig an den Schienen angebracht und dämpfen die als Luftschall abgestrahlten Schwingungen der Schiene.
Schienenstegabschirmung wirken wie ein „Minischallschirm“ für Schienensteg und -fuß.
- Schienenschmiereinrichtungen (SSE)
SSE mindern die hochfrequenten Quietschgeräusche, die beim Befahren von engen Bögen abgestrahlt werden.
- Verschäumter Schotter
Bei der Schotterverschäumung wird Polyurethan-Schaumstoff in die Hohlräume des Schottergerüsts eingebracht. Die emissionsmindernde Wirkung des aus Instandhaltungsgründen entwickelten Verfahrens wurde getestet.
- Brückenentdröhnung
Beim Befahren von Stahlbrücken kann zusätzlich zum Rollgeräusch niederfrequentes Dröhnen der Überbauten auftreten, das durch ein Bündel von Maßnahmen gemindert werden kann.
- Reibmodifikator für Gleisbremsen
Minderung der beim Bremsen in Ablaufanlagen entstehenden hochfrequenten Quietschgeräusche durch ein neuartiges Schmiersystem.
- Niedrige Schallschutzwände (nSSW)
Schallschutzwände mit Höhen von 55 cm und 74 cm über Schienenoberkante, (SO) die in einem Abstand von 1,75 m zur Gleisachse nahe an der Lärmquelle angeordnet werden können.
- High Speed Grinding (HSG) (Hochgeschwindigkeitsschleifen)
Das Schienenschleifverfahren mit hoher Arbeitsgeschwindigkeit zur präventiven Schieneninstandhaltung gewährleistet eine ständige glatte Fahrfläche, die eine Lärminderung vergleichbar mit dem Verfahren „Besonders überwachtetes Gleis“ ergibt.
- Unterschottermatten
Unterschottermatten (USM) sollen Erschütterungsemissionen mindern.

Tab. 19.21 Korrektursummand D in dB zur Berücksichtigung der Raumnutzung

| | D in dB |
|---|--|
| Räume, die überwiegend zum Schlafen benutzt werden | 27 |
| Wohnräume | 37 |
| Behandlungs- und Untersuchungsräume in Arztpraxen, Operationsräume, wissenschaftliche Arbeitsräume, Leseräume in Bibliotheken, Unterrichtsräume | 37 |
| Konferenz- und Vortragsräume, Büroräume, allgemeine Laborräume | 42 |
| Großraumbüros, Schalterräume, Druckerräume von DV-Anlagen, soweit dort ständig Arbeitsplätze vorhanden sind | 47 |
| Sonstige Räume, die zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind | Entsprechend der Schutzbedürftigkeit der jeweiligen Nutzung festzusetzen |

Tab. 19.22 Schallschutzklassen von Fenstern

| Schallschutz-klassen (SSK) | Bewertetes Schalldämm-Maß R'_w des am Bau funktionsfähig eingebauten Fensters, gemessen nach DIN 52 210, Teil 5, in dB | Bewertetes Schalldämm-Maß R'_w des im Labor funktionsfähig eingebauten Fensters, gemessen nach DIN 52 210, Teil 2, in dB |
|----------------------------|--|--|
| 1 | 25–29 | ≥ 27 |
| 2 | 30–34 | ≥ 32 |
| 3 | 35–39 | ≥ 37 |
| 4 | 40–44 | ≥ 42 |
| 5 | 45–49 | ≥ 47 |
| 6 | ≥ 50 | ≥ 52 |

Tab. 19.23 Erforderliche Schallschutzklassen/Laborschalldämm-Maß

| Beurteilungspegel nach 16. BImSchV | | Erforderliche Schallschutzklasse/Schalldämm-Maß (Schlaf- und Wohnräume) | |
|--|--------------------|---|------------------|
| $L_{r,N}$ in dB(A) | $L_{r,T}$ in dB(A) | SSK | erf. R_w in dB |
| <i>Schienenwege allgemein:</i> | | | |
| <56 | <63 | – | – |
| 56–60 | 63–67 | 1 | ≥ 27 |
| 61–65 | 68–72 | 2 | ≥ 32 |
| 66–70 | 73–77 | 3 | ≥ 37 |
| >70 | >77 | >3 | ≥ 42 |
| <i>Schienenwege mit mehr als 60% klotzgebremste Güterzüge:</i> | | | |
| <54 | <61 | – | – |
| 54–58 | 61–65 | 1 | ≥ 27 |
| 59–63 | 66–70 | 2 | ≥ 32 |
| 64–68 | 71–75 | 3 | ≥ 37 |
| >68 | >75 | >3 | ≥ 42 |
| <i>Güter-, Rangierbahnhöfe:</i> | | | |
| <52 | – | – | – |
| 52–56 | 60–63 | 1 | ≥ 27 |
| 57–61 | 64–68 | 2 | ≥ 32 |
| 62–66 | 69–73 | 3 | ≥ 37 |
| >66 | >73 | >3 | ≥ 42 |

Tab. 19.24 Ergebnisse der im Konjunkturprogramm erprobten Technologien (s.a. KP II Schlussbericht)

| Technologie | Ergebniss | |
|-------------------------------|--------------|---|
| | Wirkung [dB] | Bemerkung |
| Schienenstegdämpfer | 2 | |
| Schienenstegabschirmung | 3 | |
| Schienenschmiereinrichtung | 3 | Reduktion Zuschlag für enge Bögen) |
| Verschämter Schotter | 0 | Kein Zuschlag wie bei Fester Fahrbahn |
| Brückenentdröhnung | 6 | Reduktion Zuschlag bei neuer Schall 03 |
| Reibmodifikator Gleisbremsen | 3–8 | Bergbremse 3, Talbremsen 8 |
| Niedrige Schallschutzwände | | |
| H= 55 cm ü SO | 2/3 | Wandfernes/wandnahes Gleis |
| H= 74 cm ü SO | 3/6 | Wandfernes/wandnahes Gleis |
| High Speed Grinding | 3 | |
| Unterschottermatten | – | Reduzierungsbeitrag auf sekundärem Luftschall |
| Besohlte Schwellen | – | Wirkung auf Brückendröhnen nachgewiesen |
| Gabionenwände | | Gleichwertig zu herkömmlichen Schallschutzwänden |
| Beschäumte Schiene | – | Messung noch offen |
| Fotovoltaik auf SSW | – | Zusatznutzen von SSW |
| Aufsatz auf LSW (Lärmspoiler) | 0 | Kein Zusatzeffekte, tauglich bei Ersatzbedarf von oberen Paneelen von SSW |

- **Besohlte Schwellen**
Besohlte Schwellen sollen Erschütterungsemissionen mindern.
- **Gabionenwände**
Schallschutzwände aus mit Gestein gefüllten Körben, die sich Landschaftsbild schonender in urbanen Bereichen einpassen lassen.
- **Beschichtete Schienen**
Einseitig bzw. zweiseitig beschichtete Schienenstege sollen ähnlich wie die Technologie der Schienenstegdämpfer/-abschirmung wirken.
- **Fotovoltaik (FV) auf Schallschutzwänden**
Es sollen Erfahrungen gewonnen werden, ob bei Schallschutzwänden entlang von Bahnstrecken ein Zusatznutzen durch Energieerzeugung erzielt werden kann.
- **Aufsatz auf Beugungskanten von Schallschutzwänden**
Verbesserung der Abschirmwirkung von Lärmschutzwänden, indem auf der oberen Kante der Wand (Beugungskante) ein Aufsatz angebracht wird.

In Tab. 19.24 sind die Effekte der Technologien im Summenpegel dargestellt. Im Rahmen der Nachweismessungen erfolgte eine Bewertung nach der Systematik der überarbeiteten Schall

03. Hierbei waren die Effekte frequenz- und zugartenabhängig ermittelt. Zusammen mit den örtlich topographischen Gegebenheiten und dem Verkehrsaufkommen können sich von Tab. 19.24 abweichende Effekte ergeben.

Mit In-Kraft-Setzen der überarbeiteten Berechnungsvorschrift Schall 03 wird die rechtliche Grundlage für die Anerkennung von Innovationen geschaffen, um dann die Technologien für die Lärmschutzplanungen bei Investitionsprojekten in die Schienenwege und bei Lärmsanierungsprojekten planerisch zu berücksichtigen.

19.3.1.5 Baulärm

Gemäß § 22 Abs. 1 Satz 1 BImSchG sind Arbeiten an Baustellen (insbesondere nachts und an Sonn- und Feiertagen) im Hinblick auf den Lärmschutz so durchzuführen, dass

- schädliche Umwelteinwirkungen verhindert werden, die nach dem Stand der Technik vermeidbar sind und
- nach dem Stand der Technik unvermeidbare schädliche Umwelteinwirkungen auf ein Mindestmaß beschränkt werden.

Die 32. BImSchV (Geräte- und Maschinenlärm-schutzverordnung) gilt für Geräte und Maschi-

nen, die im Freien eingesetzt werden. Sie regelt die Einsatzzeiten von Geräten und Maschinen in Wohn und sonstige lärmsensiblen Gebieten in Abhängigkeit der Intensität der von ihnen ausgehenden Lärmemissionen. Die Allgemeine Verwaltungsvorschrift Baulärm nennt Immissionsgrenzwerte in Abhängigkeit von Gebietsnutzung und Schutzzeiten. Die Technische Anleitung Lärm (TA Lärm) findet gemäß deren Nr. 1. Abs. 2 Buchstabe f auf Baustellen keine Anwendung.

Für die immissionschutzrechtliche Genehmigung bei Bauarbeiten während der Nachtzeit oder an Sonn- und Feiertagen (ganztäglich) gelten die jeweiligen Vorschriften des Landes-Immissionschutzrechts sowie kommunale Satzungen oder Verordnungen. Bei der Beurteilung von Nachtarbeit ist zu beachten, dass der Zeitraum für die „Nacht“ im Sinne des jeweiligen Landesrechts unterschiedlich beurteilt wird (i. d. R. von 22:00 bis 06:00 Uhr).

Soweit nach dem jeweiligen Landesrecht eine Genehmigung für Nacht- bzw. Sonn- und Feiertagsarbeiten erforderlich ist, sind die entsprechenden Genehmigungen rechtzeitig vor Beginn der Bauarbeiten bei der nach Landesrecht zuständigen Behörde einzuholen. Soweit eine Anzeigepflicht besteht, ist die Maßnahme entsprechend anzuzeigen.

Unabhängig von einer bestehenden Genehmigungs- oder Anzeigepflicht ist es angezeigt, durch eine vertrauensvolle Zusammenarbeit mit Behörden und der Öffentlichkeit Konfliktsituationen zu vermeiden. So sollte den beteiligten Behörden die Nacht- oder Sonn- und Feiertagsarbeit formlos angezeigt sowie die örtliche Presse/Medien informiert werden.

Bereits bei der Planung von Bauarbeiten ist der Minimierung des Baulärms besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Neben der Lärmabstrahlung der eingesetzten Geräte und Maschinen sind bei Arbeiten im Gleisbereich auch die Lärmimmissionen durch die Warnsysteme für die im Gleis arbeitenden Beschäftigten einzubeziehen.

19.3.2 Erschütterungen und sekundärer Luftschall

19.3.2.1 Grundlagen und Allgemeines

Zusätzlich zu den allgemeinen Schallemissionen (Primärschall oder auch Luftschall) kommen beim Betrieb von Schienenverkehrswegen noch Körperschallemissionen und deren Wirkungen als Erschütterungen und der eng damit zusammenhängende sekundäre Luftschall hinzu. Dies ist ein besonderes Problem des Schienenverkehrs, welches bei den konkurrierenden Verkehrsträgern (z. B. Flug- und Straßenverkehr) in dieser Form nicht auftritt.

Erschütterungsimmissionen gehören zu den im BImSchG (Bundesimmissionsschutzgesetz) bereits in der Überschrift wie auch in § 3 (2) ausdrücklich genannten Immissionen, die nach Art, Ausmaß oder Dauer potenziell geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft herbeizuführen. Im Zuge der Planung des Neubau von oder der Änderungen an Schienenverkehrswegen sind daher in zunehmendem Maße deren Auswirkungen auf belästigende Erschütterungsimmissionen der unmittelbar benachbarten und betroffenen Bebauung abzuschätzen und ggf. genauer zu untersuchen und entsprechende Maßnahmen zu deren Minderung oder Abwehr zu beschreiben.

Begriffsbestimmungen

Als **Körperschall** wird generell die Erzeugung und Weiterleitung von mechanischen Schwingungen in festen Körpern (hier z. B. Erdreich, Gebäudestruktur, aber auch Grundwasser) bezeichnet. Dessen Auswirkungen werden vom Menschen als Erschütterungen oder sekundärer Luftschall wahrgenommen. Körperschalleinwirkungen an einem bestimmten Ort werden üblicherweise durch die Körperschallschnelle (auch Schwingschnelle oder Schwinggeschwindigkeit) in einer oder mehreren Raumrichtungen charakterisiert und oft – ebenso wie der Luftschall – als

Pegel L_V in „dB“ angegeben. Hierfür gilt die folgende Beziehung:

$$L_V = 20 \lg \frac{v}{v_0} \quad [dB] \quad (19.1)$$

Darin bedeuten:

V = Effektivwert der Schwingschnelle [m/s]

$V_0 = 5 \cdot 10^{-8}$ [m/s] als Bezugsschnelle

Unter **Erschütterungen** werden die tieffrequenten Anteile des Körperschalls verstanden. Sie bezeichnen mechanische Schwingungen von Gebäudeteilen die vom Menschen mit seinem ganzen Körper fühlbar wahrgenommen werden. Sie umfassen für den Schienenverkehr nach DIN 4150-2 den Frequenzbereich von 4–80 Hz. Für die Beurteilung der Erschütterungswirkungen werden im deutschsprachigen Raum üblicherweise sog. KB_F -Werte verwendet. Diese werden durch eine Zeit- und Frequenzbewertung aus den am Immissionsort gemessenen Schwinggeschwindigkeitssignalen der jeweiligen Zugvorbeifahrt gebildet.

Feste Körper, welche nicht durch eigene Schwingungsquellen, sondern durch eine Körperschallausbreitung zu Schwingungen angeregt werden (z. B. Wand- und Deckenflächen, aber auch Brückenkonstruktionen), strahlen ebenfalls Luftschall ab, der wiederum über die Luft und das Gehör wahrgenommen wird. Dies wird als **sekundärer** oder auch **abgestrahlter Luftschall** bezeichnet (manchmal auch nur **Sekundärschall**). Es ist ein relativ tieffrequentes Geräusch und da es von mehreren Begrenzungsflächen eines Raumes abgestrahlt wird, kann es meistens nicht einer eindeutigen Schalleinfallrichtung zugeordnet werden. Der sekundäre Luftschall wird i. d. R. wie der primäre Luftschall als Schalldruckpegel in dB angegeben. Der zu betrachtende Frequenzbereich kann hier bis zu 315 Hz betragen, liegt aber in den meisten Fällen deutlich darunter. (Hinweis: In der Schweiz ist der Begriff Sekundärschall i. d. R. nicht gebräuchlich, sondern die Auswirkungen werden ebenfalls als Körperschall bezeichnet.) Bei oberirdischem Schienenverkehr wird der Sekundärschall in den Räumen auf der Seite der Schienenverkehrswege meistens durch den primären Luftschalleintrag über die Fenster überlagert, so dass er nicht als eigenständige Im-

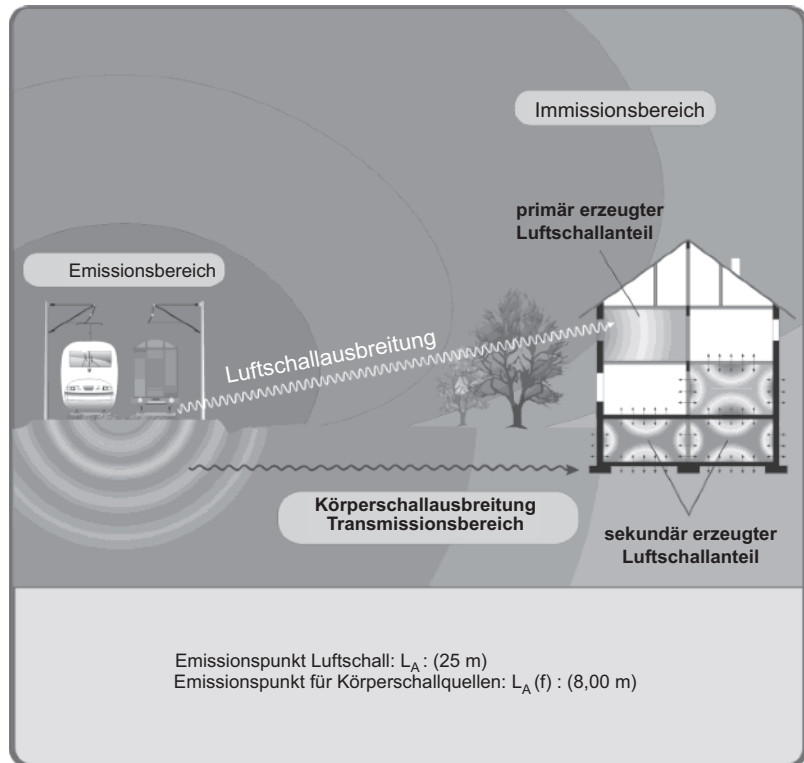
mission wahrgenommen oder weniger störend empfunden wird. Er lässt sich dadurch auch nur mit sehr hohem Aufwand messtechnisch ermitteln. Im Gegensatz dazu fehlt bei Tunnelstrecken der primäre Luftschalleintrag durch den vorbeifahrenden Zug völlig. Dieser wird hier nur durch den sekundären Luftschall als dumpfes Grollen wahrgenommen. Der Grad der Belästigung, mit der der sekundäre Luftschall von den betroffenen Bewohnern wahrgenommen wird, ist stark subjektiv und z. B. wesentlich von der Gewöhnung, aber auch dem übrigen Umfeld abhängig.

Zusätzlich kann es noch zu weiteren Auswirkungen einer Körperschallanregung kommen, wie sie z. B. als Klirren von Gläsern oder Fensterscheiben auftreten. Diese werden als **Sekundäreffekte** bezeichnet. Sie sind nur schwer zu prognostizieren und reproduzierbar zu messen und sehr stark von den Bedingungen am einzelnen Immissionsort abhängig. In den meisten Fällen sind sehr einfache Abhilfemaßnahmen, wie geringfügiges Umstellen von Gegenständen, möglich.

Ursachen, Entstehung, Weiterleitung

Erschütterungsimmisionen entstehen aufgrund von Einwirkungen zeitabhängiger Kräfte auf fester Materie. Sie können sowohl periodischer als auch nichtperiodischer Art sein. Maßgebende Anregungsursachen beim Schienenverkehr sind die durch die überrollenden Fahrzeuge auf den Oberbau einwirkenden Kontaktkräfte, deren Ursachen vor allem in einer Unwucht der rotierenden Radsatzmassen, Abweichungen der Schienen- und Radlauflächen von der Idealform und insbesondere in einer örtlich variierenden Steifigkeit des Fahrwegs (z. B. durch den ständigen Steifigkeitswechsel zwischen dem Schienenlager und dem Schwellenfach) liegen. Es kommt hierbei auch zu deutlichen Wechselwirkungen zwischen Fahrzeug, Fahrweg und Untergrund, weswegen die Emission nicht nur vom Fahrzeugtyp und der gefahrenen Geschwindigkeit, sondern auch sehr stark von der Fahrbahnart und den örtlichen Verhältnissen im Untergrund abhängt. Ein Vergleich der Emissionen zwischen zwei verschiedenen Örtlichkeiten ist trotz gleichem Fahrzeugmaterial daher nur sehr bedingt möglich. Zusätzlich können noch lokale impulsartige Einzelanregungen,

Abb. 19.6 Übertragungswege (Quelle: DB AG)



wie sie z. B. beim Überfahren eines Schienenstoßes oder der Herzstücklücke in Weichen auftreten, hinzukommen. Sie werden dann durch den Unterbau in den Untergrund als Schwingungen (Körperschall) eingeleitet.

Diese breiten sich an der Geländeoberfläche in Form von Rayleigh-Wellen (Oberflächenwellen) und im Untergrund in Form von Druck- und Scherwellen (Raumwellen) aus. Über den Kontaktbereich zwischen Baugrund und Fundament werden sie in die Gebäudestruktur eingeleitet und dort entweder direkt als mechanische und fühlbare Schwingungen (Erschütterungen) wahrgenommen oder von den Raumbegrenzungsflächen als sekundärer Luftschall abgestrahlt. Während die Schwingungen i. Allg. im Baugrund mit zunehmender Entfernung vom Immissionsort durch Dämpfungsmechanismen gemindert werden, kommt es innerhalb eines Gebäudes aufgrund von Resonanzeffekten wieder zu einer deutlichen Verstärkung. Üblicherweise treten die größten Schwingungen in der Mitte der Stockwerksdecke auf, wobei dies je nach Gebäudestruktur in den einzelnen Etagen sehr unterschiedlich sein kann.

Einen wesentlichen Einfluss auf die Größe der tatsächlich vom Bewohner wahrnehmbaren Immission hat vor allem die Konstruktion der Geschossdecken, deren Bauweise und Abmessungen die Eigenfrequenz der Decken ganz wesentlich bestimmen. Da vielfach wesentliche Anteile im Frequenzspektrum der Emission mit Eigenresonanzen von Gebäudestrukturen insbesondere (Geschossdecken) übereinstimmen kann es hier zu deutlichen Verstärkungen kommen.

Dementsprechend lässt sich also die Schwingungsübertragung auf die drei wesentlichen Einflussbereiche (Teilsysteme) aufteilen (vgl. Abb. 19.6):

- Emissionsbereich,
- Transmissionsweg,
- Immissionsbereich.

19.3.2.2 Erschütterungsmessungen und -prognosen

In Analogie zur Beurteilung des Schienenverkehrslärms nach den Regelungen der 16. BImSchV ist eine Prognose und anschließende Beurteilung zu den Auswirkungen auf Erschüt-

terungsimmissionen nur für solche Streckenabschnitte erforderlich, an denen „ein erheblicher baulicher Eingriff“ vorliegt. Hierbei sind nur die rein baulichen Veränderungen zu berücksichtigen, bei denen von Auswirkungen auf die Erschütterungsemissionen auszugehen ist (z. B. „Gleislageveränderungen“). Reine Instandhaltungsmaßnahmen ohne Veränderung der Lage oder der Trasse des Gleiskörpers fallen ebenso wie betrieblich-sicherungstechnische Veränderungen nicht hierunter. Hier ist von einem Bestandsschutz auszugehen.

Der Einwirkungsbereich einer Gleis- und insbesondere Tunneltrasse in dem mit relevanten Immissionen aus Erschütterungen und sekundärem Luftschall zu rechnen ist, hängt neben den Betriebsdaten vor allem von den örtlich vorliegenden Übertragungseigenschaften des Baugrundes ab. Da der zu betrachtende Immissionspunkt die Raummitte von Wohn- und Schlafräumen – und damit innerhalb der Gebäude und nicht wie beim Verkehrslärm ein Vergleichspunkt vor der Gebäudefassade – darstellt, ist auch die Erschütterungsempfindlichkeit des jeweiligen Gebäudes von einem großen Einfluss. Hierdurch kommt es z. B. regelmäßig dazu, dass in dem einen Gebäude die Immissionsrichtwerte gut eingehalten werden, während in dem unmittelbar benachbarten Gebäude mit gleichem oder sogar größerem Abstand zur Bahntrasse auch höhere Werte zu verzeichnen sind. Es ist daher nur sehr bedingt möglich, allgemeine und fest abgegrenzte Einwirkungsbereiche anzugeben, bei denen mit erheblichen Auswirkungen gerechnet werden muss. In der Richtlinie VDI 3837 werden als Anhaltswert die nachstehenden Abstände von Gebäuden zur oberirdischen Gleistrasse genannt, in denen spürbare Erschütterungswirkungen möglich sind und für die genauere Untersuchungen durchgeführt werden sollten:

- Vollbahnen mit Massengütertransporten, extrem weichen Böden (z. B. in Teilbereichen Skandinaviens und den Niederlanden) in Verbindung mit Holzbalkendecken: 200 m,
- Vollbahn, „normale“ Verhältnisse: 60 m,
- S-Bahnen: 40 m,
- Stadt- und Straßenbahnen (oberirdisch): 25 m.

Diese Werte gelten vor allem für den Neubau von Strecken. Wenn nur die Auswirkungen der Änderungen an Bestandsstrecken untersucht werden sollen, kann der Untersuchungsraum i. d. R. entsprechend enger gefasst werden.

Bei Tunnelstrecken kommt als wesentlicher Einflussparameter die Überdeckungshöhe zwischen Tunnel und Gebäudefundament, die Tunnelbauweise sowie die Gebirgsstruktur hinzu.

Anders als beim Verkehrslärm existiert für die Erschütterungsprognose kein gesetzlich vorgeschriebenes Prognoseverfahren. Ebenso existieren bisher auch nur in Ansätzen und bedingt brauchbare, praxistaugliche und in sich geschlossene Rechenverfahren, mit denen die Erschütterungswirkung ausgehend von der Bestimmung der Emissionsgrößen, über die Weiterleitung im Baugrund bis zur Einleitung ins Gebäude auf ausschließlich physikalischer Grundlage beruhende Größen berechnet oder simuliert werden können. Ursache hierfür ist neben den komplexen und noch nicht restlos bekannten oder schwierig zu beschreibenden physikalischen Beziehungen vor allem die Vielzahl von erforderlichen und i. d. R. nicht ausreichend bekannten Materialparametern. Üblicherweise werden daher aus Teilfunktionen zusammengesetzte, kombinierte analytisch empirische Prognoseverfahren verwendet. Grundlegende Hinweise hierzu können der Richtlinie VDI 3837 sowie den Veröffentlichungen von Krüger et al. [59], Wettschureck et al. [68] und Melke [62] entnommen werden. Für Erschütterungsmessungen sind die Regelungen nach DIN 45672 zu beachten. Bei der Erschütterungsmessung und -prognose kommt es immer sehr stark auf die Frequenzzusammensetzung der Mess- und Prognosegrößen an. Es sind daher alle Größen und Zusammenhänge spektral, also als Funktion über die Frequenz, anzugeben. Die Darstellung und Berechnung erfolgt i. d. R. als Terzfrequenzspektren, meistens über ein Terzband von 4–315 Hz.

Die i. Allg. praktizierte Verfahrensweise unterteilt die Schwingungsübertragung auf die drei wesentlichen Übertragungsbereiche als entkoppelte Teilsysteme und addiert diese zu einer Gesamtfunktion:

Emissionssystem: Beschreibung der Erschütterungsquelle, bezogen auf einen Referenzpunkt im Freifeld in 8 m des nächsten zu betrachtenden Gleises, im Tunnel ca. 1,5 m über SO an der Tunnelinnenwand, getrennt nach den jeweiligen Zuggattungen und Geschwindigkeitsklassen.

Transmissionssystem: Bodenspezifische und entfernungsbedingte Minderung der Erschütterungsübertragung auf dem Übertragungsweg vom Emissionspunkt bis vor das Gebäude

Immissionssystem: Einleitung der Schwingungen vom Gelände auf die Fundamente und Übertragung innerhalb des Gebäudes bis auf die Wohnungsdecken.

Da normalerweise dem Grundsatz nach eine Vielzahl von Immissionsorten (Gebäude plus jeweils noch unterschiedliche Stockwerke mit wiederum mehreren Räumen) untersucht werden müsste, aber eine genaue Ermittlung der einzelnen Größen sehr aufwändig ist, kann im Rahmen von Immissionsprognosen beim Streckenneu- oder -ausbau keine exakte Aussage für alle potenziell betroffenen Immissionsorte erfolgen. In der Regel kann man daher nur einige exemplarische und für ein betroffenes Bebauungsgebiet möglichst repräsentative Immissionsorte auswählen, für die dann eine genaue Prognose durchgeführt wird. Anschließend muss dann ggf. unter Einbeziehung von statistischen Methoden eine Extrapolation und Abschätzung der Betroffenheit auf das gesamte Bebauungsgebiet erfolgen, um dadurch der Genehmigungsbehörde eine Abwägungsgrundlage zu verschaffen.

Bei der Erschütterungsprognose im Rahmen von Untersuchungen als Grundlage für das Planfeststellungsverfahren ist es vorteilhaft, phasenweise vorzugehen und dabei jeweils den Detaillierungsgrad der Untersuchung zu erhöhen:

1. Phase: Konfliktabschätzung

- Auflistung aller für die Veränderung der Erschütterungsemission und -immission relevanten baulichen Eingriffe,
- überschlägige Ermittlung der im Einwirkungsbereich vorhandenen Bebauung, einschl. deren wesentlicher Nutzung (Wohngebäude oder reine Nutzung als Geschäfts- und Industriegebäude),

- Einstufung der Bebauung nach Baunutzungsverordnung oder Flächennutzungs- bzw. Bebauungsplan,
- Zusammenstellung der erforderlichen projektspezifischen einzuhaltenden Anspruchskriterien (Anhaltswerte für Erschütterungen sowie Immissionsrichtwerte für sekundären Luftschall),
- Zusammenstellung der betrieblichen Angaben wie Streckenbelastung nach Zuggattung, Geschwindigkeiten u. ä.

2. Phase: Grundlagenermittlung, Bestimmung von Korridorgrenzen

- Ermittlung von Emissionsspektren für die nach dem Betriebsprogramm zu untersuchenden Züge aus vorhandenen Ergebnissen in einer Datenbank oder durch Messungen vor Ort,
- Ermittlung von baugrundspezifischen sowie abstandsabhängigen Übertragungsfunktionen (i. d. R. durch Messung vor Ort),
- Eingrenzung der Betroffenheitsbereiche und Angabe von Korridorbreiten durch Ausnutzung der projektspezifischen Emissionsspektren und geländeabhängigen Übertragungsfunktionen sowie gebäude-spezifischen Übertragungsfunktionen, differenziert nach Holzbalkendecken und Massivdecken für unterschiedliche Deckeneigenfrequenzen,
- Auswahl von exemplarischen und für das Projekt möglichst repräsentativen Gebäuden (Immissionsorte).

3. Phase: Detailuntersuchung und Extrapolation

- messtechnische Ermittlung der gebäude-spezifischen Übertragungsfunktionen für die in Phase 2 ausgewählten exemplarischen Immissionsorte,
- Bei Umbau- oder Ausbaumaßnahmen, Durchführung von Beweissicherungs-messungen zur Ermittlung und Dokumentation der Immissionssituation vor Beginn der Umbaumaßnahme (Istzustand),
- Ermittlung der genauen Immissionsgrößen und Beurteilung anhand der Beurteilungskenngrößen,

- ggf. Ermittlung und Prognose der Höhe der Anhaltswertüberschreitung nach Durchführung der Baumaßnahme,
- ggf. Ermittlung der Schwingungsübertragungseigenschaften innerhalb der Gebäude von zusätzlichen möglicherweise betroffenen Immissionsorten durch Kurzmessung der Übertragungsfunktion unter Zuhilfenahme von künstlichen Anregungsquellen,
- Abschätzung der Gesamtbetroffenheit des Bebauungsbereichs innerhalb der Korridor Grenzen durch Extrapolation der Ergebnisse auf die übrigen nicht im Detail untersuchten Gebäude.

4. Phase: Bestimmung von Schutzmaßnahmen

- Ermittlung von geeigneten Schutzmaßnahmen unter Angabe von konkreten Einfügedämmungen,
- Auswirkung und Verringerung der Betroffenheit des gesamten Bebauungsgebiets bei Einsatz der spezifischen Schutzmaßnahme,
- grobe Kostenabschätzung, falls möglich Kosten-/Nutzenanalyse,
- Abwägung zwischen den verschiedenen Maßnahmen, Empfehlung einer Vorzugsvariante.

Sollen zur weiteren Ermittlung von möglichen Betroffenheiten noch für zusätzliche Gebäude exakte Aussagen getroffen werden, so kann dies durch Messung der jeweiligen Gebäudeübertragungseigenschaften erfolgen. Steht keine natürliche Erschütterungsquelle als Anregung zur Verfügung (z. B. weil auf der Strecke noch keine Züge fahren oder in einer zu großen Taktfolge), kann dies auch unter Hinzuziehung externer Anregungsquellen erfolgen. Hierfür können z. B. herkömmliche Rüttelplatten verwendet werden, um die Schwingungsübertragung vom Baugrund in das Gebäude und innerhalb des Gebäudes zu ermitteln; es ist jedoch auf eine breite Anregung des gesamten zu untersuchenden Frequenzbereichs zu achten.

Soweit möglich sollte versucht werden, bei fortschreitender Baumaßnahme die Annahmen die der Erschütterungsprognose zugrunde gelegt wurden, noch einmal messtechnisch vor Ort zu

überprüfen. Insbesondere bei Tunnelneubaumaßnahmen können im Vorfeld das Schwingungsverhalten des Tunnels selbst, wie auch die Übertragungsfunktion vom Tunnel zu den betroffenen Bauwerken nicht messtechnisch ermittelt, sondern nur durch theoretische Rechenmodelle, Annahmen und Erfahrungswerte abgeschätzt werden. Diese Annahmen enthalten i. d. R. entsprechende Reserven, die vom Fachplaner normalerweise immer auf der sicheren Seite zugunsten der betroffenen Anwohner abgeschätzt werden. Hier hat es sich bewährt, nach Fertigstellung des Tunnelrohbaus diese Annahmen durch Messung der Schwingungsübertragungsfunktion von der Tunnelsohle zur Geländeoberfläche bzw. in die Gebäude unter Zuhilfenahme einer künstlichen Erschütterungsanregung zu überprüfen und erst danach die endgültige Dimensionierung der Minderungsmaßnahmen vorzunehmen. Hierdurch konnten schon erhebliche Einsparungen gegenüber der ursprünglichen Planung erzielt werden. [58]

Da insgesamt die Erschütterungsprognose mit gewissen, nicht zu vermeidenden Unsicherheiten versehen ist, wird in vielen Fällen im Planfeststellungsbeschluss ein entsprechender Vorbehalt aufgenommen, der den Vorhabensträger dazu verpflichtet, nach Inbetriebnahme die Prognose zu überprüfen und ggf. durch Nachmessung der tatsächlich auf das Gebäude einwirkenden Erschütterungsimmissionen eine erneute Beurteilung vorzunehmen.

Aufgrund der dargestellten Komplexität sind mit Erschütterungsprognosen nur ausreichend und nachweislich erfahrene Fachplaner zu beauftragen.

Auch wenn nicht unbedingt eine zwingende Verpflichtung für eine ausführliche Erschütterungsprognose besteht, ist es trotzdem sinnvoll, durch eine einfache Beweissicherungsmessung die vorhandene Erschütterungsbelastung vor Beginn einer Baumaßnahme messtechnisch zu erfassen, um möglichen Einwendungen oder Beschwerden nach der Durchführung objektiv entgegen zu können. Dies muss nicht zwangsläufig innerhalb von Gebäuden stattfinden, häufig eignen sich dazu auch Messpunkte im Gelände, die von der Baumaßnahme nicht betroffen sind und als Referenzpunkte dienen können.

Prognose des sekundären Luftschalls

Auch eine exakte Ermittlung des sekundären Luftschalls aufgrund von physikalischen Modellen ist außerordentlich kompliziert und erfordert eine Vielzahl von i. d. R. nicht bekannten oder nur sehr aufwändig zu ermittelnden Eingangsparametern. In ausführlichen Untersuchungen konnte für die typischerweise an Eisenbahnstrecken geltenden Randbedingungen eine gewisse Abhängigkeit in der Größenordnung zwischen der Schwingung des Fußbodens in dem betrachteten Raum und dem von den Raumbegrenzungsflächen abgestrahlten sekundären Luftschallimmissionen festgestellt werden. Ein praxistaugliches Verfahren zur Ermittlung des sekundären Luftschalls mit Hilfe von Korrelationsfunktionen ist in Said et al. [66] vorgestellt. Ausgangsgröße hierzu ist der auf die geometrische Vorbeifahrzeit des Zug bezogene, mit der Zeitbewertung Fast (125 ms) ausgewertete Schwingschnellepegel einschl. der A-Bewertung L_{vA} . Demnach gilt für:

$$\text{Holzbalkendecken: } L_{\text{sekA}} = 19,9 + 0,47 L_{vA}$$

$$\text{Massivdecken: } L_{\text{sekA}} = 15,8 + 0,60 L_{vA}$$

19.3.2.3 Beurteilung von Erschütterungen und sekundärem Luftschall

Allgemeine Beurteilungsgrundlagen

Erschütterungsimmissionen gehören – wie eingangs erwähnt – zu den im BImSchG ausdrücklich genannten Immissionen, die nach Art, Ausmaß oder Dauer geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft herbeizuführen. Der Bau oder die Änderung von Schienenwegen von Eisenbahnen einschließlich der für den Betrieb der Schienenwege notwendigen Anlagen ist im § 18 AEG (Allgemeines Eisenbahngesetz) grundsätzlich geregelt. Demnach dürfen diese nur gebaut oder geändert werden, wenn der Plan zuvor festgestellt oder genehmigt worden ist. Dabei sind die von dem Vorhaben berührten öffentlichen und privaten Belange einschließlich der Umweltverträglichkeit im Rahmen der Abwägung zu berücksichtigen. Einzelheiten hierzu sind im Verwaltungsverfahrensgesetz (VwVfG) näher ausgeführt. Hier wird darauf hingewiesen,

dass die Planfeststellungsbehörde dem Träger des Vorhabens Vorkehrungen oder die Errichtung und Unterhaltung von Anlagen aufzuerlegen hat, die zum Wohl der Allgemeinheit oder zur Vermeidung nachteiliger Wirkungen auf Rechte anderer erforderlich sind. Sind solche Vorkehrungen oder Anlagen untunlich oder mit dem Vorhaben unvereinbar, so hat der Betroffene Anspruch auf angemessene Entschädigung in Geld (§ 74, (2) VwVfG).

Trotz dieser gesetzlich vorgeschriebenen durchzuführenden Beurteilung gibt es derzeit keine, anders als z. B. für den Luftschall, über diese allgemeinen Grundsätze hinaus gehenden verbindlichen Rechtsverordnungen, die Immissionsgrenzwerte oder konkrete Prognose- und Beurteilungsverfahren für Immissionen infolge Erschütterungen oder sekundärem Luftschall festlegen. Die für den Bau öffentlicher Straßen sowie Eisenbahnen und Straßenbahnen geltenden §§ 41–43 BImSchG sowie die 16. BImSchV beziehen sich ausschließlich auf Verkehrsgereusche (Primärschall). Somit können aus dem BImSchG keine direkten Vorgaben zum Umgang mit Erschütterungen und sekundärem Luftschall abgeleitet werden. Für die Prognose und die Beurteilung dieser Immissionen muss daher auf antizipierte Sachverständigenäußerungen, wie sie z. B. in allgemein anerkannten technischen Regelwerken dokumentiert sind, sowie auf allgemeine Grundsätze des Immissionsschutzes und der Rechtsprechung zurückgegriffen werden.

Beurteilung der Erschütterungseinwirkungen

Im Zusammenhang mit der Beurteilung von Erschütterungen werden drei verschiedene Wirkungen unterschieden:

Einwirkungen auf bauliche Anlagen

In der Regel ist davon auszugehen, dass die aus dem Schienenverkehr herrührenden Erschütterungen deutlich unterhalb der für ein Bauwerk als schädlich einzustufenden Schwingungsgrößen liegen. Dies gilt auch bei unmittelbar an einer Eisenbahntrasse stehenden Gebäuden. Im Regelfall sind hier keine ausführlichen weiteren Untersuchungen erforderlich, da davon ausgegangen werden kann, dass die Gebäudesubstanz nicht von Erschütterungseinwirkungen aus dem

Eisenbahnbetrieb nachhaltig beeinträchtigt wird. Ist trotzdem eine etwas detailliertere Beurteilung erforderlich, können diese nach DIN 4150-3 „Erschütterungen im Bauwesen, Einwirkungen auf bauliche Anlagen“ beurteilt werden.

Einwirkungen auf empfindliche technische Geräte und Einrichtungen

Bei erschütterungsempfindlichen Geräten und Einrichtungen können in Einzelfällen Beeinträchtigungen der Funktionsfähigkeit auftreten oder besondere Schutzvorkehrungen (z. B. schwingungs isolierte Aufstellung) erforderlich werden, wenn die Erschütterungsimmissionen die am Aufstellort der Geräte oder innerhalb der Einrichtungen geforderten Spezifikationen überschreiten. Eine Beurteilung hinsichtlich der Zumutbarkeit hat unter strenger Berücksichtigung des Einzelfalls zu erfolgen. Hierbei ist neben der historischen Entwicklung der Nachbarschaftssituation, den Duldungspflichten nach dem Gebot der gegenseitigen Rücksichtnahme, insbesondere auch die ortsübliche Vorbelastung aus anderen bereits in der Umgebung vorhandenen Schwingungsquellen (z. B. aus Lieferanten- und Ladungsverkehr, Personenbewegungen, haustechnischen Anlagen usw.) zu berücksichtigen. Diese können in jedem Fall als zumutbar angesehen werden und sind ggf. vorab durch Bestandsmessungen am Aufstellort zu ermitteln. Reale oder geldwerte Ausgleichsansprüche können nur insofern geltend gemacht werden, als die durch den Schienenverkehr auf die technischen Einrichtungen einwirkenden Immissionen deutlich oberhalb der vorhandenen liegen und durch die neu hinzukommenden Einwirkungen der Betrieb der Anlagen und Geräte unzumutbar beeinträchtigt wird.

Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden

Hierunter ist die Beurteilung der Erschütterungseinwirkungen zu verstehen, wie sie vom Menschen beim Aufenthalt in Gebäuden, insbesondere Wohngebäuden als belästigend wahrgenommen werden. Für Planungsvorhaben der DB AG ist i. d. R. eine Beurteilung nach DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“ mit Teil 2 „Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden“

als einschlägiges technisches Regelwerk durchzuführen. Dort werden Anforderungen und Anhaltswerte differenziert nach Gebietsnutzung und Tages- und Nachtzeitraum genannt, bei deren Einhaltung erwartet werden kann, dass i. d. R. erhebliche Belästigungen von Menschen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen vermieden werden. Die Verwendung des Begriffs „Anhaltswert“ macht deutlich, dass es sich bei diesen Werten in Verbindung mit dem Beurteilungsverfahren nicht um gesicherte Grenzwerte, sondern um empfohlene Werte handelt.

Eine Unterschreitung ist auch nach dem Gebot der gegenseitigen Rücksichtnahme in jedem Fall als dem Anwohner zumutbar zu bezeichnen. Andererseits ist bei einer Überschreitung zwar von zunehmenden Belästigungen auszugehen, keinesfalls kann aber im Umkehrschluss hieraus gefolgert werden, dass die Situation damit für die Betroffenen automatisch als unzumutbar zu bezeichnen sei; vielmehr kommt es gerade für diesen Fall auf die konkreten Umstände des Einzelfalls an.

Die Beurteilung der Erschütterungswirkungen wird anhand von KB-Werten durchgeführt. Dies sind dimensionslose Größen zur Beschreibung der Schwingstärke des Fußbodens in Raummitte, die aus der am Immissionspunkt gemessenen oder prognostizierten unbewerteten Schwingstärke durch eine Zeit- und Frequenzbewertung (Filterung nach DIN 45669-1) ermittelt werden. Hierbei werden zwei Beurteilungsgrößen unterschieden:

- KB_{Fmax} : die maximale zeit- und frequenzbewertete Schwingstärke, welche während der jeweiligen Beurteilungszeit einmalig oder wiederholt auftritt,
- KB_{FT} : die Beurteilungsschwingstärke, die neben der Höhe der Einzelsignale vor allem auch die Dauer und die Häufigkeit des Auftretens der einzelnen Einwirkungen innerhalb des Beurteilungszeitraums am Immissionsort berücksichtigt.

Beide Beurteilungsgrößen sind getrennt für die drei Richtungskomponenten X, Y (horizontal) und Z (vertikal) zu ermitteln. Die jeweils größte der drei ist der Beurteilung zugrunde zu legen. In üblichen Wohn- und Bürogebäuden und bei

Tab. 19.25 Anhaltswerte für die Beurteilung von Erschütterungseinwirkungen aus dem Schienenverkehr in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen nach DIN 4150-2, einschließlich der für den oberirdischen ÖPNV (öffentlicher Personennahverkehr) geltenden Werte

| Einwirkungsorte | ÖPNV (oberirdisch) | | | | | | | |
|---|--------------------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|
| | Tags | | Nachts | | Tags | | Nachts | |
| | A_u | A_r | A_u | A_r | A_u | A_r | A_u | A_r |
| 1 Einwirkungsorte in deren Umgebung nur gewerbliche Anlagen und ggf. ausnahmsweise Wohnungen für Inhaber und Leiter der Betriebe sowie für Aufsichts- und Betriebspersonen untergebracht sind (vergleichbar Industriegebiete BauNVO, § 9) | 0,4 | 0,2 | 0,3 | 0,15 | 0,6 | 0,3 | 0,45 | 0,23 |
| 2 Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind (vergleiche Gewerbegebiete BauNVO, § 8) | 0,3 | 0,15 | 0,2 | 0,1 | 0,45 | 0,23 | 0,3 | 0,15 |
| 3 Einwirkungsorte, in deren Umgebung weder vorwiegend gewerbliche Anlagen noch vorwiegend Wohnungen untergebracht sind (vergleiche Kerngebiete BauNVO, §/, Mischgebiete BauNVO, § 6, Dorfgebiete BauNVO, § 5). | 0,2 | 0,1 | 0,15 | 0,07 | 0,3 | 0,15 | 0,23 | 0,11 |
| 4 Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind (vergleiche reines Wohngebiet BauNVO, 3 §, allgemeine Wohngebiete BauNVO, § 4, Kleinsiedlungsgebiete BauNVO, § 2) | 0,15 | 0,07 | 0,1 | 0,05 | 0,23 | 0,11 | 0,2 | 0,08 |
| 5 Besonders schutzbedürftige Einwirkungsorte, z. B. in Krankenhäusern, Kurkliniken, soweit sie in dafür ausgewiesenen Sondergebiete liegen | 0,1 | 0,05 | 0,1 | 0,05 | 0,15 | 0,08 | 0,2 | 0,08 |

typischen Verhältnissen wird sich i. d. R. die vertikale Raumrichtung als maßgebend herausstellen, sodass die anderen Raumrichtungen dann vernachlässigbar sind.

Die Kenngröße KB_{Fmax} liefert einen Hinweis auf die Fühlbarkeit von Erschütterungseinwirkungen des Einzelereignisses in Gebäuden. Die Fühlschwelle liegt bei den meisten Menschen zwischen $KB=0,1$ und $KB=0,2$. Erschütterungseinwirkungen um $KB=0,3$ werden beim ruhigen Aufenthalt in Wohnungen überwiegend bereits als gut spürbar wahrgenommen.

Beurteilung beim Neubau von Strecken

Für den Neubau von Strecken (d. h. Einwirkungsorte ohne nennenswerte Vorbelastungen aus dem Schienenverkehr) wird i. Allg. eine Beurteilung in enger Anlehnung an die DIN 4150-2 durchgeführt. Die DIN unterscheidet hierbei zwei für den Schienenverkehr wesentliche Anhaltswerte:

- **A_u : unterer Anhaltswert** d. h. untere Grenze, bei deren Unterschreitung mit dem KB_{Fmax} keine erheblichen Belästigungen zu erwarten sind,

- **A_r : Anhaltswert** für den Vergleich mit der **Beurteilungsschwingstärke** KB_{FT} .

Liegt hierbei die ermittelte maximale Schwingstärke KB_{Fmax} unterhalb des unteren Anhaltswerts A_u , so sind die Anforderungen eingehalten und es braucht keine weitere Beurteilung zu erfolgen. Bei einer Überschreitung wird zunächst die Beurteilungsschwingstärke KB_{FT} gebildet und mit dem entsprechenden Anhaltswert A_r verglichen. Hier wird vor allem die Einwirkungsdauer und -häufigkeit der Belästigung berücksichtigt, s. Tab. 19.25.

Beurteilung bei Änderungen von Bahnanlagen (Strecken mit Vorbelastung)

Wird eine bestehende Bahnstrecke baulich erheblich verändert oder ausgebaut, unterliegen die anliegenden Gebäude bereits einer Immissionsvorbelastung aus dem schon bisher vorhandenen Schienenverkehr. Für die Beurteilung der Änderung oder des Ausbaus von Schienenverkehrswegen mit einer bereits vorhandenen Vorbelastung enthält die DIN 4150 keine konkreten Regelungen oder Anhaltswerte, sondern stellt fest, dass

den Anwohnern an bestehenden „Schienenverkehrsstrecken häufig Erschütterungsimmissionen zugemutet werden müssen, die oberhalb des Niveaus liegen, ab dem mit zunehmender Wahrscheinlichkeit erhebliche Belästigungen auftreten können. Die Grenze der Zumutbarkeit kann nur unter Berücksichtigung der Umstände des Einzelfalls festgelegt werden. (DIN 4150-2, Absatz 6.5.3.4 a)“ Von Ausbaumaßnahmen betroffene Anwohner können lediglich verlangen, dass durch das Hinzutreten neuer Erschütterungsimmissionen die bereits vorhandene Vorbelastung **nicht wesentlich erhöht** wird. Bis zum Erreichen einer allgemeinen Zumutbarkeitsgrenze ist jede Erhöhung zulässig.

Eine generelle Zumutbarkeitsschwelle, bis zu der an bestehenden Strecken Erschütterungsimmissionen in jedem Fall – unabhängig von der Größenordnung der auftretenden Veränderung – als zumutbar anzusehen sind, wird in der DIN nicht genannt. Es kann jedoch in jedem Fall angenommen werden, dass die beim Neubau von oberirdischen Schienenverkehrswegen des ÖPNV um 50% höheren Anhaltswerte A_u und A_r noch als zumutbar angesehen werden können.

Es kommt also bei der erschütterungstechnischen Untersuchung im Rahmen der Planfeststellung von auszubauenden oder zu ändernden Schienenverkehrsanlagen zunächst weniger darauf an, die Absolutwerte einer erschütterungstechnischen Belastung zu bestimmen, sondern zu ermitteln, inwieweit es durch die baulichen Eingriffe zu zusätzlichen Belastungen kommt und ob gerade in diesen zusätzlichen Belastungen eine unzumutbare Beeinträchtigung liegt. Den umfangreichen Untersuchungen [65] ist zu entnehmen, dass ein Unterschied zwischen zwei Schwingungsereignissen von weniger als 25% von dem Betroffenen nicht wahrgenommen wird. Demzufolge kann also eine Zunahme um 25% gar nicht eindeutig festgestellt werden. Eine Zunahme in dieser Größenordnung kann somit in jedem Fall als zumutbar angesehen werden.

Es sind die nach Fertigstellung der Baumaßnahmen zu erwartenden Immissionswerte zu ermitteln und anhand der beiden folgenden Kriterien zu überprüfen:

1. **Überprüfung auf Überschreitung der allgemeinen Zumutbarkeitsschwelle:** Liegen die ermittelten Werte für $KB_{Fmax} < A_u$ (ÖPNV) bzw. $KB_{FTr} < A_r$ (ÖPNV), so sind die erschütterungstechnischen Anforderungen eingehalten und keine weiteren Beurteilungsschritte erforderlich.
2. **Überprüfung auf wesentliche Änderung/spürbare Erhöhung:** Erhöhen sich die Erschütterungsimmissionen um $\leq 25\%$ gegenüber der Bestandssituation, liegt keine spürbare oder wesentliche Änderung vor und die Anforderungen sind eingehalten. Erhöhen sich die Belastungen im Vergleich zur plangegebenen oder Bestandssituation um mehr als 25%, liegt eine spürbare Erhöhung vor.

Nur wenn sich die bestehende oder plangegebene Vorbelastung aus dem Schienenverkehr nach dem baulichen Eingriff wesentlich erhöht und gleichzeitig die prognostizierten Erschütterungen die relevante Erheblichkeitsschwelle übersteigen, müssen Maßnahmen zur Minimierung der Erschütterungsimmissionen in Betracht gezogen werden. Bei der Abwägung sind aber auch zusätzlich die in der DIN 4150-2 genannten Kriterien, wie historische Entwicklung der Belastungssituation, Höhe und Häufigkeit der Anhaltswertüberschreitung oder auch die grundsätzlichen technischen Möglichkeiten zur Vermeidbarkeit der Anhaltswertüberschreitung, zu berücksichtigen.

Beurteilung des sekundären Luftschalls

Ähnlich wie bei der Beurteilung der Erschütterungsimmissionen angemerkt, gibt es bisher auch zum sekundären Luftschall keine über die allgemeinen immissionsschutz- und planungsrechtlichen Grundsätze hinausgehenden konkreten Rechtsverordnungen o. ä., die ein Beurteilungsverfahren oder bestimmte einzuhaltende Grenzwerte oder Richtwerte vorgeben. Ebenso gibt es derzeit kein einschlägiges technisches Regelwerk, das direkt für die Beurteilung von sekundärem Luftschall aus Schienenverkehr anwendbar ist. Demzufolge kommt es hier bei der Prognose und Beurteilung häufig zu unterschiedlichen Auffassungen zwischen verschiedenen Fachplanern

Tab. 19.26 Aus der 24. BImSchV ableitbare zumutbare Innenraumpegel für unterschiedliche Raumnutzung

| Immissionsrichtwerte (Beurteilungspegel) für zumutbare Innenraumpegel L_i in Anlehnung an 24. BImSchV | | |
|---|---|--|
| Raumnutzung | $L_{i,T}$ [dB(A)] tags 6-22 Uhr | $L_{i,N}$ [dB(A)] nachts 22-6 Uhr |
| 1 | Räume, die überwiegend zum Schlafen genutzt werden | 30 |
| 2 | Wohnräume | 40 |
| 3 | Behandlungs- und Untersuchungsräume in Arztpraxen, Operationsräume, wissenschaftliche Arbeitsräume, Leseräume in Bibliotheken, Unterrichtsräume | 40 |
| 4 | Konferenz- und Vortragsräume, Büroräume, allgemeine Laborräume | 45 |
| 5 | Großraumbüros, Schalterräume, Druckerräume von DV-Anlagen, soweit dort ständige Arbeitsplätze vorhanden sind | 50 |
| 6 | Sonstige Räume, die nicht nur vorübergehend zum Aufenthalt von Menschen bestimmt sind | Entsprechend der Schutzbedürftigkeit der jeweiligen Nutzung festzusetzen |

oder auch den Aufsichts- und Genehmigungsbehörden.

Sekundärer Luftschall ist eine Sonderform verkehrsinduzierter Geräusche. Die Beurteilungsgrundsätze müssen daher insbesondere aus Regelungen und Grundsätzen, wie sie auch sonst im Bereich des Verkehrslärms Anwendung finden, abgeleitet werden. Ein Anhaltspunkt für die Bestimmung von zulässigen Innenraumpegeln verkehrsinduzierter Immissionen kann aus der 24. BImSchV (Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung) abgeleitet werden. Dort werden Angaben über das erforderliche Schalldämmmaß der Außenbauteile (Wände, Fenster...) in Abhängigkeit vom Außenpegel gemacht. Aus dem dort genannten Korrektursummanden D sowie einem weiteren Korrekturwert von 3 dB (Korrekturwert der unterschiedlichen Dämmwirkung von Außenbauteilen bei gerichtetem Schall gegenüber dem diffusen Schallfeld berücksichtigt) können die in Tab. 19.26 aufgeführten, zumutbaren Innenraumpegel entsprechend der unterschiedlichen Nutzung abgeleitet werden.

Wie auch sonst bei der Beurteilung von Verkehrslärm und insbesondere Schienenverkehrslärm allgemein üblich, werden somit nur Beurteilungspegel und keine Spitzenpegel betrachtet. Entsprechend den obigen Ausführungen betragen die höchstzulässigen Innengeräuschpegel (Mittelungspegel) somit für:

Wohnräume 40 dB (A), tags

Schlafräume 30 dB (A), nachts.

Dies entspricht auch der Zumutbarkeitschwelle, wie sie von der Rechtsprechung der Verwaltungsgerichte bereits in der Zeit vor Inkrafttreten der Verkehrslärmschutzverordnung (16. BImSchV) als Maßstab angesetzt und vom Verordnungsgeber offensichtlich bei der Abfassung der 24. BImSchV als Grundlage genommen wurden. Allerdings ist die hier vorgestellte Beurteilungsgrundlage nicht ganz unumstritten. Vielfach wird von Einwendern, wie auch den Landesumweltbehörden gefordert, eine Beurteilung in Anlehnung an die eigentlich nicht für den Verkehrslärm einschlägige Verwaltungsvorschrift TA-Lärm (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm, Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz) vorzunehmen. Allerdings wurde zuletzt die Rechtsauffassung der DB in einem Urteil vor dem Bundesverwaltungsgericht bestätigt¹.

Für den sekundären Luftschall gilt gleichermaßen der Grundsatz, dass bei Änderungen an bestehenden Verkehrsanlagen eine vorhandene Belastung schutzmindernd anzurechnen ist, und dass bei Überschreitung der oben dargelegten Richtwerte zu überprüfen ist, ob es durch die Baumaßnahme zu einer erheblichen Verschlechterung kommt. Als Grundlage ist hier wie bei Schallimmissionen allgemein üblich eine Pegelerhöhung in Höhe der Wahrnehmbarkeitsschwelle von 3 dB(A) als wesentlich anzusehen.

¹ BVerwG Urteil vom 21. Dezember 2010 Az. 7 A 14.09.

Tab. 19.27 Innenraumpegel für den sekundären Luftschall nach der BEKS für die Schweiz

| | Planungsrichtwerte Innenraumpegel L_{eq} [db(A)] | | Immissionsrichtwerte Innenraumpegel L_{eq} [db(A)] | |
|---|--|-----------------|--|-----------------|
| | Tag | Nacht | Tag | Nacht |
| | 16 Std. L_{eq} | 1 Std. L_{eq} | 16 Std. L_{eq} | 1 Std. L_{eq} |
| Reine Wohnnutzung und öffentliche Nutzung (Schulen u. Krankenhäuser) | 35 | 25 | 40 | 30 |
| Mischzonen, städtische Kernzonen, ländliche Dorfzonen, Landwirtschaftszonen, vorbelastete reine Wohnzonen | 40 | 30 | 45 | 35 |

Beurteilung von Erschütterungen und sekundärem Luftschall in der Schweiz und Österreich

Für die **Schweiz** wurde vom Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) eine spezielle Weisung für die Beurteilung von Erschütterungen und Körperschall bei Schienenverkehrsanlagen (BUWAL, BEKS 1999) herausgegeben. Die Beurteilung der Erschütterungsimmissionen beim Neubau hat demnach nach der DIN 4150–2 zu erfolgen. Werden die dort genannten Anhaltswerte überschritten, sind Minderungsmaßnahmen nach dem Vorsorgeprinzip vorzusehen. Bei Änderungen an bestehenden Bahnanlagen müssen Vorsorgemaßnahmen getroffen werden, soweit durch die bauliche oder betriebliche Veränderung eine Zunahme der Vorbelastung um mindestens 40% der Beurteilungsschwingstärke $KB_{FT,r}$ zu erwarten sind. Für den sekundären Luftschall (in der Schweiz als Körperschall bezeichnet) werden einzuhaltende Innenraumpegel L_{eq} als energieäquivalente Mittelungspegel über den Beurteilungszeitraum nach Tab. 19.27 angegeben. Die „Planungsrichtwerte“ gelten für neu zu bauende Schienenverkehrswege, die „Immissionsrichtwerte“ gelten für Um- oder Ausbauten von bestehenden Anlagen. Für den Nachtzeitraum gilt jeweils der auf die lauteste Stunde zwischen 22:00 und 06:00 bezogene Pegel.

Derzeit wird an einer umfangreichen Regulierung gearbeitet, wonach auch an Bestandsstrecken unter gewissen Bedingungen Maßnahmen zur Verringerung der Erschütterungsimmissionen vorgenommen werden müssen. Einzelheiten hierzu können der Veröffentlichung von Meloni entnommen werden [63].

In **Österreich** enthalten die Richtlinien und Vorschriften für das Eisenbahnwesen (RVE

04.02.01 bis RVE 04.02.03) umfangreiche Hinweise zur Ermittlung und Prognose von Erschütterungen und sekundärem Luftschall. Die Beurteilung und der Vergleich mit den Immissionsrichtwerten sowohl für Erschütterungen wie auch für sekundärem Luftschall erfolgt nach den Regelungen der ÖNORM S 9012. Für die Erschütterungswirkungen wird für die Beurteilung aus den Zeitverläufen der Schwingschnelle oder -beschleunigung die W_m -bewertete Schwingbeschleunigung a_w ermittelt. Hieraus wird dann der maßgebliche Vorbeifahrts-Erschütterungsscheitelwert $a_{w,s}$ und die im jeweiligen Beurteilungszeitraum (Tag/Nacht) einwirkende Vorbeifahrts-Erschütterungsdosis E_v gebildet. Diese werden dann entsprechend den Richtwerten für das maximal zulässige Beurteilungs-Erschütterungsmaximum E_{max} sowie der zulässigen Beurteilungs-Erschütterungsdosis beurteilt.

Die Richtwerte werden jeweils für einen „ausreichenden Erschütterungsschutz“ und für Anforderungen an „guten Erschütterungsschutz“ sowie nochmals nach unterschiedlichen Gebietseinstufungen unterteilt angegeben. In Steinhauser (2010) wird das österreichische Verfahren dem KB-Wert-Verfahren der deutschen DIN 4150 gegenübergestellt und verglichen. Für den sekundären Luftschall ist nach der genannten ÖNORM zunächst der mittlere A-bewertete energieäquivalente Dauerschallpegel (L_{Aeq}) des gesamten Zugverkehrs zu ermitteln. Zusätzlich ist noch der mittlere A-bewertete Maximalpegel ($L_{A,max,m}$) der lautesten Zugtype zu bilden. Für den mittleren A-bewerteten Maximalpegel werden dort nach Tageszeit und Gebietseinstufung sowie zwischen „guten“ und „ausreichenden Schallschutz“ unterschiedene Anhaltswerte zwischen 30 und 65 dB(A) genannt. Zusätzlich ist

auch noch der A-bewertete energieäquivalente Dauerschallpegel zu beurteilen. (Hinweis: Im Unterschied zur in Deutschland üblichen „FAST“-Bewertung (125 ms) wird in Österreich i. d. R. die Zeitbewertung „SLOW“ verwendet. Die Werte sind daher nicht direkt vergleichbar und liegen erfahrungsgemäß beim Schienenverkehr ca. 3–4 dB unter denen der FAST-Bewertung.)

19.3.2.4 Minderung von Erschütterungsimmissionen (Schutzmaßnahmen)

Allgemeine Grundlagen

Wird im Rahmen der zu erstellenden Prognosen für Erschütterungen und sekundären Luftschall eine Überschreitung der Anspruchskriterien für einen oder mehrere Immissionsorte festgestellt, so ist der Vorhabensträger planungsrechtlich dazu verpflichtet, geeignete Maßnahmen vorzusehen um die Immissionen unterhalb der gültigen Anspruchskriterien zu vermindern. Dies begründet für den betroffenen Anlieger „einen Anspruch dem Grunde nach“ auf entsprechende Schutzmaßnahmen. Einzelheiten über deren Umsetzung werden im laufenden Planfeststellungsverfahren geregelt und als Auflage im Planfeststellungsbeschluss festgehalten.

Neben der technischen Realisierbarkeit müssen entsprechend den allgemeinen Grundsätzen des Immissionsschutzrechts die Aufwendungen für Schutzmaßnahmen in einem angemessenen Verhältnis zum Schutzzweck stehen. Es ist daher für jeden Einzelfall eine sorgfältige Abwägung zwischen der technischen Machbarkeit, den Kosten und dem zu erzielenden Nutzen durchzuführen. Eine Pauschalierung der möglichen Maßnahmen ist daher nicht möglich.

Die Beschreibung der Leistungsfähigkeit und Wirksamkeit einer Maßnahme und der Berücksichtigung in Prognoserechnungen ist über den Begriff der Einfügedämmung üblich. Hierunter versteht man die relative Wirkung einer Minderungsmaßnahme gegenüber einer Referenzsituation (z. B. Oberbauvariante I – Oberbauvariante II). Auch die Dämmwirkung ist im Verlauf des Frequenzspektrums unterschiedlich ausgeprägt und muss daher spektral (frequenzabhängig) an-

gegeben werden. In vielen Fällen ist die Wirkung auch nicht über das gesamte Frequenzspektrum gegeben, sondern es kommt häufig in einzelnen Frequenzbändern zu einer verminderten Wirksamkeit oder sogar zu einer Verstärkung. Die Einfügedämmung kann aus vergleichenden Messungen zweier Einbausituationen, aus Messungen an einem Prüfaufbau im Labor oder auch durch rechnerische Simulationsrechnungen gewonnen werden. Einzelheiten hierzu enthält die DIN 45673.

Immissionsschutzrechtlich besteht zunächst die Verpflichtung, vorrangig eine Verminderung der Entstehung und Ausbreitung der störenden Emissionswirkungen zu erzielen. Diese werden oft als „aktive Minderungsmaßnahmen“ bezeichnet. Erst wenn diese technisch nicht möglich oder nicht in einem angemessenen Verhältnis zwischen Aufwand und Nutzen zu realisieren sind, kann auf Minderungsmaßnahmen am Immissionsort (passive Minderungsmaßnahmen) ausgewichen werden. Falls keine entsprechenden Maßnahmen möglich sind oder nicht in einem ausreichenden Maß zur Verfügung stehen, ist ggf. eine angemessene Entschädigung zu leisten. Hierdurch wird jedoch das eigentliche Problem in keiner Weise gemindert oder gelöst, weswegen diese auch nicht als Minderungsmaßnahmen einzustufen sind.

Emissionsmindernde Maßnahmen (aktive Maßnahmen)

Hierunter fallen alle Maßnahmen, die zur Verminderung der Entstehung oder der Einleitung und Ausbreitung der Erschütterungen in den Baugrund beitragen. Grundsätzlich sind hierzu auch Maßnahmen am Fahrzeug zu zählen, die jedoch vom Vorhabensträger einer Infrastrukturbaumaßnahme nur sehr bedingt zu beeinflussen sind. Bei den Fahrzeugen ist ein guter Unterhaltungszustand der Fahrwerke und insbesondere der Räder (Beseitigung von Unrundheiten, Unwuchten Flachstellen u.s.w.) von Bedeutung. In Bezug auf den Fahrweg ist in erschütterungssensiblen Abschnitten besonders auf eine gute Gleislage sowie auf die Vermeidung von Schwellenhohllagen und starker Schienenverriffelung oder Schlupfwellenbildung zu achten.

Da der zu beurteilende Immissionspunkt bei Erschütterungen immer innerhalb eines Gebäudes – und nicht wie beim Luftschall unabhängig vom Gebäude – ist, kann die Wirkung nicht ganz losgelöst von der zu schützenden Bebauung betrachtet werden. Hinzu kommt die starke spektrale Ausprägung in der Wirksamkeit der verschiedenen Schutzmaßnahmen. Dies macht die Auswahl und Bestimmung der geeigneten Schutzmaßnahme ungleich schwieriger als beim Luftschall. Die Maßnahmen müssen daher sehr speziell projektspezifisch auf den vorhandenen Anwendungsfall ausgewählt und konkret geplant werden. Es ist daher auch nur sehr bedingt möglich, erfolgreich ausgeführte Maßnahmen von einem Anwendungsfall auf einen anderen zu übertragen. Eine allgemeine Zusammenstellung verschiedener ausgeführter Beispiele findet sich in der Literatur [59, 62, 68] einschließlich einer Vielzahl projektspezifischer Berichte in Zeitschriften.

Die Realisierung von Erschütterungs-minderungsmaßnahmen ist in vielen Fällen mit hohen zusätzlichen Kosten verbunden. Zu den primären Kosten der Schutzmaßnahme an sich kommen vielfach weitere sekundäre Kosten, wie Anpassungen im Aufbau des Untergrundes, zusätzlicher Platzbedarf im Regelprofil und Folgekosten bei der Unterhaltung. Bei einer Zusage zur Realisierung von Schutzmaßnahmen sind daher strenge Kriterien anzulegen.

Maßnahmen im Bereich des Fahrwegs zielen in vielen Fällen darauf ab, durch Einfügen von zusätzlichen elastischen Komponenten zum einen die Einleitung der dynamischen Kräfte in den Untergrund zu verringern sowie zum anderen die schwingungsdynamischen Eigenschaften des Oberbaus gezielt zu verändern. Für die Ermittlung der jeweiligen Kennwerte sind umfangreiche Prüfverfahren erforderlich (DIN 45673, [67]).

Hochelastische Schienenstützpunkte

Im Bereich des innerstädtischen Schienenverkehrs (Straßenbahnen, U-Bahnen u. ä.) wurde eine Vielzahl von Sonderkonstruktionen entwickelt, um durch hochelastische Schienenstützpunkte die Eintragung von Schwingungen wirk-

Tab. 19.28 zulässige Steifigkeiten für Unterschottermatten in Abhängigkeit von Radsatzlast und Geschwindigkeitsbereich nach DBS-918071

| Geschwindigkeit v [km/h] | Radsatzlast [kN] | stat. Bettungsmodul c_{stat} [N/mm ³] |
|-------------------------------|---------------------|---|
| ≤ 120 | ≤ 160 | $\geq 0,02$ |
| | > 160 | $\geq 0,03$ |
| $120 < v < 200$ | – | $\geq 0,06$ |
| ≥ 200 | – | $\geq 0,10$ |

sam zu verringern. Hierbei konnte vor allem eine gute Minderung des sekundären Luftschalls erzielt werden. Aufgrund der höheren Lasten und gefahrenen Geschwindigkeiten sind im Bereich der Vollbahnen der zulässigen Elastizität und den daraus resultierenden Verformungen enge Grenzen gesetzt. Es sind daher auch nur geringe Minderungen möglich. Eine echte Erschütterungsminderung ist damit nicht zu erreichen.

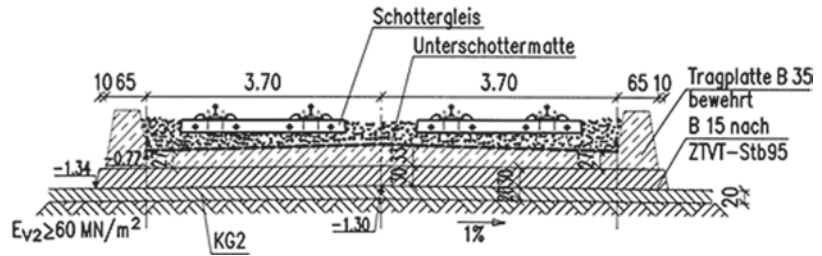
Elastische Schwellenbesohlung

Hier wird eine zusätzliche elastische Schicht am Kontaktbereich zwischen Schwelle und Schotter eingefügt. Je nach der zulässigen Elastizität (z. B. in Abhängigkeit der Geschwindigkeit) kann hier eine schwingungsmindernde Wirkung ab ca. 40 Hz erzielt werden. Im Bereich der Deutschen Bahn sind nach DBS 918 145 zugelassene Produkte zu verwenden.

Unterschottermatten

Unterschottermatten werden als elastisches Flächenlager an der Kontaktstelle Schotter/Untergrund verwendet. Sie werden seit vielen Jahren erfolgreich zur Verminderung von Erschütterungen und sekundärem Luftschall vor allem in Tunneln eingesetzt. Die wichtigste Kenngröße zur Unterscheidung der Wirksamkeit ist die Elastizität, die i. d. R. als Bettungsmodul angegeben wird. Für die schwingungsmindernde Wirkung entscheidend ist dabei die Elastizität unter dynamischer Belastung (dynamischer Bettungsmodul, c_{dyn} [N/mm³]) im Vergleich zur statischen Steifigkeit. Die Einsatzbereiche und zulässigen Steifigkeiten im Netz der DB AG sind in Deutsche Bahn-Standards (DBS) geregelt. Die im Bereich der Deutschen Bahn zugelassenen Steifigkeiten können Tab. 19.28 entnommen werden.

Abb. 19.7 in Ortbetongleistrog eingespannter Schotteroberbau und integrierte Unterschottermatte



Voraussetzung für eine gute Wirksamkeit der Unterschottermatte ist ein ausreichend steifer Untergrund (Eingangsimpedanz). Im Gegensatz zum Tunnel mit der steifen Sohlenkonstruktion ist dies auf dem Erdplanum der oberirdischen Strecke i. d. R. nicht gegeben. Hier muss daher erst durch die Ausbildung einer steifen Unterkonstruktion, z. B. durch einen Betontrog, die entsprechende Voraussetzung geschaffen werden. Dies macht die Maßnahme vergleichsweise aufwändig und beschränkt den Einsatzbereich auf Sonderfälle. Einen beispielhafter Aufbau zeigt Abb. 19.7. Über ein anderes Beispiel wird z. B. bei Müller-Boruttan et al. (64) berichtet. An weiteren Lösungsmöglichkeiten wird gearbeitet, jedoch sind den Möglichkeiten für effektive Erschütterungsminderung an oberirdischen Strecken Grenzen gesetzt.

Masse-Feder-Systeme

Als Masse-Feder-System (MFS) werden Bauweisen bezeichnet, bei denen zusätzlich zu dem

elastischen Element und der eigentlichen Fahrwegkonstruktion noch eine Zusatzmasse (meistens als Ortbetongleistragplatte oder -trog ausgebildet) angeordnet wird. Durch die hohe abgefederte Eigengewichtsmasse und die aufgrund der lastverteilenden Wirkung der Platte zulässigen Verformungen (Einfederungen im elastischen Lager) können auch Lagerungseigenfrequenzen deutlich unter 10 Hz erzielt werden. Damit lässt sich auch bei Gebäuden mit sehr tiefen Deckeneigenfrequenzen eine gute Einfügedämmleistung erreichen.

Masse-Feder-Systeme werden als leichte, mittlere und schwere Masse-Feder-Systeme unterschieden. Die leichten Masse-Feder-Systeme haben dabei meistens eine flächige Auflagerung, bei den mittleren und schweren Masse-Feder-Systemen sind die Elastomerlager als Einzelstützpunkt ausgebildet. Der generelle Aufbau eines flächig gelagerten Masse-Feder-Systems ist aus Abb. 19.8 ersichtlich.

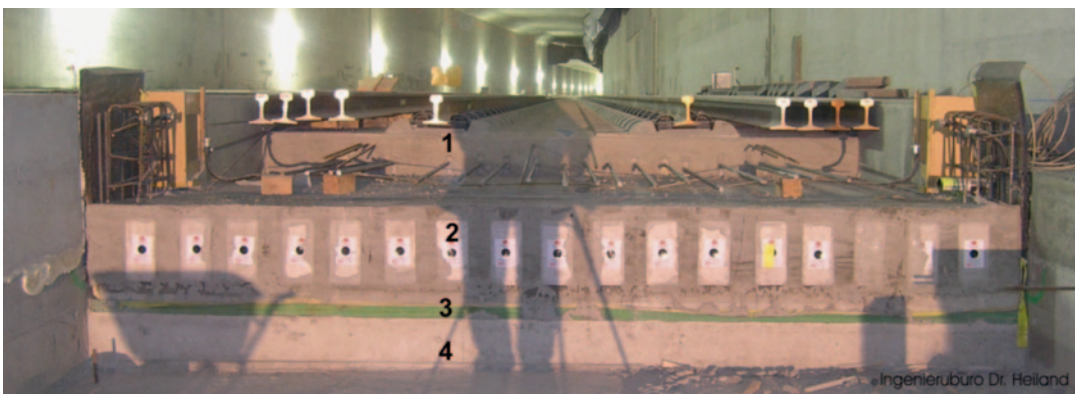


Abb. 19.8 Leichtes Masse-Feder-System mit: 1 Oberbau als Feste Fahrbahn, 2 Gleistragsmasseplatte mit längsverlauflichen Querkraftdübeln, 3 elastische Matte 50 mm, 4 Ausgleichs- und Sohlbeton (Foto, Dr. Heiland, Bochum)

Masse-Feder-Systeme erfordern eine deutlich größere Konstruktionshöhe als der übliche Oberbau. Entsprechende Abschnitte müssen daher bereits frühzeitig bei der Planung mit berücksichtigt werden, um die übrigen Abmessungen (z. B. Tunnelquerschnitt) daraufhin anzupassen. Bei Lenz et al. [61] werden weitere Hinweise zur Dimensionierung von Masse-Feder-Systemen angeführt. Die elastischen Lager sind nach DIN 45673-7 zu prüfen.

Ähnlich wie bei den Unterschottermatten ist auch hier eine Anwendung auf Tunnel beschränkt.

Abschirmende Maßnahmen im Transmissionsweg

Es wurden bisher die verschiedensten Maßnahmen versucht, um durch schwere Abschirmwände oder leichte mit einem weichen Medium gestützte Schlitze die Ausbreitung der Schwingungen auf dem Weg vom Gleis zu den Gebäuden zu verhindern. Eine nennenswerte abschirmende Wirkung war dabei nur in unmittelbarer Nähe hinter den Wänden festzustellen. Eine großräumige Abschirmung der dahinter liegenden Bebauung (vergleichbar mit Schallschutzwänden) ist daher nicht möglich, so dass sich diese Lösungen bisher nicht durchsetzen konnten.

Passive Maßnahmen am Immissionsort

Wird ein Gebäude neu in unmittelbarer Nähe eines Schienenverkehrswegs oder über einen Eisenbahntunnel gebaut, so kann mit einer elastischen Lagerung des Gebäudes auf Elastomergelager oder Stahlfederelementen eine sehr gute Schwingungsminderung erzielt werden. Bei bestehenden Gebäuden kann in Einzelfällen eine seitliche Abschirmung mit elastischen Matten eine Minderung der eingetragenen Schwingungen am Übergang zwischen Baugrund und Gebäudefundamente bewirken. Theoretisch könnte auch durch eine Veränderung der Deckenkonstruktion versucht werden, die Decke zu „verstimmen“ und damit die Resonanzfrequenzen außerhalb der pegelbestimmenden Anteile des Erschütterungssignals zu legen. In der Praxis wird dies aber nicht ohne erhebliche Eingriffe in den Grundriss und die Konstruktion des Gebäudes möglich sein, so dass dies normalerweise ausscheidet.

Abschließende Hinweise und Abwägung

Eine wirksame und praktikable Vermeidung von tieffrequenten Erschütterungen ist daher in den meisten Fällen nur in Tunneln durch Einbau von Unterschottermatten und vor allem als Masse-Feder-Systeme ausgebildete Oberbauformen möglich. Nur wenn zwischen den Kosten der aktiven Schutzmaßnahmen und dem Nutzen für die zu schützende Bebauung (wenn z. B. nur für ein Gebäude ein Anspruch besteht) ein offensichtliches Missverhältnis besteht, kann auf andere Maßnahmen oder notfalls Entschädigungen zurückgegriffen werden. Dies ist bei der Abwägung und Entscheidung über die Durchführung von Schutzmaßnahmen zu beachten. In den frühen Planungsphasen werden die Erschütterungswirkungen aufgrund der verschiedenen, nicht zu vermeidenden Unsicherheiten in den Prognoseansätzen etwas überschätzt. Soweit möglich, sollten z. B. durch überprüfende Messungen der Übertragungswege nach Fertigstellung des Rohbaus diese noch einmal verifiziert werden, um einen zu hohen Aufwand zu vermeiden.

19.4 Vegetationskontrolle

Gerhard Hetzel

19.4.1 Grundlagen und Definitionen

In Kulturlandschaften wie in Deutschland unterliegen praktisch alle Lebensräume menschlichen Eingriffen und haben zumindest indirekt mehrere Funktionen für die Gesellschaft. Neben tendenziell multifunktional wirkenden Lebensräumen (z. B. Wald) kommt anderen Lebensräumen eine eher *spezifische Nutzfunktion* zu (z. B. Bahntrassen und deren Randbereiche). Am Beispiel der *Bahntrassen* der DB AG erfordern die sehr spezifischen Funktionen der Trassenbegleitvegetation zum Schutz von Oberleitungen, Gleisbett und Schienen und dem Zugverkehr entsprechend durchdachte, spezifische und auf die zu erzielende oder zu vermeidende Vegetation differenziert ausgerichtete Pflegemaßnahmen.

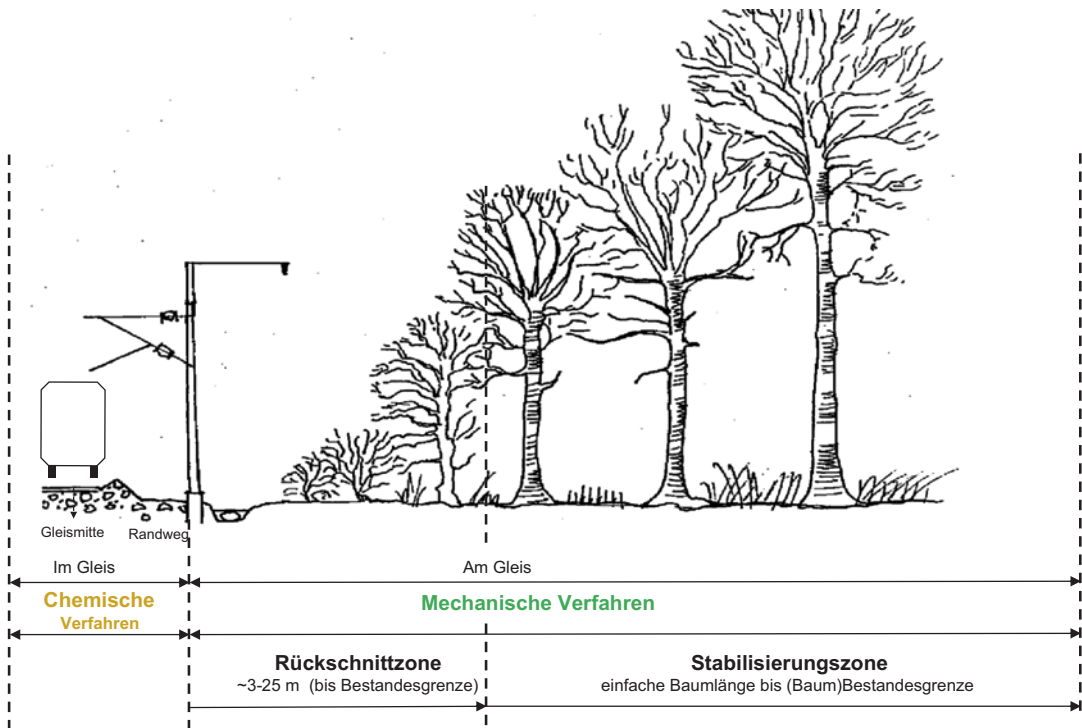


Abb. 19.9 Sicherheitsrelevanter Einflussbereich der Vegetation, Art der Vegetationskontrolle sowie Ausdehnung der Rückschnittzone und der Stabilisierungszone

Der Flächenumfang der DB Netz AG beträgt ca. 1.300 km² und ist damit halb so groß wie die Fläche von Luxemburg. Der Fahrweg mit Gleisbett, Randweg und Böschungen nimmt mit ca. 1100 km² den größten Flächenanteil ein, wobei Gleisflächen mit Schotterkörper und Randweg davon ca. 400 km² umfassen. Bei den verbleibenden 200 km² handelt es sich um sog. „nichtaktive Verkehrsflächen“, wie Gewerbegebiete oder Kleingartenflächen. Die Schienenwege der Deutschen Bahn liegen in einem durchschnittlich ca. 20 m breiten Korridor. Wahrscheinlich führte die durch Dampflokbetrieb notwendige Anlage von Brandschutzstreifen entlang der Gleise zu diesem hohen Flächenbedarf.

Der Waldanteil an der Bahn dürfte über dem bundesdurchschnittlichen Bewaldungsanteil von ca. 30% liegen, da selbst in den gehölzarmen städtisch oder agrarisch geprägten Landschaftsbereichen die Bahnböschungen noch mit Gehölzen bestockt sind. Ziel einer Trassenpflege ist deshalb in erster Linie die Offenhaltung von

störenden und die Betriebssicherheit gefährdenden Gehölzen.

Zur Gewährleistung eines sicheren Bahnbetriebs hat die DB AG einen *Sicherheitsrelevanten Bereich* (Abb. 19.9) definiert, in dem Pflanzen den Bahnbetrieb beeinflussen können. Dieser Bereich umfasst sowohl den Gleisbereich als auch außerhalb gelegene Flächen von variabler Ausdehnung. Im sicherheitsrelevanten Bereich hat die Sicherheit des Eisenbahnverkehrs Vorrang vor den Belangen des Naturschutzes (Abschn. 19.5).

Innerhalb des sicherheitsrelevanten Bereichs unterscheidet man den *Bereich im Gleis*, der den gesamten Bereich des Oberbaus mit Schienen, Schotterkörper und Randwegen umfasst und den *Bereich am Gleis*, der die an den Gleisbereich angrenzende Zone mit variabler Ausdehnung umspannt. Während im *Bereich im Gleis* überwiegend chemische Verfahren zur Reduzierung des Pflanzenbewuchses angewendet werden, um einen sicheren Betrieb zu gewährleisten, kommen im *Bereich am Gleis* ausschließlich mechanische Verfahren zur Anwendung.

Der *sicherheitsrelevante Bereich am Gleis* ist in eine Rückschnittzone und eine Stabilisierungszone eingeteilt. Die *Rückschnittzone* grenzt direkt an den Gleisbereich. Sie stellt einen Bereich intensiver Vegetationsbearbeitung dar. Zur Gewährleistung der Betriebssicherheit wird hier die Vegetation i. d. R. in einem ein- bis dreijährigen Turnus zurückgeschnitten, abhängig von den örtlichen Anforderung und der Wuchsleistung der Vegetation. Selektive Maßnahmen sind hier die Ausnahme. Die Rückschnittszone ist deshalb weitgehend frei von Baumbewuchs.

Die Ausdehnung der Rückschnittzone ist variabel und reicht von der Gleismitte mindestens 6 m bis – in Abhängigkeit von Morphologie, Bewuchs und Erfordernissen aus dem Betrieb – zur (Wald)-Bestandsgrenze. Die Rückschnittzone liegt i. d. R. auf Grundeigentum der Bahn.

Die *Stabilisierungszone* ist eine gehölzreiche Zone, die sich an die Rückschnittzone anschließt. Hier kommen waldbauliche Verfahren zur Anwendung. Die Gehölzbestände sind überwiegend älter als 10 Jahre. Rückschnittmaßnahmen erfolgen im mehrjährigen Turnus. Grenzt an die Rückschnittzone gehölzfreies Gelände an, entfällt die Stabilisierungszone. Die Stabilisierungszone kann auch über das Grundeigentum der Bahn hinaus reichen.

Auch in der Schweiz wird im Bereich der Schweizerischen Bundesbahnen (SBB) ein „Sicherheitsstreifen“ definiert, der in verschiedenen Zonen eingeteilt ist. Eine gehölzfreie Zone („intensive Unterhaltungszone“) definiert den minimalen Abstand und die maximale Höhe der Gehölze zur Gleisachse. Es schließt eine „Niederhaltezone“, eine „stabile Waldzone“ und eine „Kontrollzone“ an. In der „Niederhaltezone“ wird der Aufwuchs nur bis zu einer definierten Größe toleriert. Die „Intensive Unterhaltungszone“ und „Niederhaltezone“, entsprechen der *Rückschnittzone* bei der Deutschen Bahn. Die Ausdehnung der „Niederhaltezone“ hängt bei der SBB von Zugfrequenz und -geschwindigkeit ab, bei der Deutschen Bahn von den örtlichen Anforderungen. Zielsetzungen der „Stabilen Waldzone“ und „Kontrollzone“ der SBB entsprechen weitgehend auch der in der *Stabilisierungszone* der Deutschen Bahn.

19.4.2 Vegetationskontrolle für den Bereich im Gleis

Der technische Zustand des Oberbaus kann durch Pflanzenbewuchs in vielerlei Hinsicht beeinträchtigt werden. Durch Abrieb entstandenes und über andere Einträge eingebrachtes Feinmaterial bindet zusammen mit den Verrottungsprodukten der Pflanzen Wasser im Schotterbett, so dass es zu unkontrollierten Kraftableitungen kommen kann. Dadurch kann die *Lagestabilität des Schotteroberbaus* beeinträchtigt werden. Auch der natürliche Alterungsprozess des Schotteroberbaus kann durch Pflanzen im Schotter verstärkt bzw. beschleunigt werden. Dies führt zu deutlich verkürzter Lebensdauer des Oberbaus oder deutlich erhöhten Instandhaltungsaufwendungen. Als Folgen sind häufigerer Umbau oder vorzeitige Bettungsreinigungen notwendig.

Zur *Gewährleistung der Arbeitssicherheit* muss der Gefahrenbereich der Gleise sicher verlassen und der Sicherheitsraum aufgesucht werden können. Bewachsene Arbeitswege und verdeckte technische Einrichtungen erhöhen die Unfallgefahren. Pflanzenwuchs behindert zudem Wartungsarbeiten und kann die Sicht auf *boden-nahe Signaleinrichtungen* beeinträchtigen.

Insbesondere bei länger anhaltenden Trockenperioden führt eine ausgeprägte Vegetationsbedeckung zu erhöhter *Brandgefahr*.

Bei der *Inspektion der Gleisanlagen* kann Pflanzenbewuchs die Sichtbarkeit auf Konstruktionselemente einschränken. Auch elektrische Signaleinrichtungen, die mit ihren Stromkreisen über die Schienen als Leiter funktionieren, können durch Vegetation beeinflusst werden. Die Schienen müssen gegeneinander einen definierten elektrischen Widerstand aufweisen, der mindestens 2,5 Ohm x km Gleis betragen muss (Bettungswiderstand). Die Werte können jedoch durch Aufwuchs- oder Verschmutzung herabgesetzt werden und so zu Signalstörungen führen.

Die im Gleisbereich eingesetzten Methoden zur Beseitigung unerwünschter Vegetation werden in chemische und nicht-chemische Verfahren unterschieden. Aufgrund der besseren Wirkung und der höheren Effizienz hinsichtlich Kosten und Arbeitsgeschwindigkeit gegenüber den

Tab. 19.29 Seit 2008 eingesetzte Herbizide und Aufwandsmengen (Wirkstoffe: Glyphosat, Flumioxazin, Flazasulfuron)

| Jahr | Behandelte Gleislänge in km | Wirkstoffverbrauch in kg insgesamt | Wirkstoffverbrauch in kg pro ha |
|------|-----------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| 2008 | 42.912 | 77.686 | 3,28 |
| 2009 | 46.841 | 79.627 | 3,08 |
| 2010 | 57.378 | 85.628 | 2,86 |
| 2011 | 57.861 | 91.530 | 2,95 |

nicht-chemischen Verfahren werden *im Gleisbereich* chemische Verfahren eingesetzt.

Bei den *chemischen Verfahren* werden Herbizide eingesetzt. Dies sind chemische Verbindungen, die Pflanzen zum Absterben bringen (Blattherbizide) oder Pflanzensamen an der Keimung hindern (Bodenherbizide). Herbizide müssen speziell für den Anwendungsbereich Gleis zugelassen sein und dürfen auf Gleisanlagen nur mit behördlicher Genehmigung nach § 12 (2) Pflanzenschutzgesetz (PflSchG) ausgebracht werden. Die für die Genehmigung zuständige Behörde ist das Eisenbahn-Bundesamt.

Der Umfang der chemischen Behandlung schwankte von 2008 bis 2011 zwischen 70 und 95 % der Gesamt-Gleisflächen (Tab. 19.29). Die Aufwandsmengen an Herbiziden betragen zwischen 78 und 92 t pro Jahr für den Bereich der Deutschen Bahn. Der Absatz von Pflanzenschutzmitteln in Deutschland im Jahr 2008 betrug nach Angabe des Umweltbundesamtes ca. 43.420 t. Die Bahn hat demnach in 2008 ca. 0,2 % der Gesamtaufwandmenge an Herbiziden in Deutschland ausgebracht.

Bei der Ausbringung unterscheidet man zwischen gleisgebundenen Spritzzügen und Zweifahrzeugen. Die Spritzzüge werden auf den Streckengleisen eingesetzt, da sie aufgrund ihrer Arbeitsgeschwindigkeit von ca. 40 km/h (mit der entsprechenden Applikationstechnik) und der großen Wasservorräte für längere Strecken am besten geeignet sind. In den Bahnhofsgleisen werden hingegen Zweifahrzeuge eingesetzt, da sie mit einer Arbeitsgeschwindigkeit von ca. 20 km/h und kleineren Tankvolumina für diesen Einsatzbereich ausreichend sind. Darüber hinaus sind sie flexibel einsetzbar, weil sie über die Straße an ihre jeweiligen Einsatzorte gelangen können.

Die Deutsche Bahn AG hat in den vergangenen Jahren zahlreiche Versuche mit *nicht-che-*

mischen Verfahren durchgeführt. Die Versuche haben gezeigt, dass nicht-chemische Verfahren im Vergleich zu chemischen Verfahren eine niedrigere Arbeitsgeschwindigkeit, deutlich geringere Effizienz sowie deutlich höhere Kosten aufweisen. Aus diesen Gründen ist ein flächendeckender Einsatz dieser Verfahren nicht möglich.

19.4.3 Vegetationskontrolle für den Bereich am Gleis

Gehölze und große krautige Pflanzen können ab einer gewissen Höhe und einem gewissen Alter eine Gefahr für den sicheren Bahnbetrieb und seine baulichen und technischen Anlagen darstellen. Aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen an die Vegetation lassen sich zwei Bereiche am Gleis abgrenzen. Die *Rückschnittzone* ist durch zahlreiche Vorschriften aus dem Eisenbahnbetrieb charakterisiert, die *Stabilisierungszone* ist gekennzeichnet durch Maßnahmen zur Gewährleistung der Verkehrssicherheit von (Baum-)Bewuchs.

In der *Rückschnittzone* muss verhindert werden, dass die Pflanzen gefährdende Höhen und Ausdehnungen erreichen. Regelmäßige Rückschnitte sind notwendig, damit die Mitarbeiter den *Gefahrenbereich* der Gleise sicher verlassen können. Die Ausdehnung von Gefahrenbereich und Sicherheitsraum kann bis zu 4,20 m von der Gleisachse betragen. Die *Gleisentwässerung* durch die Bahnseitengraben darf nicht durch Pflanzenbewuchs behindert werden.

In der Nähe von *elektrischen Anlagen* dürfen Vegetationsbestände zum Schutz vor Überschlägen bestimmte Mindestabstände nicht unterschreiten. Der einzuhaltende Mindestabstand von Oberleitungsanlagen zur Vegetation beträgt mindestens 2,5 m. Der Abstand von Speiseleitungen und anderen Leitungen (z. B. Verbindungsleitun-

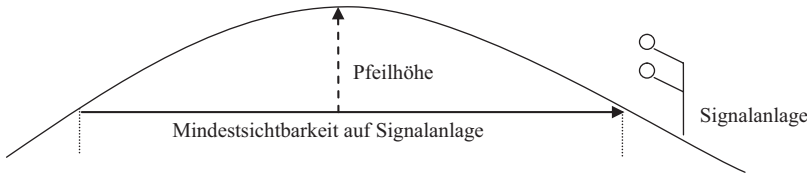


Abb. 19.10 Beispielhafte Darstellung der Pfeilhöhe. Der Triebfahrzeugführer muss auch in Gleisbögen das Signal ununterbrochen erkennen können. Die Ausprägung der Rückschnittzone zur Herstellung der Signalsicht lässt sich

durch die Pfeilhöhe berechnen. Die Pfeilhöhe ist u. a. abhängig vom Bogenradius und der erforderlichen Mindestsichtbarkeit

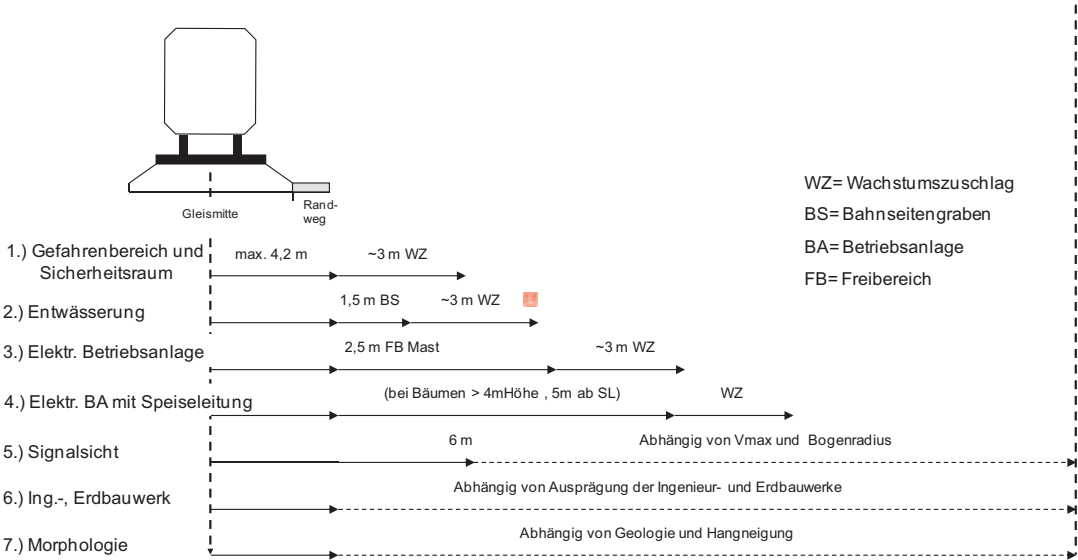


Abb. 19.11 Orgelpfeifendiagramm. Übersicht der anforderungsbedingten unterschiedlichen Ausmaße der Rückschnittzone

gen, Umgehungsleitungen, Bahnstromleitungen) zu Bäumen über 4 m Höhe muss auf 5 m vergrößert werden. Zur Bedienung von *mechanisch bedienten Signalen* müssen Stelleleitungen und Spannwerke regelmäßig freigeschnitten werden.

Die freie *Sicht auf Signalanlagen* muss gewährleistet sein. In Abhängigkeit von Gleisbogenradien ergeben sich dabei unterschiedliche Ausprägungen der Rückschnittzone (Pfeilhöhen) zur Herstellung der Sichten (Abb. 19.10). Die Pfeilhöhe ist abhängig u. a. vom Bogenradius und der erforderlichen Mindestsichtbarkeit. In der Praxis werden auf der freien Strecke Pfeilhöhen bis zu 25 m angetroffen.

Ingenieurbauwerke müssen vom Wurzeldruck der Pflanzen freigehalten werden. Steile, flachgründige Hänge mit *brüchigen Gesteinen* im

Untergrund bieten Bäumen nur eingeschränkt Verankerungsmöglichkeiten. Um die positive Wirkung des jungen Baumbewuchses als Hangsicherungsmaßnahme zu erhalten, sind kurze Umtriebszeiten (Zeitraum der Verjüngung bis zur Fällung) notwendig.

Um den Turnus der Maßnahmen in der Rückschnittzone wirtschaftlich gestalten zu können, muss das jährliche, seitliche Pflanzenwachstum berücksichtigt werden. Der Wachstumszuschlag (Wachstumslänge) richtet sich nach der vorhandenen Vegetation und deren individueller Wuchsdynamik sowie dem Zeitpunkt der nächsten geplanten Maßnahme. Spätestens beim Erreichen der erforderlichen Abstände (Abb. 19.11) müssen Rückschnittmaßnahmen erfolgen.

Die *Stabilisierungszone* stellt den mit Einzelbäumen oder Baumbeständen geprägten Bereich entlang der Bahn dar. Hier erfolgen Pflege- und Hiebsmaßnahmen seltener als in der Rückschnittzone. Die planmäßigen Eingriffe werden i. Allg. frühestens alle fünf Jahre durchgeführt. Die *Einzelbäume und Baumbestände* in der Stabilisierungszone sollen durch fachgerechte und regelmäßige Bewirtschaftung gegenüber den Belastungen durch Wind, Schnee und Eis eine hohe Standfestigkeit aufweisen und verkehrssicher sein.

Stabile Bäume und Bestände sollen erhalten und gefördert werden. Nadelbaumbestände ab mittlerem Alter und alte Laubbaumbestände weisen i. d. R. Durchforstungsrückstände auf. Hier sind nur schwache Eingriffe möglich, um den Bestand nicht weiter zu destabilisieren. Ist dies nicht mehr möglich, kann ein flächiger Abtrieb (Fällung) notwendig werden, um den labilen Bestand in einen stabilen Folgebestand umzubauen.

Junge Nadelbaumbestände und bis mittelalte Laubbaumbestände sind noch formbar. Sie sind durch Auslesedurchforstung (Auswahl von geeigneten vitalen Bäumen, die auf der Fläche stehen bleiben, wie beispielsweise Eichen), zu stabilen Beständen zu erziehen. Leitbild sind park- oder mittelwaldartige Bestände mit Solitärbäumen, also stabile Bäume mit großen Kronen und niedrigem Höhen/Durchmesser-Verhältnis (H:D Wert 50–70). Auf labilen Standorten (z. B. rutschgefährdete Hänge oder vernässte Standorte) mit durchgewachsenen Stockausschlägen führt die Wiedereinführung der Niederwaldwirtschaft mit Umtriebszeiten von 10–15 Jahren zu einer dauerhaften Stabilisierung.

Die Standfestigkeit von Bäumen gegenüber Belastungen ist am Erscheinungsbild von Stamm und Krone erkennbar [78]. Je großkroniger ein Baum, desto stabiler ist er gegenüber Sturm- und Schneebelastung. Der völlig frei aufwachsende Baum (Solitär) gilt als die stabilste Erscheinungsform. Je kleinkroniger der Baum ist, desto mehr ist er auf das Stützgefüge des umgebenden Bestandes angewiesen. Waldbauliche Eingriffe in solche Bestände dürfen daher nur vorsichtig vorgenommen werden. Je höher der Bestand ist, umso stärker gilt dies.

Die Stabilität des Schaftes nimmt bei gegebener Höhe grundsätzlich mit dem Durchmesser zu.

Als Maß für die Stabilität von Bäumen hat sich der Quotient aus Höhe (in m) und Durchmesser (in cm) bewährt (Schlankheitsgrad oder H/D-Wert). Für Nadelbäume gilt folgende Wertskala (Laubbäume sind bei gleichen Werten deutlich stabiler):

H:D > 100 sehr instabil

H:D 80–100 instabil

H:D < 80 stabil (im geschlossenen Waldbestand)

H:D < 50 sehr stabile Solitärbäume.

Entscheidend für die Sturmfestigkeit von Bäumen sind das Gewicht des Wurzelballens und die Stützfläche, die die Wurzelschicht bildet. Je tiefer das Wurzelgeflecht reichen kann und je größer die so durchwurzelte Fläche ist, umso widerstandsfähiger ist ein Baum gegenüber Belastungen. Alle Baumarten sind umso gefährdeter, je flacher sie wurzeln. An Standorten mit geringer Durchwurzelbarkeit sind stabilitätsichernde Maßnahmen wichtig: Zu bevorzugen sind Baumarten mit hoher Wurzelenergie. Das sind vor allem Eichen, Kiefer, Tanne, Esche und Schwarzerle. Unter ungünstigen Bedingungen kann die vorzeitige Ernte (Fällen) der Bäume oder Bestände notwendig sein, bevor kritische Höhen erreicht werden können.

Als *Fazit* lässt sich zusammenfassen, dass Pflegemaßnahmen von Baumreihen und Baumbeständen von Jugend an auf stabilitätsfördernde zunehmende Vergrößerung des Standraumes und auf die Auslese geeigneter Baumarten hin ausgerichtet werden sollen. Bei Pflanzungen ist auf die Auswahl standortgerechter Baumarten und Herkünfte zu achten.

19.4.3.1 Übersicht über Baumarten an der Bahn

Es bestehen erhebliche Unterschiede zwischen den Baumarten hinsichtlich ihrer Belastungsfähigkeit. Die Unterschiede verstärken sich durch die waldbauliche Behandlung, die ganze Bestände oder einzelne Bäume darin erfahren. In Tab. 19.30² sind die häufigsten an der Bahn vorkommenden Baumarten aufgelistet (Angaben zur

² Grundsatz: Schaffung und Erhaltung standortgerechter Baumartenvielfalt unter Berücksichtigung von Standfestigkeit und Pflegeaufwand.

Tab. 19.30 Baumarten an der Bahn – Ökologie, Pflege, Eignung

| Baumart | Ökologie und Pflegeziel | Eignung ^a |
|--|---|--------------------------------------|
| Eiche (<i>Quercus spec.</i>) | Besonders hohe Standsicherheit, geringes Wachstum, gute Hangsicherungseigenschaften, besonders widerstandsfähiges Holz gegen Fäule und Pilze Pflegeziel: Anteile an vitalen standortgerechten Eichen halten und erweitern. Erziehung lichter Eichen- Bestände | Sehr geeignet |
| Roterle (<i>Alnus glutinosa</i>) | Hohe Standsicherheit. Stabile Baumart feuchter bis nasser Standorte Pflegeziel: erhalten, Erziehung stabiler Einzelbäume und Bestände. Bei Stockausschlägen: Fortführung der niederwaldartigen Bewirtschaftung | Sehr geeignet |
| Tanne (<i>Abies alba</i>) | hohe Standsicherheit (Tiefwurzler), langsames Wachstum, Pflegeziel: Erziehung stabiler Einzelbäume und Bestände | Sehr geeignet |
| Berg-/Spitzahorn (<i>Acer pseudoplatanus/ – platanoides</i>) | Hohe Standsicherheit, schnelles Jugendwachstum, hohes Stockausschlagsvermögen Pflegeziel bei Stockausschlägen: Niederwald, bei Bergahorn-Kernwüchsen (aus Samen entstandene Einzelbäume): Erziehung stabiler Einzelbäume und Bestände | Geeignet |
| Esche (<i>Fraxinus excelsior</i>) | Hohe Standsicherheit, schnelles Jugendwachstum Pflegeziel: bei Stockausschlägen: Niederwald, bei Kernwüchsen: Erziehung stabiler Einzelbäume und Bestände | Geeignet |
| Buche (<i>Fagus sylvatica</i>) | Hohe Standsicherheit bis 100 Jahre, weniger geeignet in Einschnitten (anfällig gegen Rindenschäden und Fäule) Pflegeziel: Erziehung stabiler Einzelbäume und Bestände | Geeignet |
| Linde (<i>Tilia spec.</i>) | Hohe Standsicherheit, hohes Stockausschlagsvermögen, Pflegeziel: bei Stockausschlägen: Niederwald, bei Kernwüchsen: Erziehung stabiler Einzelbäume und Bestände | Geeignet |
| Ulme (<i>Ulmus spec.</i>) | Hohe Standsicherheit, Totastverlierer (überwachungsintensiv), geringe Bedeutung, da seltenes Vorkommen Pflegeziel: erhalten, Erziehung stabiler Einzelbäume | Geeignet |
| Hainbuche (<i>Carpinus betulus</i>) | Mäßige Standsicherheit im Alter, anfällig gegen Fäule Pflegeziel: als Begleitbaumart v. a. für Eiche und Buche geeignet | Geeignet |
| Sonstiges Wildobst und Nussbäume | Hohe Standsicherheit, geringes Höhenwachstum, Pflegeziel: Obstbäume erhalten | Geeignet |
| Kiefer (<i>Pinus sylvestris</i>) | Hohe Standsicherheit (Tiefwurzler), schneebruchgefährdet, schnelles Jugendwachstum, Pflegeziel: Erziehung stabiler Einzelbäume und Bestände | Geeignet |
| Robinie (<i>Robinia pseudoacacia</i>) | Geringe Standsicherheit durch frühzeitig auftretende Stammfäule, gute Hangsicherungseigenschaft in der Jugend, hohes Stockausschlagsvermögen Pflegeziel: Niederwaldwirtschaft (alle 2 bis 20 Jahre auf den Stock setzen). Beigemischte Baumarten in robiniengeprägten Beständen fördern | Nur in Niederwaldwirtschaft geeignet |

Tab. 19.30 (Fortsetzung)

| Baumart | Ökologie und Pflegeziel | Eignung ^a |
|--|--|----------------------|
| Lärche (<i>Larix spec.</i>) | Mäßige Standsicherheit, Pflegeziel: Erziehung stabiler Einzelbäume und Bestände | Bedingt geeignet |
| Fichte (<i>Picea abies</i>) | Geringe Standsicherheit (Flachwurzler), Pflegeziel: Anteile an Problemstandorten zurücknehmen (z. B. Kalk, Keuper, feuchte Lagen), ansonsten Erziehung stabiler Einzelbäume und Bestände, Erhöhung der Laubbaumanteile in fichtengeprägten Beständen | Bedingt geeignet |
| Douglasie (<i>Pseudotsuga menziesii</i>) | Mäßige Standsicherheit, extrem schnelles Wachstum, erreicht große Höhen, Pflegeziel: Anteile zurücknehmen | Nicht geeignet |
| Hybrid-Pappel Pyramiden-Pappel (<i>Populus spec.</i>) | Geringe Standsicherheit (sehr wurf- und bruchgefährdet), große Wuchshöhe, hohes Stockausschlagsvermögen Pflegeziel: Anteile zurücknehmen | Nicht geeignet |
| Birke (<i>Betula pendula</i>) Aspe (<i>Populus tremula</i>) | Geringe Standsicherheit, stark schneebruchgefährdet, v. a. im Jugendstadium, Pflegeziel: Anteile zurücknehmen | Nicht geeignet |
| Kirsche (<i>Prunus avium</i>) | Geringe Standsicherheit im Alter, Pflegeziel: rechtzeitige Entnahme oder gezielte Förderung außerhalb sicherheitsrelevanten Bereiches | Nicht geeignet |
| Sal-Weide (<i>Salix caprea</i>) | Geringe Standsicherheit (sehr wurf- und bruchgefährdet), hohes Stockausschlagsvermögen, starkes Jugendwachstum, hohe Pflegeintensität Pflegeziel: Rechtzeitiger Rückschnitt | Nicht geeignet |

^a Beurteilt wird die Eignung bei bestehenden Beständen. Für die (Neu)Begründung von Baumbeständen sind differenzierte Betrachtungen mit stärkerer Berücksichtigung von Standortseigenschaften (Boden, Klima, lokale Besonderheiten) notwendig

Ökologie stammen aus Burschel und Huss [78]). Die Pflegeziele sind baumartenspezifisch aufgeführt und richten sich insbesondere nach Standsicherheit und Lebensspanne der Bäume. Die Niederwaldwirtschaft, bei der in regelmäßigen Abständen von 2–20 Jahren der Baumbewuchs komplett zurückgeschnitten (auf den Stock gesetzt) wird, eignet sich für Baumarten mit kurzer Lebensspanne oder auf Problemstandorten, auf denen eine Erziehung älterer stabiler Bestände nicht möglich ist.

Für die wichtigsten Belastungsgrößen Sturm und Schnee lassen sich nach Burschel und Huss ([78], verändert) folgende Reihung abnehmender Gefährdung vornehmen:

Sturm: Fichte, Tanne, Birke, Aspe, Pappel, Douglasie, Kiefer, Kirsche, Roteiche, Lärche, Buche, Eiche, Hainbuche, Erle, Esche.

Schnee: Kiefer, Fichte, Tanne, Douglasie, Birke, Lärche, Aspe, Esche, Erle, Buche, Hainbuche, Roteiche, Eiche, Bergahorn.

19.4.3.2 Leitbilder für die Baumbestände an der Bahn

Boden, Klima und menschliche Eingriffe prägen die Entwicklung der Vegetation [79]. Mit zunehmender Intensität der Nutzung werden die menschlichen Einflüsse vorherrschend und steuern die Artenzusammensetzung, Struktur, Stabilität und Regenerationsfähigkeit der entstehenden Lebensgemeinschaften. Umgekehrt er-

fordert eine lokal unerwünschte, doch natürlich sich vollziehende Entwicklung der Vegetation teilweise aufwändige Pflegeeingriffe zu ihrer Steuerung. Prinzipiell lassen sich stabilisierende Eingriffe zum Erhalt eines bestehenden Zustandes und verändernde Eingriffe zur Einleitung von Vegetationsveränderungen unterscheiden:

1. In regelmäßigen oder unregelmäßigen Abständen erfolgende Eingriffe (z. B. Pflegemaßnahmen) können bestehende Zustände stabilisieren. Bei mehrjährigen Intervallen zwischen den Eingriffen werden zyklische Entwicklungsvorgänge (Phasen) eingeleitet, beispielsweise der Auflichtung und des anschließend erfolgenden Kronenschlusses.
2. Qualitativ und/oder quantitativ sich ändernde Pflege- oder Bewirtschaftungsmaßnahmen führen zu Sukzessionen, also zu langfristigen Veränderungen der Vegetation.

Bis vor ca. 30 Jahren wurden die Böschungen überwiegend nieder- bis mittelwaldartig bewirtschaftet. Bei der mittelwaldartigen Bewirtschaftung verblieben im Gegensatz zur Niederwaldwirtschaft einzelne Bäume (überwiegend Eichen) über einen längeren Zeitraum auf den Flächen, die dann über die umgebenden jüngeren Stockausschläge herausragten.

Für den Baumbewuchs in der Stabilisierungszone an der Bahn werden deshalb im Folgenden beispielhaft zwei Leitbilder vorgestellt, die Behandlungs- und Entwicklungsziele für typische Bewuchssituationen an der Bahn darstellen.

Leitbild „Mittelwaldartige Bestände“

Nach Aufgabe der Niederwald- und Mittelwaldwirtschaft an den Bahntrassen wachsen in den ebenen bis geneigten Lagen heute vielerorts sog. „Bündelbäume“ heran, die eine geringere Stabilität als Einzelbäume besitzen. Aus der mittelwaldartigen Bewirtschaftung verbliebene stabile Eichen werden dabei von diesen weniger stabilen Stockausschlägen der sonstigen Laubbäume bedrängt und überwachsen. Diese Baumbestände stellen die am weitesten verbreitete Bewuchssituationen an den Strecken der Deutschen Bahn dar, s. Abb. 19.12.

Bei der Bewirtschaftung und Pflege dieser Bestände soll durch Förderung geeigneter Baum-



Abb. 19.12 Beispiel für das Leitbild „Mittelwaldartige Bestände“. In der rechten Bildhälfte ist die ungünstige Ausgangslage erkennbar. Durchgewachsene Stockausschläge unterschreiten die Abstände zur Oberleitung. Der dichte Aufwuchs führt zu schlechten H/D-Verhältnissen. In der linken Bildhälfte ist das Pflegeziel verwirklicht. Die stabilen Eichen mit ausgeglichenem Kronenhabitus und gutem H/D-Verhältnis sind freigestellt. Die Stockausschläge sind zurückgeschnitten

arten (Tabelle 19.30) die Stabilität erhöht werden (2). Dazu werden nach Möglichkeit vorhandene Kernwüchse geeigneter Baumarten frühzeitig freigestellt und dadurch zu einem ausgeglichenem Kronenhabitus und guten H/D-Werten erzogen. Sind unzureichend Kernwüchse geeigneter Baumarten auf der Fläche vorhanden, sollte die Niederwaldwirtschaft (1) fortgesetzt werden.

Leitbild „Niederwald“

Die steilen Böschungen an den Strecken der Deutschen Bahn, die häufig durch felsigen Untergrund geprägt sind, sind überwiegend mit dichten Robinienbeständen bestockt. Andere Baumarten sind dort seltener anzutreffen. Die dichten Bestände wurden früher als ingenieurbioologische Maßnahme zur Hangsicherung angelegt. Durch den dichten Aufwuchs ist die Bestandsstabilität aber schon im jungen Bestandsalter geringer als bei weiträumig bestockten Baumbeständen, Abb. 19.13.

Das Pflegeziel in solchen Bestände ist die junge, niedriggehaltene Laubbaumbestockung (1). Die Hangsicherungseigenschaften bleiben durch die nachhaltige Baumbestockung erhalten und der mit zunehmender Höhe verringerten Be-



Abb. 19.13 Ungünstige Ausgangslage für das Leitbild „Niederwald“. Der dichte Robinienbestand stockt zum Teil auf felsiger Böschung. Die Bestandsstabilität ist aufgrund der geringen Durchwurzelungstiefe und der hohen Stammzahl gering

standsstabilität wird durch den frühzeitigen Hieb entgegengewirkt, Abb. 19.14.

Bei sehr kurzer Umtriebszeit von 1–3 Jahren können Kosten durch Belassen des Schlagabraums auf der Fläche eingespart werden. Der Schlagabraum darf dabei nicht in Gräben, Durchlässe oder in den Gleisbereich geraten. Ausgenommen davon sind auch extrem steile Lagen.

Die *Rückschnittmaßnahmen* und *-zeitpunkte* richten sich nach den Anforderungen aus dem Eisenbahnbetrieb und der örtlichen Bewuchssituation unter Einhaltung der gesetzlichen Bestimmungen. Der Zeitraum für Rückschnittmaßnahmen ist gemäß BNatSchG auf die Wintermonate vom 30.09. bis zum 31.03. begrenzt. In der *Stabilisierungszone* kommen bislang ausschließlich *gleisungebundene Verfahren* zum Einsatz. Bei Stangenholz bis geringem Baumholz von 8–35 cm Brusthöhendurchmesser (BHD) wird im motormanuellen Verfahren mit Motorsägen und ggf. mit Seilsicherung gefällt. Bei zusammenhängenden größeren Flächen eignen sich maschinelle Verfahren mit Forstfräsen, Mulcher, hydraulischen Schneidewerkzeugen und Vollerntern. Mittleres bis starkes Baumholz (BHD < 35 cm) wird überwiegend durch seilgesicherte motormanuelle Verfahren entnommen.



Abb. 19.14 Das Pflegeziel des Leitbildes „Niederwald“ für steile Lagen mit Robinienbestockung ist hier erreicht. Durch die junge, niedrige Bestockung ist der Hang gesichert, der instabile ältere Bewuchs ist auf Stock gesetzt

19.4.4 Positive Aspekte für den Naturschutz

Die spezifische Nutzung der Flächen durch die Bahn führt zur Ausprägung besonderer Lebensraumbedingungen für Flora und Fauna. In der Rückschnittzone werden aufgrund der Anforderungen des Betriebes regelmäßige Schnittmaßnahmen mit unterschiedlicher zeitlicher Abfolge und verschiedenartiger seitlicher Ausdehnung und Häufigkeit durchgeführt. Auf diese Weise werden Saum- und Heckenstrukturen gefördert. In den Bereichen des Sicherheitsraumes unmittelbar am Randweg der Gleise erfolgen die Rückschnittmaßnahmen am häufigsten. In der Regel wird dort in einem ein- bis mehrjährigem Abstand gemäht. Dadurch werden staudenreiche, lichtbedürftige Saumstrukturen begünstigt.

In den Bereichen zur Aufrechterhaltung der Signalsichten, Entwässerungen des Gleisbettes und an spannungsführenden Teilen erfolgen die Rückschnittmaßnahmen häufig in längeren Intervallen als in den Sicherheitsräumen. Hierdurch können sich Heckenstrukturen gut etablieren, da eine Überalterung und Verdrängung der Sträucher durch Bäume durch regelmäßig notwendigen Schnitt vermieden wird.

In der *Stabilisierungszone* werden standortgerechte heimische Bäume gefördert, insbesondere Eiche und Edellaubbäume, wie Ahornarten und Esche. Durch die an den Bahnböschungen ehe-

mals stark verbreitete *Nieder- bzw. Mittelwaldwirtschaft* haben diese Baumarten bereits einen außerordentlich hohen Anteil. Die *Nachhaltigkeit der Gehölzbestockung* an den Bahnböschungen wird durch die Pflegeziele gewährleistet. Da die Holzproduktion von qualitativ hochwertigem Holz zweitrangig ist, existieren auch urige Baumexemplare und skurrile Baumformen an der Bahn, sofern die Verkehrssicherheit nicht gefährdet ist.

Die Erziehung von lichten Beständen und die enge Verzahnung von unterschiedlichen Pflegeintensitäten führen zu den für die Bahnböschungen charakteristischen ungleichaltrigen und strukturreichen Vegetationsbeständen.

In städtischen Bereichen schafft die Bahn mit ihrer Trasse grüne Schneisen mit überwiegend mehrjähriger Pioniervegetation, die in den intensiv gepflegten Grünanlagen der Städte sonst kaum anzutreffen ist. Insbesondere in den stark versiegelten Bereichen der Städte erfüllen die Bahnböschungen wertvolle Biotopvernetzungs-funktionen.

19.5 Schutz von Natur und Landschaft

Martina Lüttmann

19.5.1 Grundlagen

Vor dem Hintergrund des weltweiten Artenrückgangs und der Verluste von natürlichen Lebensräumen gewinnt der Schutz von Natur und Landschaft zunehmend an Bedeutung. Dies schlägt sich auch in den umfangreichen naturschutzrechtlichen Regelungen auf europäischer und nationaler Ebene nieder. Ziel des Naturschutzes ist es, die Natur aufgrund ihres eigenen Wertes und als Grundlage für Leben und Gesundheit des Menschen auch für künftige Generationen zu schützen.

Beobachtungen und Untersuchungen der letzten Jahre haben ergeben, dass Bahnanlagen oft wertvolle Lebensräume darstellen. Sie fungieren als Rückzugsort für wärme- und trockenheits-

liebende Tieren und Pflanzen und wirken als wichtiges Verbindungselement in ausgeräumten Landschaften.

Bei Bau- und Instandhaltungsmaßnahmen der Eisenbahnen sind aber auch negative Auswirkungen auf den Naturhaushalt nicht auszuschließen. Sie unterliegen daher z. T. sehr umfangreichen umwelt- und naturschutzrechtlichen Regelungen und Prüferfordernissen.

Bau und wesentliche Änderungen von Verkehrswegen werden in Deutschland in einem gestuften Planungsverfahren umgesetzt. Im Rahmen der einzelnen Planungsstufen finden die umweltplanerischen Instrumente der Strategischen Umweltprüfung (SUP) und der Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) nach Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz (UVPG), der naturschutzrechtlichen Eingriffsregelung nach §§ 13 ff. Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) sowie der Flora-Fauna-Habitat-Verträglichkeitsprüfung (FFH-VP) nach §§ 34 ff. BNatSchG als unselbstständige Teile eines Verfahrens nach § 18 Allgemeines Eisenbahngesetz (AEG) Anwendung. Zunehmende Bedeutung in Planungsverfahren gewinnen überdies die artenschutzrechtlichen Bestimmungen der §§ 37 ff. BNatSchG.

Ziel der umweltplanerischen Instrumente ist die möglichst frühzeitige Erkennung von Umweltfolgen von im Genehmigungsstadium befindlichen Maßnahmen, wie der Neu- und Ausbau von Schienenstrecken, um Beeinträchtigungen von Natur und Landschaft zu vermeiden und die Vorhaben umweltschonend zu verwirklichen, s. Abb. 19.15. UVP, Eingriffsregelung, FFH-VP und artenschutzrechtliche Prüfung weisen Überschneidungen hinsichtlich der Prüfinhalte auf. Unterschiede bestehen jedoch im Hinblick auf Anwendungsbereich, Prüfumfang und -maßstab sowie der Rechtsfolgen (s.a. Tab. 19.32).

Wie die naturschutzrechtlichen Instrumente im Rahmen von Planrechtsverfahren für Eisenbahnen des Bundes abgearbeitet werden müssen, regelt der sog. „Umweltleitfaden zur eisenbahnrechtlichen Planfeststellung“ – eine interne Verwaltungsvorschrift des Eisenbahn-Bundesamtes.

Im Gegensatz zu Neu- und Ausbaivorhaben sind Maßnahmen zum Erhalt der Verfügbarkeit

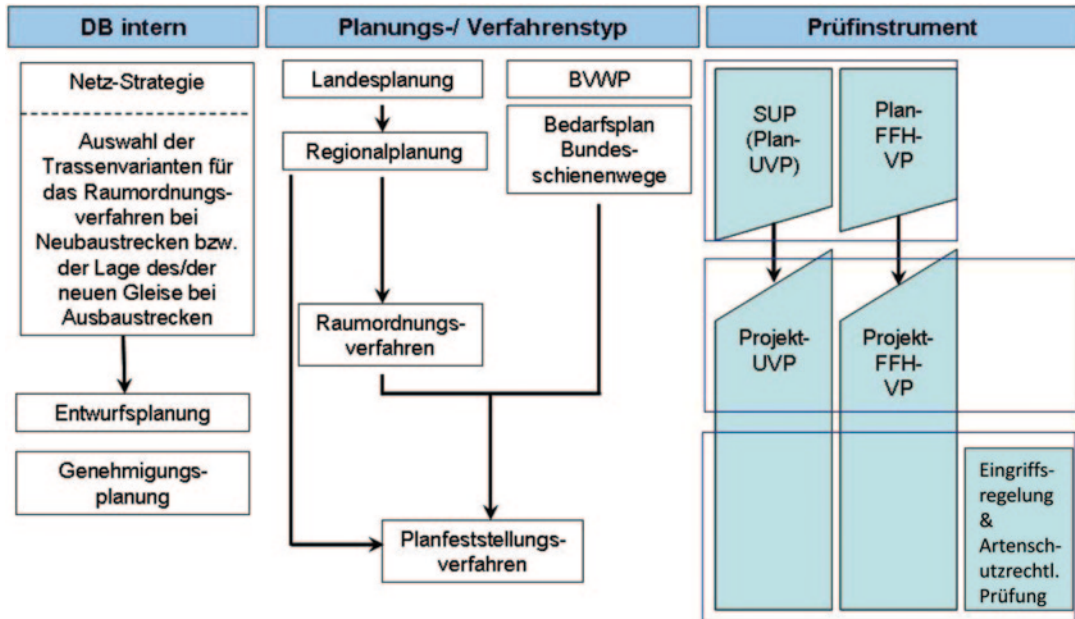


Abb. 19.15 Verfahrensstufen bei Schienenwegen/Instrumente der vorhabensbezogenen Umweltplanung. (Aus: [85], verändert)

der Eisenbahninfrastruktur keiner SUP oder UVP zu unterziehen. Sofern ein entsprechender Belang betroffen ist, können jedoch die Regelungen zur Eingriffsregelung, FFH-VP oder zum Artenschutz zu beachten sein.

19.5.2 Strategische Umweltprüfung

Mit der Novellierung des „Gesetzes über die Umweltverträglichkeitsprüfung“ (UVPG) im Juni 2005 wurde die europäische Richtlinie 2001/42/EG in deutsches Recht umgesetzt. Inzwischen liegt das Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung in der Fassung der Bekanntmachung vom 24. Februar 2010 (BGBl. I S. 94) vor, die zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 17. August 2012 (BGBl. I S. 1726) geändert worden ist. Inhalt des Gesetzes ist die Einführung eines systematischen Prüfungsverfahrens, durch welches die Umweltaspekte bei strategischen Planungsüberlegungen frühzeitig bedacht und berücksichtigt werden sollen – gleichberechtigt mit ökonomischen und sozialen Belangen. Die „strategische Umweltprüfung“ (kurz: „SUP“) ist bei der Aufstellung

des Bundesverkehrswegeplanes anzuwenden. Der Nutzen einer frühzeitigen Umweltprüfung in der Verkehrsplanung ist nach Gerlach [84] zu sehen in:

- der inhaltlichen Verbesserung von Verkehrswegeplanungsprozessen durch eine frühzeitige und umfassende Berücksichtigung von Umweltbelangen;
- der Berücksichtigung von Umwelteffekten, die in der Projektebene nicht oder nur unzureichend Beachtung finden können;
- der Verwirklichung des Leitbildes einer nachhaltigen Entwicklung im Verkehrssektor;
- der Möglichkeit zur Verfolgung angemessener Strategien zur Minderung steigender Umweltbelastungen im Verkehrssektor;
- der Beschleunigung des Planungsprozesses und der verbesserten Akzeptanz der Ergebnisse.

Die Struktur der SUP lehnt sich an die (Projekt-) Umweltverträglichkeitsprüfung (s. Abschn. 19.5.3) an (vgl. hierzu auch Stein [88]):

- Bestimmung der SUP-Pflichtigkeit und der einzubeziehenden Stellen („Screening“ von engl. „to screen“= überprüfen).

Für den Bundesverkehrswegeplan und die daraus abzuleitende Bedarfsplanung ist eine SUP zwingend vorgeschrieben. In Bezug auf die Verkehrsplanungen der Länder gibt es eigene Landesgesetze.

- Festlegen der inhaltlichen Abgrenzung und Randbedingungen („Scoping“ von engl. „scope“=Reichweite, Umfang, Rahmen).

Hiermit ist neben der Einigung über die Detailierungstiefe auch der Umfang der Untersuchungen gemeint. Zudem werden die anzuwendenden Methoden und die zu untersuchenden Alternativen festgelegt.

Um Mehrfachprüfungen auf den nachfolgenden Ebenen der Verkehrsplanung zu vermeiden, dient das Scoping auch der Klärung, welche Inhalte in der SUP abgehandelt werden und welche der Projekt-Umweltverträglichkeitsprüfung vorbehalten bleiben (Abschichtung).

- Erstellen eines Umweltberichtes.
Der Umweltbericht bildet den zentralen Kern der SUP. Die für seine Erstellung notwendigen Informationen werden begleitend zur Planentwurfserstellung in folgenden Schritten erarbeitet:
 1. Entwicklung eines Zielsystems,
 2. Erhebung des IST-Zustandes und Mängelanalyse (Umweltbelastung),
 3. Festlegen von Projekten, Alternativenprüfungen,
 4. Wirkungsanalyse Projekt- und Netzebene.
- Abwägung, Konsultation und Entscheidungsfindung.

Die SUP sieht eine Beteiligung von betroffenen Behörden und der Öffentlichkeit vor, die ggf. auch grenzüberschreitend erfolgen muss. Die Abwägung und die daran anschließende Entscheidungsfindung ist ein primär politischer Prozess, der möglichst methodisch nachvollziehbar und transparent gestaltet werden soll.

- Überprüfung der Auswirkung der Pläne und Programme nach deren Umsetzung (Monitoring).

Die Überwachung des Verkehrsplans hat im Wesentlichen zwei Ziele; zum einen die Feststellung, ob die Planungsprognosen zutreffend waren, zum anderen, ob die vereinbarten Umweltziele erreicht wurden oder ob ggf. Bedarf zur Nachsteuerung besteht.

19.5.3 Umweltverträglichkeitsprüfung

Rechtliche Grundlage der Umweltverträglichkeitsprüfung ist das Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) vom 12. Februar 1990 (zuletzt geändert am 17.08.2012). Das Gesetz soll sicherstellen, dass bei bestimmten öffentlichen und privaten Vorhaben die Auswirkungen auf die Umwelt nach einheitlichen Grundsätzen frühzeitig und umfassend ermittelt, beschrieben und bewertet werden. Das Ergebnis der Umweltverträglichkeitsprüfung soll dabei so früh wie möglich bei allen behördlichen Entscheidungen über die Zulässigkeit berücksichtigt werden (§ 1 UVPG) (vgl. hierzu auch Barsch et al. [81]).

Die UVP ist ein unselbständiger Teil verwaltungsbehördlicher Verfahren und dient als Grundlage bei der Entscheidung über die Zulässigkeit von Vorhaben, s. Abb. 19.16. Die Umweltverträglichkeitsprüfung umfasst die Ermittlung, Beschreibung und Bewertung der unmittelbaren und mittelbaren Auswirkungen eines Vorhabens auf:

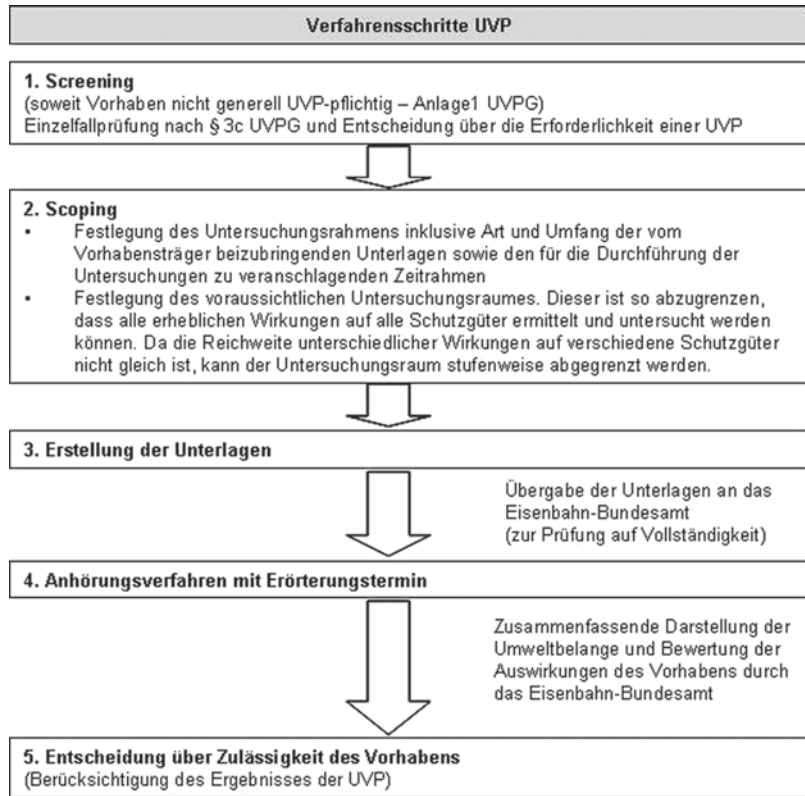
1. Menschen,
2. Boden, Wasser, Luft, Klima und Landschaft,
3. Kultur und sonstige Sachgüter sowie
4. die Wechselwirkung zwischen den vorgenannten Schutzgütern.

Sie wird unter Einbeziehung der Öffentlichkeit durchgeführt.

19.5.3.1 Zu 1) Screening

In § 3 UVPG sind die Kriterien hinterlegt, nach denen ein Vorhaben UVP-pflichtig ist. Anlage 1 des UVPG enthält darüber hinaus eine Liste prinzipiell UVP-pflichtiger Vorhaben. Das UVPG sieht eine gestufte UVP-Pflicht vor: Einige Vorhaben bedürfen immer der UVP (z. B. der Bau eines Schienenweges von Eisenbahnen mit den dazugehörigen Betriebsanlagen einschließlich Bahnfernstromleitungen), einige Vorhaben bedürfen nur dann der UVP, wenn die durchzuführende Vorprüfung im Einzelfall nach § 3c UVPG

Abb. 19.16 Beschreibung des Ablaufs einer Umweltverträglichkeitsprüfung



ergibt, dass das Vorhaben nach Einschätzung der zuständigen Behörde erhebliche nachteilige Umweltauswirkungen haben kann. Für einige Vorhaben regeln die Länder nach § 3d die UVP-Pflicht.

Das Screening im Bereich des Schienenverkehrs ist Aufgabe des Eisenbahn-Bundesamtes als zuständiger Behörde. Der Vorhabensträger hat dabei Mitwirkungspflichten. Ein Screening ist bei allen nach § 18 Allgemeines Eisenbahngesetz (AEG) beim Eisenbahn-Bundesamt beantragten Verfahren durchzuführen, sofern nicht ohnehin eine UVP-Pflicht besteht. Dazu muss vom Vorhabensträger ein vom Eisenbahn-Bundesamt erstellter Fragebogen, die sog. Umwelterklärung ausgefüllt werden. Diese wird gemeinsam mit dem Antrag auf Planfeststellung, Plangenehmigung und bei Planveränderung nach § 18 AEG beim Eisenbahn-Bundesamt eingereicht. Dieses entscheidet dann, ob eine UVP durchzuführen ist oder nicht.

19.5.3.2 Zu 2) Scoping

Das Scoping-Verfahren dient der Festlegung des vorläufigen Untersuchungsrahmens der Umweltverträglichkeitsstudie (UVS) nach § 5 UVPG. Es ist vorgeschrieben, wenn eine UVP notwendig ist und ein Antrag des Vorhabensträgers vorliegt oder das Eisenbahn-Bundesamt ein Scoping für erforderlich hält. Die Durchführung erfolgt durch das Eisenbahn-Bundesamt in Form eines oder mehrerer Besprechungstermine. Sie finden vor Beginn von detaillierten Untersuchungen statt. Bei Neubaustrecken ist der Scoping-Prozess zur Berücksichtigung von Trassenalternativen zu Beginn des Planungsprozesses durchzuführen, bei Ausbaivorhaben, bei denen der Streckenverlauf meist feststeht, und es sich somit vorrangig um technische Alternativen und Fragen der Feintrassierung handelt, kann er auch später erfolgen. Generell ist aber eine Durchführung möglichst früh im Verfahren empfehlenswert.

19.5.3.3 Zu 3) Erstellung der Unterlagen

Die UVS ist das sachlich-inhaltliche Kernstück, das eigentliche ökologische Fachgutachten des UVP-Verfahrens. Das Ergebnis der UVS geht als Information in den Entscheidungsprozess über die Zulässigkeit eines Vorhabens ein und wird dort mit anderen Interessen abgewogen. Die UVS besteht aus Erläuterungsbericht und Planunterlagen. Der Erläuterungsbericht zur UVS beginnt mit einer Einleitung, in welcher der Planungsanlass und das Ergebnis des Scoping-Prozesses darzustellen sind. Ebenso sind das methodische Vorgehen und die gesetzlichen Grundlagen zu erläutern. Danach folgt die Beschreibung des Vorhabens, welche Angaben über den Standort, Art und Umfang sowie Bedarf an Grund und Boden enthält. Sinnvolle Bestandteile sind außerdem Beschreibungen der technischen Gesamtkonzeption, der verkehrstechnischen Erfordernisse, der Anforderungen an den Standort sowie die Erläuterung allgemeiner betrieblicher Erfordernisse, der baulichen Merkmale (Lage, Bedarf an Grund und Boden, Lage- und Höhenpläne usw.). Darüber hinaus werden die vorgesehenen Bauverfahren beschrieben und ggf. der baubedingte Flächenbedarf, die Baustelleneinrichtungen und die Massenbilanzen erläutert. Diese Planungsdaten geben Aufschluss über Art und Umfang des Vorhabens. Eine zusammenfassende Beschreibung des Untersuchungsraumes, der – wie beschrieben – im Scoping festgelegt wurde, ist der Einstieg in die umweltrelevanten Fragestellungen. Diese beginnen i. d. R. mit einer schutzgutbezogenen Raumanalyse, d. h. einer Bestandsaufnahme und Bewertung des Ist-Zustandes im Untersuchungsraum. Hierzu werden die zur Einschätzung der Umweltauswirkungen erforderlichen Daten erfasst, noch fehlende Daten werden durch Erhebungen vor Ort ergänzt.

Auf Grundlage der schutzgutbezogenen Raumanalyse wird eine Beschreibung der zu erwartenden erheblichen nachteiligen Umweltauswirkungen vorgenommen (Risikoerschätzung oder Risikoanalyse). Sie dient zur Einschätzung der Auswirkungen des geplanten Vorhabens auf die Schutzgüter des UVPG, wobei in der Praxis zwischen bau-, anlage- und betriebsbedingten Auswirkungen unterschieden wird. Ziel ist die

Ableitung von Planungsempfehlungen für die Realisierung des Vorhabens.

19.5.3.4 Zu 4) Anhörungs- bzw. Erörterungstermin

Die vom Vorhabensträger erstellten Planungsunterlagen inklusive der Unterlagen für die UVP werden beim EBA mit der Bitte um Durchführung des Planfeststellungsverfahrens eingereicht. Das EBA überprüft die Unterlagen zunächst auf Vollständigkeit und leitet sie an die zuständige Landesbehörde (Anhörungsbehörde) weiter, in deren Bereich das Vorhaben realisiert werden soll. Diese führt das Anhörungsverfahren mit dem Erörterungstermin durch. Dabei werden die Stellungnahmen der vom Verfahren betroffenen Behörden eingeholt und die UVP-Unterlagen in den vom Vorhaben betroffenen Gemeinden einen Monat zur Einsicht ausgelegt. Auf der Grundlage dieser ausgelegten Unterlagen hört die Anhörungsbehörde dann die Öffentlichkeit zu den Umweltauswirkungen des Vorhabens an (Anhörungsverfahren). Jeder, dessen Belange durch das Vorhaben berührt werden, kann bis zwei Wochen nach Ablauf der Auslegungsfrist Einwendungen gegen den Plan erheben. Einwendungen, die nach Ablauf der Einwendungsfrist erhoben werden, sind ausgeschlossen. Nach Ablauf der Einwendungsfrist erörtert dann die Anhörungsbehörde die rechtzeitig erhobenen Einwände gegen den Plan sowie die Stellungnahmen der Behörden mit dem Vorhabensträger, den Behörden, den Betroffenen sowie den Personen, die Einwendungen erhoben haben. Dies wird als Erörterungstermin bezeichnet. Zum Ergebnis des Anhörungsverfahrens gibt die Anhörungsbehörde eine Stellungnahme ab und übersendet diese an das Eisenbahn-Bundesamt.

19.5.3.5 Zu 5) Entscheidung über die Zulässigkeit des Vorhabens

Das Eisenbahn-Bundesamt erarbeitet abschließend eine zusammenfassende Darstellung der Umweltbelange. Diese ist Grundlage für die Bewertung nach § 12 UVPG. Mögliche Ergebnisse dieser Bewertung, und somit auch der UVP können lauten (vgl. hierzu EBA, 2010):

1. Das Vorhaben ist nicht oder nur mit geringfügigen und daher nicht erheblichen Beeinträchtigungen der Schutzgüter (einschließlich deren Wechselwirkungen) verbunden.
2. Es werden erhebliche Beeinträchtigungen festgestellt, denen jedoch durch Vermeidungs- bzw. Kompensationsmaßnahmen begegnet werden kann.
3. Es werden Beeinträchtigungen der Schutzgüter festgestellt, die oberhalb fachgesetzlicher Zulässigkeits- oder Zumutbarkeitsschwellen liegen, im Rahmen der planerischen Abwägung aber zulässig sein können.
4. Es werden Beeinträchtigungen der Schutzgüter festgestellt, für die keine speziellen fachgesetzlichen Vorgaben existieren, die aber unter Hinzuziehung sonstiger untergesetzlicher Bewertungsmaßstäbe als erheblich einzustufen sind und insofern als entgegenstehende Belange in die Abwägungsentscheidung einzustellen sind.
5. Es werden erhebliche Beeinträchtigungen der Schutzgüter festgestellt, die durch Nebenbestimmungen nicht vermieden werden können und die wegen eines Verstoßes gegen zwingende gesetzliche Vorschriften der Zulassung eines Vorhabens entgegenstehen.

Dieses Bewertungsergebnis ist das Ende der UVP und geht in den Entscheidungsprozess über die Zulassung des Vorhabens ein. Zwingende Verpflichtungen ergeben sich daraus aber weder für den Vorhabensträger noch für die Behörden.

Die Entscheidung über die Zulässigkeit eines Vorhabens ist eine Abwägungsentscheidung des Eisenbahn-Bundesamtes. Die Umweltauswirkungen gehen als ein Belang in die Gesamt abwägung des Vorhabens ein und werden mit anderen Belangen (z. B. verkehrlichen, raumordnerischen, wirtschaftlichen) gleichwertig abgewogen. So kann die Entscheidung von der nach § 12 UVPG vorgenommenen Bewertung der Umweltauswirkungen (deren Ergebnis z. B. die Unzulässigkeit des Vorhabens sein kann) aus überwiegenden Gründen des Allgemeinwohls abweichen. Das Ergebnis des Abwägungsvorgangs wird im Planrechtsbeschluss des Eisenbahn-Bundesamtes rechtsgültig festgelegt.

19.5.4 Naturschutzfachliche Eingriffsregelung

Ziel der Naturschutzfachlichen Eingriffsregelung nach §§ 13 BNatSchG ist der Status-Quo-Erhalt der Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushaltes. Alle Beeinträchtigungen von Natur und Landschaft, die die Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushaltes (Boden, Wasser, Luft, Klima, Pflanzen- und Tierwelt, das Landschaftsbild „als Lebensgrundlage des Menschen“) beeinträchtigen können, gelten als Eingriff nach § 14 Abs. 1 BNatSchG (vgl. hierzu auch Lau [86]).

Das Vorliegen eines Eingriffstatbestandes ist von zwei Voraussetzungen abhängig:

1. mit dem Vorhaben sind Veränderungen der Gestalt oder Nutzung von Grundflächen bzw. des mit der belebten Bodenschicht in Verbindung stehenden Grundwasserspiegels verbunden und
2. diese Veränderungen führen zu einer erheblichen Beeinträchtigung der Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushaltes oder des Landschaftsbildes.

Liegen die Merkmale eines Eingriffs vor, müssen zuerst die Möglichkeiten zur Vermeidung geprüft werden. Kann der Eingriff nicht vermieden werden, erfolgt Ausgleich oder Ersatz. Bei Ausgleichsmaßnahmen muss ein enger zeitlicher und räumlicher Bezug vorhanden sein. Ein Eingriff gilt als ausgeglichen, wenn die Funktionen des Naturhaushaltes bzw. das Landschaftsbild wieder gleichartig hergestellt oder landschaftsgerecht neu gestaltet wurden. Ersatzmaßnahmen müssen keinen so ausgeprägten funktionalen Bezug aufweisen wie Ausgleichsmaßnahmen und können auch räumlich entkoppelt sein. Ein Ersatz muss aber zwingend im selben Naturraum wie der Eingriff erfolgen. Der Begriff des „Naturraums“ orientiert sich dabei an der Gliederung der naturräumlichen Haupteinheiten in Deutschland. Wird der Eingriff durch Ausgleich oder Ersatz nicht vollständig kompensiert, müssen die Belange des Vorhabens mit denen des Naturschutzes abgewogen werden. Wenn Erstere überwiegen, ist auch die Festsetzung einer Ersatzzahlung möglich.

Ein Eingriff kann theoretisch auch untersagt werden, wenn die Belange des Naturschutzes und der Landschaftspflege anderen Belangen im Range vorgehen. Das planerische Instrument der Eingriffsregelung ist der Landschaftspflegerechtsbegleitplan (LBP), er ist Bestandteil der rechtsverbindlichen Genehmigungsunterlagen und gemäß § 17 Abs. 4 BNatSchG vom Träger des Vorhabens vorzulegen. Im LBP müssen Vermeidungs-, Verminderungs-, Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen mit gestalterischen, bau- und verkehrstechnischen Funktionen dargestellt und begründet werden.

Im Vergleich der Rechtsfolgen von UVP und Eingriffsregelung geht die Eingriffsregelung über die UVP hinaus. Während aus den Ergebnissen der UVP keine zwingenden Verpflichtungen für den Vorhabensträger und die Behörden resultieren, sondern diese „nur“ als Entscheidungsgrundlage bei der Vorhabenzulassung dienen, werden die Ergebnisse der Eingriffsregelung zu rechtsverbindlichen Bestandteilen des Vorhabens. Dabei sind Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen so lange rechtlich zu sichern und zu unterhalten, wie im behördlichen Beschluss festgelegt. Dieser Zeitraum kann auch mehrere Jahrzehnte umfassen und weit über das eigentliche Vorhaben hinaus wirken.

19.5.5 Flora-Fauna-Habitat-Verträglichkeitsprüfung

Zum Erhalt von Natur und biologischer Vielfalt hat die EU zwei Richtlinien erlassen:

1. Richtlinie 79/409/EWG des Rates vom 02.04.1979 über die Erhaltung der wildlebenden Vogelarten (kodifizierte Fassung 2009/147/EG v. 30.10.2009),
2. Richtlinie 92/43/EWG des Rates vom 21.05.1992 über die Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen.

Neben dem Schutz europäischer Tier- und Pflanzenarten hat die FFH-RL die Errichtung des kohärenten, europaweiten ökologischen Netzes „Natura2000“ zum Ziel. In das Netz integriert werden sowohl Gebiete von gemeinschaftlicher

Bedeutung nach FFH-RL („FFH-Gebiete“) als auch Vogelschutzgebiete nach VSchRL.

Die o. g. EU-Richtlinien wurden mit den Novellierungen des Bundesnaturschutzgesetzes (BNatSchG) seit 1998 schrittweise in deutsches Recht umgesetzt.

Vorhaben, die geeignet sind, ein Natura 2000-Gebiet erheblich zu beeinträchtigen, müssen gemäß § 34 BNatSchG vor ihrer Zulassung bzw. Durchführung auf ihre Verträglichkeit geprüft werden, s. Tab. 19.31. Ergibt die sog. „FFH-Verträglichkeitsprüfung“, dass ein Vorhaben zu einer erheblichen Beeinträchtigung führen kann, ist das Vorhaben unzulässig. Ausnahmen sind nur möglich, wenn zwingende Gründe des überwiegenden öffentlichen Interesses (einschließlich wirtschaftlicher und sozialer Gründe) bestehen und keine zumutbaren Alternativen erkennbar sind. In diesem Fall sind jedoch geeignete Maßnahmen zur Sicherstellung des funktionalen Zusammenhangs des Natura 2000-Gebietsnetzes (Maßnahmen zur Kohärenzsicherung) zu ergreifen. Zudem ist die EU-Kommission zu unterrichten.

Sind prioritäre Lebensräume und/oder Arten betroffen, werden die Ausnahmetatbestände noch stärker eingeschränkt. Hierbei handelt es sich um Arten bzw. natürliche Lebensräume, deren Erhaltung in der Europäischen Gemeinschaft eine besondere Bedeutung zukommt. Sie sind im Anhang I bzw. II der FFH-Richtlinie vermerkt und mit einem * gekennzeichnet. Können prioritäre Lebensräume und/oder Arten durch ein Vorhaben erheblich beeinträchtigt werden, sind laut § 34 Abs. 4 BNatSchG als zwingende Gründe des überwiegenden öffentlichen Interesses nur solche im Zusammenhang mit der Gesundheit des Menschen, der öffentlichen Sicherheit oder den maßgebend günstigen Auswirkungen des Vorhabens auf die Umwelt denkbar. Sonstige Gründe können nur geltend gemacht werden, wenn zuvor eine Stellungnahme der Kommission eingeholt wurde.

19.5.6 Artenschutz

Auf europäischer Ebene ist der Artenschutz durch die FFH- und Vogelschutzrichtlinie

Tab. 19.31 Übersicht des Ablaufs einer FFH-Verträglichkeitsprüfung

| | |
|-----------------------------------|---|
| <i>I. Vorprüfung</i> | <p><i>Können erhebliche Beeinträchtigungen der Schutzziele eines NATURA 2000-Gebiets mit Sicherheit ausgeschlossen werden?</i></p> <p><i>Ja</i>> Das Vorhaben (Maßnahme, Eingriff, Anlage) ist nicht geeignet, ein Gebiet erheblich zu beeinträchtigen: Zulassung des Vorhabens ohne FFH-VP</p> <p><i>Nein</i>> Eine FFH-VP ist erforderlich</p> |
| <i>II. FFH-VP Kernprüfung</i> | <p><i>Kann ein Projekt oder Plan zu erheblichen Beeinträchtigungen eines NATURA 2000-Gebiets in seinen für die Erhaltungsziele maßgeblichen Bestandteilen führen?</i></p> <p><i>Ja</i>> Unzulässigkeit des Projekts oder Plans, ggf. Ausnahmeprüfung (siehe III.)</p> <p><i>Nein</i>> Zulassung des Projekts oder Plans</p> |
| <i>III. Ausnahmeprüfung</i> | <p><i>Liegen die Voraussetzungen der Ausnahmebestimmungen (keine Möglichkeit von weniger beeinträchtigenden Alternativen, Vorliegen von zwingenden Gründen des überwiegenden öffentlichen Interesses) vor?</i></p> <p><i>Ja</i>> Zulassung des Projekts oder Plans möglich. Es sind Kohärenzsicherungsmaßnahmen durchzuführen.</p> <p><i>Nein</i>> Unzulässigkeit des Projekts oder Plans</p> |

(V SchRL) geregelt. Gemäß V SchRL sind alle wildlebenden heimischen Vogelarten geschützt, dies gilt sowohl für das Individuum selbst, wie auch für seine Nester, Eier und Lebensräume. Die FFH-Richtlinie stellt über 1.000 weitere Tier- und Pflanzenarten unter Schutz – die entsprechenden Arten sind in den Anhängen II, IV und V der Richtlinie aufgeführt. Die Festlegungen der beiden europäischen Artenschutz-Richtlinien wurden in das deutsche Recht integriert. Der Artenschutz in Deutschland unterliegt nach dem BNatSchG einem mehrstufigen Schutzsystem. Generell wird zwischen dem allgemeinen und dem besonderen Artenschutz unterschieden, s. Abb. 19.17. Innerhalb des besonderen Artenschutzes wird zusätzlich zwischen besonders und streng geschützten Arten differenziert. Bei eisenbahnrechtlichen Vorhaben ergeben sich oft artenschutzrechtliche Fragestellungen, da auch der technisch geprägte Teil von Bahnanlagen häufig von besonders oder streng geschützten Arten (u. a. Stechimmen, Heuschrecken, Reptilien und Fledermäuse) besiedelt ist (vgl. EBA 2013).

Allgemeiner Artenschutz Der Allgemeine Artenschutz ist im § 39 BNatSchG geregelt. Verboten ist u. a. die mutwillige Beeinträchtigung von Tieren und deren Fang, Tötung oder Verletzung ohne vernünftigen Grund. Ferner ist es untersagt, Pflanzen ohne vernünftigen Grund von ihrem Standort zu entnehmen bzw. Bestände zu nutzen oder zu zerstören. In der Verkehrsplanung spielen diese Verbote i. d. R. jedoch keine

Rolle, da die Planung als „vernünftiger Grund“ angesehen werden kann. Der Allgemeine Artenschutz beinhaltet zudem Verbotzeiten für das Schneiden von Hecken und Bäumen in der freien Landschaft. Deutschlandweit ist dies zwischen dem 01.03. und 30.09. eines jeden Jahres verboten, um die Vögel während des Nist- und Brutzeitraumes zu schützen. Dies ist auch beim Vegetationsrückschnitt am Gleis zu berücksichtigen (s. Abschn. 19.4.3).

Besonderer Artenschutz Der besondere Artenschutz ist in § 44 BNatSchG geregelt. Es wird zwischen zwei Schutzkategorien – den besonders und den streng geschützten Arten – unterschieden.

Besonders geschützte Arten Die besonders geschützten Arten sind in § 7 Abs. 2 Nr. 13 BNatSchG genannt. Für diese Arten besteht ein generelles Zugriffsverbot, sie dürfen also weder gefangen oder verletzt noch getötet werden. Darüber hinaus ist es untersagt, ihre Nist-, Brut-, Wohn- und Zufluchtsstätten zu beschädigen oder zu beseitigen. Für besonders geschützte Pflanzen besteht ein Beeinträchtigungs- und Zerstörungsverbot. Einen Sonderfall unter den besonders geschützten Arten bilden die europäischen Vogelarten, für die zusätzlich das Störungsverbot nach § 44 Abs. 1 Nr. 2 BNatSchG gilt, welches ansonsten nur bei streng geschützten Arten Anwendung findet.

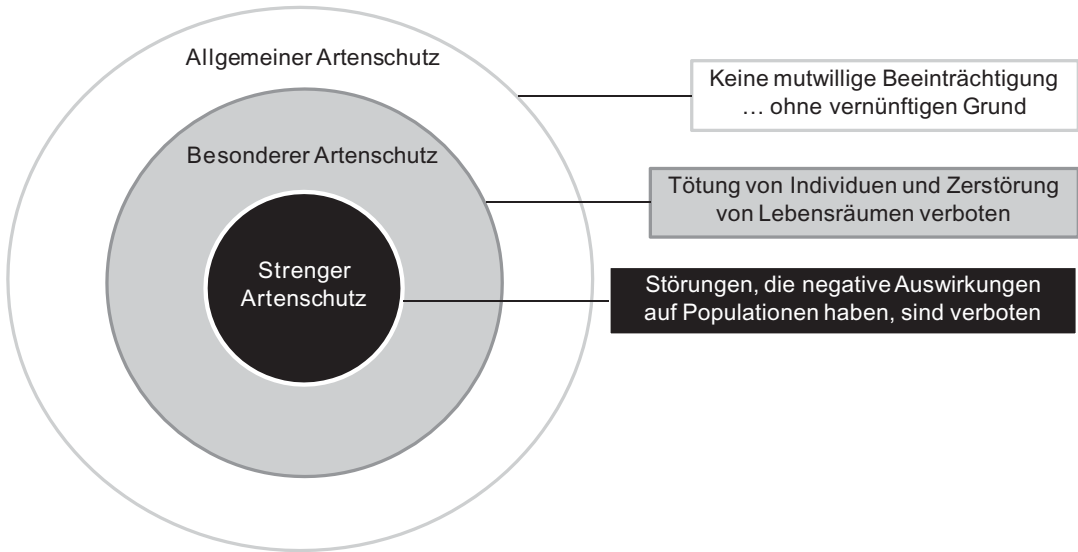


Abb. 19.17 Vereinfachte schematische Darstellung der Artenschutzbestimmungen im deutschen Recht

Streng geschützte Arten Mit der Novellierung des Bundesnaturschutzgesetzes im Jahre 2002 wurde der Begriff der *streng geschützten Arten* eingeführt (§ 7 Abs. 2 Nr. 14 BNatSchG). Sie wurden in der vorher geltenden Fassung als *vom Aussterben bedrohte Arten* bezeichnet. Alle streng geschützten Arten sind auch besonders geschützt, d. h. für sie gelten die o.g. Zugriffsverbote. Darüber hinaus dürfen streng geschützte Arten gemäß § 44 Abs. 1 Nr. 2 BNatSchG während der Fortpflanzungs-, Aufzucht-, Mauser-, Überwinterungs- und Wanderungszeiten auch nicht gestört werden. Unter dem Begriff „Störung“ ist dabei nicht das Aufscheuchen eines einzelnen Tieres zu verstehen. Eine erhebliche Störung liegt vielmehr dann vor, wenn sich der Erhaltungszustand der lokalen Population verschlechtert.

Berücksichtigung artenschutzrechtlicher Bestimmungen bei Bau- und Instandhaltungsmaßnahmen In der derzeit vorliegenden Fassung des Umweltleitfadens des Eisenbahn-Bundesamtes werden im „Teil V – Artenschutz in der Planfeststellung“ (Stand: März 2013) detaillierte Vorgaben zur Abarbeitung des Artenschutzes in Verfahren nach § 18 AEG festgesetzt. Für alle

von einem entsprechenden Vorhaben betroffenen Arten muss ein Artenschutzblatt ausgefüllt werden. Es enthält nähere Angaben zum Erhaltungszustand und zum Schutzstatus sowie zu potenziellen Verbotsverletzungen. Zudem sind Vermeidungsmaßnahmen³ und ggf. das Risikomanagement zu beschreiben. Können Verbotsverletzungen nicht ausgeschlossen werden, sind die Auswirkungen auf der Erhaltungszustand der Art sowie ggf. erforderliche Maßnahmen zur Sicherung des Erhaltungszustands darzustellen⁴.

Für die Abarbeitung des Artenschutzes außerhalb von Planrechtsverfahren sind die Vorgaben der Länder zu beachten. Diese haben oft ähnliche Hilfestellungen (Artenschutzblätter, Checklisten, etc.) wie das Eisenbahn-Bundesamt entwickelt, Tab. 19.32.

Ausnahmen vom besonderen und strengen Artenschutz Von den Verboten des besonderen

³ Hierunter sind u. a. die sog. CEF-Maßnahmen zu verstehen, welche die ökologischen Funktionen kontinuierlich sichern (Continuous Ecological Functionality).

⁴ Die Maßnahmen zur Sicherung des Erhaltungszustandes werden auch als „FCS“-Maßnahmen (Favourable Conservation Status) bezeichnet.

Tab. 19.32 Gegenüberstellung der Anwendungsbereiche der UVP, der Eingriffsregelung, der FFH-VP und der artenschutzrechtlichen Prüfung.. (Aus BMVBW 2004 und EBA 2013, verändert)

| | Umweltverträglichkeitsprüfung | Eingriffsregelung | FFH-Verträglichkeitsprüfung | Artenschutzrechtliche Prüfung |
|--------------------------|---|--|---|--|
| Rechtsgrundlage | UVPG, UVP-Änderungs-Richtlinie | §§ 13 ff. BNatSchG | § 34. BNatSchG i. V. m. Art. 6 III FFH-RL | § 44 BNatSchG |
| Ziele | Frühzeitige und umfassende Ermittlung, Beschreibung und Bewertung der Umweltauswirkungen eines Vorhabens sowie frühestmögliche Berücksichtigung bei allen behördlichen Zulassungsentscheidungen | Schutz, Pflege und Entwicklung der Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushaltes und des Landschaftsbildes | Aufbau und Schutz eines kohärenten europäischen ökologischen Netzes Natura 2000 von Schutzgebieten zum Erhalt der biologischen Vielfalt in der EU | Schutz der besonders und streng geschützten Arten auch außerhalb der FFH-Gebiete |
| Schutzgegenstand | Mensch, Tiere, Pflanzen, Boden, Wasser, Luft, Klima, Sach- und Kulturgüter einschließlich der Wechselwirkungen zwischen denselben | Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushaltes und das Landschaftsbild | Günstiger Erhaltungszustand von Arten und Lebensräumen nach den Anhängen I und II der FFH-RL sowie von Arten nach Anhang I und Artikel 4, Absatz 2 der VSchRL und ihrer Lebensräume | § 7 BNatSchG Satz 13 und 14 (besonders und streng geschützte Arten) |
| Auslöser der Prüfpflicht | Vorhaben, die in der Anlage zu § 3 UVPG aufgeführt sind | Veränderungen der Gestalt oder der Nutzung von Grundflächen, durch welche die Leistungsfähigkeit des Naturhaushaltes oder das Landschaftsbild erheblich oder nachhaltig beeinträchtigt werden können | Pläne oder Projekte, die (einzeln oder im Zusammenwirken mit anderen Plänen oder Projekten) ein Natura 2000-Gebiet erheblich beeinträchtigen können | Möglichkeit der Tötung von besonders geschützten Arten bzw. der Störung von streng geschützten Arten oder der Zerstörung von Fortpflanzungs- und Ruhestätten bzw. der Pflanzenentnahme |
| Untersuchungsraum | vorhabenbezogene Abgrenzung: nach Reichweite der erheblichen Umweltauswirkungen; Untersuchungsraum wird im Scoping-Termin festgelegt | Vorhabens-, wirkungs- und schutzgutbezogene Abgrenzung. Bereiche für Kompensationsmaßnahmen | Natura 2000-Gebiet (einschließlich seiner Bedeutung im Europäischen ökologischen Netz Natura 2000), ggf. Umgebung des Natura 2000-Gebietes, ggf. Bereiche für Maßnahmen zur Kohärenzsicherung und Alternativen | Eingriffsort |
| Rechtsfolgen | Das Ergebnis der UVP ist so früh wie möglich bei allen behördlichen Entscheidungen über die Zulässigkeit zu berücksichtigen. Keine eigenständige Rechtsfolgen. | Pflichten: 1. Vermeidung und Minimierung, 2. Ausgleich 3. Sonstige Kompensation (Ersatz) 4. Naturschutzrechtliche Abwägung | Unzulässigkeit von Plänen oder Projekten die (einzeln oder im Zusammenwirken mit anderen Plänen oder Projekten) ein Natura 2000-Gebiet erheblich beeinträchtigen können; eine Ausnahme nach § 34 Abs. 3–5 ist möglich | Tötungsverbot (besonders geschützter Arten) Störungsverbot (streng geschützter Arten) Verbot der Zerstörung von Fortpflanzungs- und Ruhestätten (besonders geschützter Arten) Verbot der Entnahme wild lebender Pflanzen (besonders geschützter Arten); Ausnahmen nach § 44 Abs. 5 und § 45 Abs. 7 sind möglich |

Tab. 19.32 (Fortsetzung)

| | Umweltverträglichkeitsprüfung | Eingriffsregelung | FFH-Verträglichkeitsprüfung | Artenschutzrechtliche Prüfung |
|-------------------------|---|--|---|---|
| Alternativen/Vermeidung | Übersicht über die wichtigsten, vom Träger des Vorhabens geprüften Vorhabensalternativen und Angabe der wesentlichen Auswahlgründe unter besonderer Berücksichtigung der Umweltauswirkungen des Vorhabens | Vermeidbare Beeinträchtigungen von Natur und Landschaft sind zu unterlassen, wenn dadurch das Vorhaben (am vorgesehenen Standort) nicht in Frage gestellt wird | Prüfung zumutbarer Alternativen, die den mit dem Plan oder Projekt verfolgten Zweck an anderer Stelle ohne oder mit geringeren Beeinträchtigungen erreichen | Ausnahmen nach § 45 Abs. 7 sind möglich, wenn keine zumutbaren Alternativen vorhanden sind und sich der Erhaltungszustand der Populationen einer Art nicht verschlechtert |
| Kompensationsmaßnahmen | Beschreibung der Maßnahmen, mit denen erhebliche Beeinträchtigungen der Umwelt, soweit möglich, ausgeglichen werden, sowie der Ersatzmaßnahmen bei nicht ausgleichbaren aber vorrangigen Eingriffen in Natur und Landschaft | Wenn ein funktionaler Ausgleich nicht möglich ist, erfolgen Ersatzmaßnahmen bzw. wenn dies ebenfalls nicht möglich ist, ggf. die Zahlung von Ersatzgeld | Maßnahmen zur Sicherung des Zusammenhangs des Europäischen ökologischen Netzes Natura 2000 (Maßnahmen zur Kohärenzsicherung) | CEF Maßnahmen zur Vorbeugung, FCS Maßnahmen im Ausnahmeverfahren |

und strengen Artenschutzes kann im Einzelfall eine Ausnahmegenehmigung § 45 BNatSchG erteilt werden, wenn z. B. überwiegende Gründe des öffentlichen Interesses vorliegen. Planungen zum Neu- und Ausbau der Eisenbahninfrastruktur sind i. d. R. im „Gesetz über den Ausbau der Schienenwege des Bundes“ (Anlage zu § 1: Bedarfsplan für die Bundesschienenwege) enthalten. Sie unterliegen im Vorfeld einer volkswirtschaftlichen Kosten-/Nutzen-Bewertung und können sich somit meist auf Gründe des öffentlichen Interesses stützen. Ob diese Gründe jedoch überwiegen, muss im Einzelfall entschieden werden. Eine Stärkung der verkehrlichen Belange in der artenschutzrechtlichen Abwägung bildet § 4 BNatSchG. Nach § 4 muss auf Flächen, die überwiegend oder ausschließlich Zwecken des öffentlichen Verkehrs dienen, eine bestimmungsgemäße Nutzung gewährleistet werden. Die Ziele und Grundsätze des Naturschutzes und der Landschaftspflege sind jedoch zu berücksichtigen.

19.6 Umweltschutanforderungen an Planungs- und Instandhaltungsprozesse

Thorsten Herold und Björn Zimmer

19.6.1 Entsorgung

Bei Eisenbahn-Infrastrukturunternehmen fallen bei der Instandhaltung und bei Bauprojekten unterschiedliche Abfallarten, wie Altschotter und Altholzschwellen, an. Bevor im Weiteren auf diese spezifische Abfallarten eingegangen wird, werden einige gesetzliche Grundlagen erläutert, die Allgemeingültigkeit für alle Abfallarten besitzen.

19.6.1.1 Gesetzliche Grundlagen

Im Mittelpunkt des Abfallrechts in der BRD steht das zum 01.06.2012 novellierte Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG). Unter Entsorgung im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgesetzes wird

die Verwertung und Beseitigung von Abfällen verstanden. Abfälle sind hierbei nach § 3 Abs. 1 KrWG „alle Stoffe oder Gegenstände, deren sich ihr Besitzer entledigt, entledigen will oder entledigen muss. Abfälle zur Verwertung sind Abfälle, die verwertet werden; Abfälle, die nicht verwertet werden, sind Abfälle zur Beseitigung“. Mit der Novellierung des KrWG wird die in der EU-Abfallrahmenrichtlinie hinterlegte 5-stufige Abfallhierarchie in nationales Recht umgesetzt und gliedert sich in:

1. Vermeidung,
2. Vorbereitung zur Wiederverwertung,
3. Recycling,
4. sonstige Verwertung, insbesondere energetische Verwertung und Verfüllung,
5. Beseitigung.

Mit der Umsetzung der 5-stufigen Abfallhierarchie werden der Umwelt- und Klimaschutz sowie die Ressourceneffizienz durch Stärkung der Abfallvermeidung und des Recyclings verbessert.

Die Abfälle werden nach dem Grad ihrer Gefährlichkeit in nicht gefährliche und gefährliche Abfälle unterteilt. In der auf Grundlage des KrWG erlassenen Abfallverzeichnisverordnung (AVV) ist allen Abfallarten ein Abfallschlüssel (6-stelliger AVV-Schlüssel) zugeordnet, s. Abb. 19.19. Der Abfallschlüssel gefährlicher Abfälle ist mit einem Stern versehen (vgl. § 3 der AVV). Eine Einstufung von Abfällen als „gefährlich“ erfolgt, wenn eines oder mehrere der in § 3 Abs. 2 genannten Gefährlichkeitskriterien erfüllt ist (Abb. 19.18).

Der Entsorgungsvorgang gefährlicher Abfälle wird mit einer Vorab- und Verbleibskontrolle im Nachweisverfahren begleitet und abschließend im Abfallregister dokumentiert.

Einzelentsorgungsnachweis

Fallen beim Abfallerzeuger jährlich mehr als 20 t gefährlicher Abfälle je Abfallschlüssel an, ist der Nachweis über die Zulässigkeit der Entsorgung nach § 3 NachwV mittels eines elektronischen Einzelentsorgungsnachweises zu führen, s. Abb. 19.19. Der Einzelentsorgungsnachweis besteht aus Deckblatt, verantwortlicher Erklärung des Abfallerzeugers einschließlich Deklarationsanalyse, der Annahmeerklärung des Abfallent-

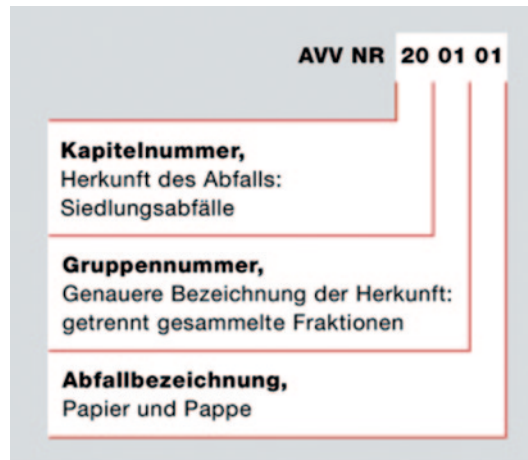


Abb. 19.18 Struktureller Aufbau der Abfallschlüsselnummer. (Quelle: Leitfaden Entsorgung des DB Umweltzentrums (Stand: Dez. 2009))

sorgers und der Bestätigung der für die Entsorgungsanlage zuständigen Behörde. Der Abfallerzeuger hat dem Entsorger das Deckblatt, die verantwortliche Erklärung und die Deklarationsanalyse elektronisch zu übersenden, wobei die Deklarationsanalyse des Abfalls der chemisch/physikalischen Abfallcharakterisierung (insbesondere Art und Konzentration gefährlicher Stoffe) dient. Der Entsorger füllt die Annahmeerklärung aus und leitet alles gemeinsam elektronisch an seine zuständige Behörde weiter. Diese leitet den Einzelentsorgungsnachweis einschließlich Behördenbestätigung an den Abfallerzeuger. Die Unterlagen sind der Erzeugerbehörde spätestens vor Beginn der Entsorgung vorzulegen. Der Einzelentsorgungsnachweis ist längstens 5 Jahre gültig und ist im elektronischen Abfallregister aufzubewahren. Die Verbleibskontrolle erfolgt hier mittels Begleitscheinverfahren nach § 10–11 NachwV.

Es besteht die Möglichkeit eines privilegierten Nachweisverfahrens (nach Abschn. 2 der NachwV), wenn der Abfallentsorger eine hierfür nötige Freistellung durch die zuständige Behörde besitzt. Im Rahmen des privilegierten Nachweisverfahrens wird keine behördliche Bestätigung des Einzelentsorgungsnachweises benötigt. Der Erzeuger hat lediglich seiner zuständigen Behörde die Entsorgung anzuzeigen.

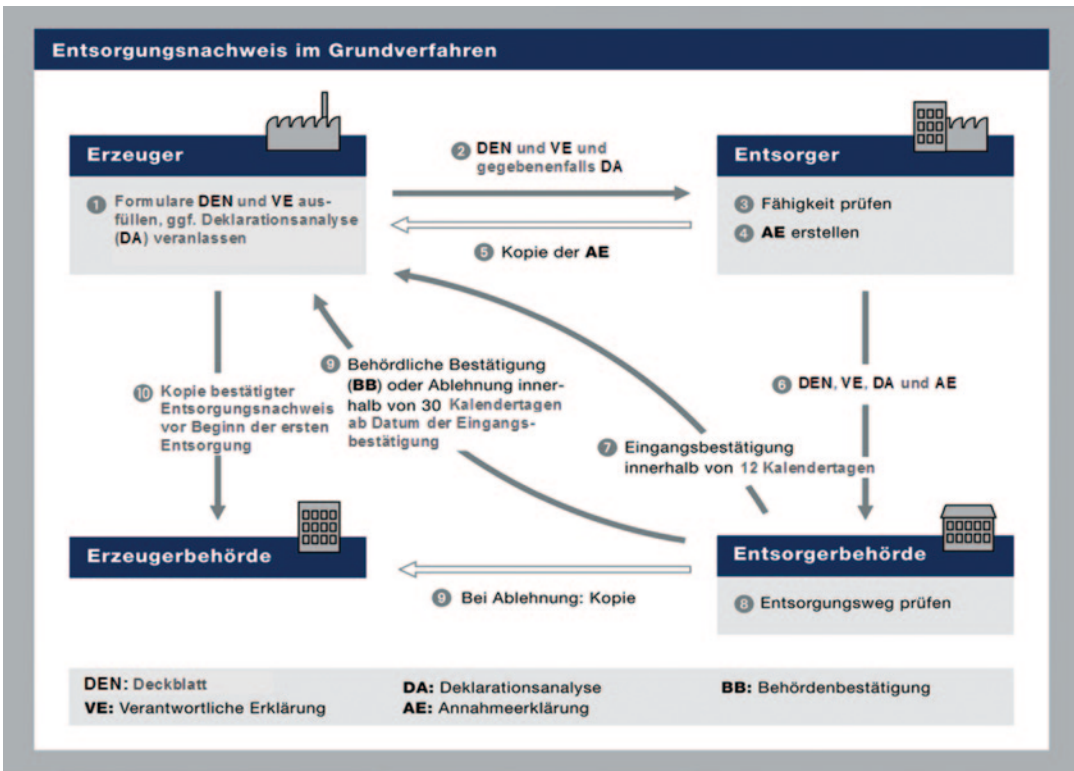


Abb. 19.19 Schematische Darstellung des Entsorgungsnachweisverfahrens. (Quelle: Leitfaden Entsorgung des DB Umweltzentrums (Stand Dez. 2009))

In einzelnen Bundesländern besteht zusätzlich für gefährliche Abfälle eine Andienungspflicht durch den Abfallerzeuger an die Sonderabfallgesellschaft des jeweiligen Bundeslandes, denen die Entsorgung von gefährlichen Abfällen als hoheitliche Aufgabe übertragen wurde [z.B. SAM (Sonderabfall-Management-Gesellschaft Rheinland-Pfalz mbH) in Rheinland-Pfalz]. Die Andienung erfolgt gem. NachwV über die entsprechenden Formblätter. Nach Andienung des Abfalls teilt die Sonderabfallgesellschaft dem Abfallerzeuger ein geeignetes Entsorgungsunternehmen mit, über das die Abfälle zu entsorgen sind.

Sammelentsorgungsnachweis

Fallen an einer Betriebsstätte jährlich weniger als 20 t gefährlicher Abfall an und sind die weiteren Anforderungen des § 9 Abs. 1 der NachwV erfüllt, ist die Möglichkeit der Nachweisführung mittels Sammelentsorgungsnachweises gegeben.

Bei der Entsorgung mittels Sammelentsorgungsnachweis erfolgt der Nachweis über die durchgeführte Entsorgung nach § 12 NachwV mittels Übernahmescheinverfahren.

Fallen jährlich weniger als 2 t gefährlicher Abfall an, besteht für den Abfallerzeuger keine Nachweispflicht über die Zulässigkeit der Entsorgung. Der Nachweis über die durchgeführte Entsorgung erfolgt hier nach § 12 NachwV mittels Übernahmeschein (Verbleibskontrolle). Davon abweichend kann der Durchführungsnachweis auch über Liefer- oder Wiegescheine gem. § 24 Abs 4 erfolgen, wenn diese die Informationen beinhalten, die durch den Übernahmeschein abgedeckt werden.

Seit dem 01. April 2010 sind alle Erzeuger, Transporteure und Entsorger gefährlicher Abfälle, die über einen Einzelentsorgungsnachweis abgewickelt werden, sowie die zuständigen Vollzugsbehörden gemäß Nachweisverordnung (Ver-

ordnung über die Nachweisführung bei der Entsorgung von Abfällen – NachwV) zur Teilnahme am elektronischen Nachweisverfahren (eANV) verpflichtet. Seit dem 01. Februar 2011 ist zudem die Nutzung der qualifizierten elektronischen Signatur anstelle der handschriftlichen Unterschrift im Rahmen dieses Verfahrens obligatorisch. Für die Dokumentation gefährlicher Abfälle im Sammelentsorgungsnachweisverfahren sowie für nicht gefährliche Abfälle kann das eANV fakultativ angewendet werden.

Zwischenlagerung von Abfällen auf der Baustelle

Bei der Planung von Baustellen ist zu beachten, dass Flächen, auf denen Abfälle vor ihrer Entsorgung gesammelt werden, unter bestimmten Umständen unter eine Genehmigungspflicht nach 4. BImSchV fallen können (bei Lagerungen unter 12 Monaten: bei gefährlichen Abfällen bei einer Aufnahmekapazität > 1 t/Tag oder einer Gesamtlagerungsmenge > 30 t, bei nicht gefährlichen Abfällen bei einer Aufnahmekapazität > 10 t/Tag oder einer Gesamtlagerungsmenge > 100 t, bei einer Lagerungsdauer über 12 Monaten generell), soweit die entsprechende Genehmigung nicht bereits im Rahmen der Entscheidung nach § 18 AEG erteilt wird. Darüber hinaus finden beim Zwischenlagern von Abfällen die wasserrechtlichen Grundsätze des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) und der länderspezifischen Verordnungen über Anlagen zum Umgang mit wasergefährdenden Stoffen und über Fachbetriebe (VAwS) Anwendung.

Die beim Transport gefährlicher Güter anzuwendenden Vorschriften (z. B. die Gefahrgutverordnung Straße, Eisenbahn und Binnenschiffahrt- GGVSEB) haben auch beim Transport von Abfällen Gültigkeit.

19.6.1.2 Umgang mit Holzschwellen

Neben den beschriebenen allgemeinen Grundsätzen des Abfallrechts existieren bei der Entsorgung von Altholzschwellen weitere spezielle rechtliche Vorgaben. Auf Grundlage der Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz (AltholzV) wird Altholz

nach § 2 (4) in Abhängigkeit von der chemischen Belastung in die Kategorien A I (naturbelassenes oder lediglich mechanisch bearbeitetes Holz) bis A IV (mit Holzschutzmitteln behandeltes Holz, das aufgrund seiner Belastung nicht den niedrigeren Klassen zugeordnet werden kann, ausgenommen PCB-Holz (PCB-Polychlorierte Biphenyle) eingeteilt. Für gängige Altholzsortimente enthält die Altholzverordnung in Anhang III eine Regelvermutung. Danach sind Bahnschwellen der Kategorie A IV zugeordnet. Eine Ausnahme liegt bei ungetränkten Hartholzschwellen vor.

Altholz darf nach § 8 der AltholzV nur zur stofflichen und energetischen Verwertung in einer Altholzbehandlungsanlage in Verkehr gebracht werden. Nach § 10 haben Abfallbesitzer bzw. -erzeuger mit einer täglich anfallenden Altholzmenge von 1 m³ losem Schüttvolumen oder 0,3 t dieses getrennt zu erfassen, zu sammeln, bereitzustellen und zu überlassen.

Der Nachweis über die Zulässigkeit der vorgesehenen Entsorgung und die durchgeführte Entsorgung hat auf Grundlage der Nachweisverordnung zu erfolgen. Bei der Entsorgung von Altholz ist hierbei zusätzlich nach § 11 AltholzV ein Anlieferungsschein gemäß Anhang IV der AltholzV zu erstellen.

Darüber hinaus finden beim Umgang mit Altholzschwellen die Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) sowie die Chemikalien-Verbotsverordnung (ChemVerbotsV) Anwendung. So sind zur Imprägnierung von Holzschwellen nur Holzschutzmittel zugelassen, die einen Massegehalt von weniger als 50 mg/kg Benzo(a)pyren (BaP) aufweisen (vgl. Anhang zu § 1 ChemVerbotsVO, Abschn. 17, Spalte 3, Abs.1). Holzschwellen, die mit Holzschutzmitteln behandelt wurden, die einen Massegehalt von mehr als 50 mg/kg BaP aufweisen, dürfen nur noch als Eisenbahnschwelle gemäß dem ursprünglichen Herstellungszweck wiederverwendet werden. Einen weiteren Verwertungsweg stellt die energetische Verwertung dar. Die Abgabe von Holzschwellen an Dritte für sonstige Verwendungszwecke ist verboten (vgl. Anhang zu § 1 ChemVerbotsVO, Abschn. 17, Spalte 3, Abs. 2 Ziff. 2).

19.6.1.3 Umgang mit Altschotter

Auch beim Umgang mit Altschotter sind die allgemeinen Vorgaben des deutschen Abfallrechtes zu beachten. Um bei der DB Netz AG eine einheitliche, wirtschaftliche, ökologisch und technisch sinnvolle Entsorgung des Altschotters unter Beachtung der gesetzlichen Vorgaben sicherzustellen, ist die Richtlinie „Bautechnik; Verwertung von Altschotter“ (Ril 880.4010) eingeführt worden. Diese orientiert sich an den „Mitteilungen der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 20: Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen – Technische Regeln“ (vom 06.11.1997) sowie am Entwurf „Technische Regeln (TR) für die Verwertung – TR Altschotter“ der LAGA (Stand vom 05.11.2004, unveröffentlicht).

In der Schweiz entspricht die Regelung der Richtlinie 880.4010 der Gleisaushubrichtlinie des Bundesamtes für Verkehr (BAV) und des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) vom September 2002.

Die Vorgehensweise der Entsorgung von Altschotter auf Grundlage o. g. Altschotterrichtlinie (Ril 880.4010) wird im Folgenden beschrieben.

Altschotterentsorgung im Bauablauf

Bereits in der Maßnahmenplanung werden eine Mengenermittlung sowie die Abfalldeklaration veranlasst. Außerdem wird, soweit notwendig, frühzeitig das Entsorgungsnachweisverfahren durchgeführt. In der Phase der Arbeitsvorbereitung wird die Logistik innerhalb und außerhalb der Baustelle, also auch der Transport zur Entsorgungsanlage, geplant und abgestimmt. Die Bau durchführung führt schließlich zur eigentlichen Entstehung von Altschotter. Dabei sind verschiedene Fälle zu unterscheiden:

a. Altschotter wird als Gesamtschotter (Körnung 0–63 mm) ausgebaut und als solcher einer ordnungsgemäßen Entsorgung zugeführt. Bei einigen Baustellen wird der Gesamtschotter vor Ort mittels stationärer Aufbereitungsanlage aufgearbeitet. Die Siebrückstände (0–31,5 mm) werden dann der Entsorgung zugeführt, wohingegen der aufgearbeitete Schotter (31,50–63 mm), soweit möglich, im

Gleisbett wieder eingebaut wird und seine Abfalleigenschaft verliert.

b. Im Rahmen einer Bettungsreinigung wird der Schotter von einer schienengebundenen Baumaschine aufgenommen und in der Maschine gesiebt. Der so aufgearbeitete Schotter (31,5–63 mm) wird von der Baumaschine unmittelbar im Gleis wiedereingebaut. Nur die Siebrückstände (0–31,5 mm) unterliegen dem Abfallrecht und werden anschließend der ordnungsgemäßen Entsorgung zugeführt. Die Dokumentation der Entsorgung erfolgt über das bereits beschriebene gesetzlich festgelegte Nachweisverfahren oder, soweit dies nicht erforderlich ist, über andere im Geschäftsverkehr übliche Belege.

Vorerhebung und Klassifikation des Gleisabschnitts

Im Rahmen der Begehung zur Konzeption von Gleis- und Weichenbaustellen wird zur Planung der Verwertungs- und Beseitigungswege eine Vorerhebung durchgeführt. Aus den Ergebnissen der Vorerhebung werden der Umfang der Probenahme sowie der analytische Untersuchungsumfang abgeleitet. Die Vorerhebung umfasst die Ortsbesichtigung mit augenscheinlicher Untersuchung (in Form einer Begehung), die Auswertung vorhandener Unterlagen, z. B. über Schwellenart, Havarien, sowie die Festlegung der Probenahmen und des Untersuchungsumfangs, s. Abb. 19.20. Auf der Grundlage der Ergebnisse aus der Vorerhebung wird dann entschieden, ob es sich um einen offensichtlich unbelasteten Gleisabschnitt oder um einen erkennbar belasteten Gleisabschnitt handelt. Diese Unterteilung dient dazu, die Abstände der Probenahme im Gleis und die spätere Bewertung der Untersuchungsergebnisse für eine repräsentative Untersuchung des Altschotters festzulegen.

Ein **offensichtlich unbelasteter Gleisabschnitt** liegt vor, wenn der Schotter nach Augenschein keine erkennbaren Belastungen aufweist (organoleptischer Befund: z. B. keine auffällige Farbe, kein auffälliger Geruch, frei von Verkrustungen) und sich durch die historische Erkundung keine Hinweise auf außergewöhnliche Er-

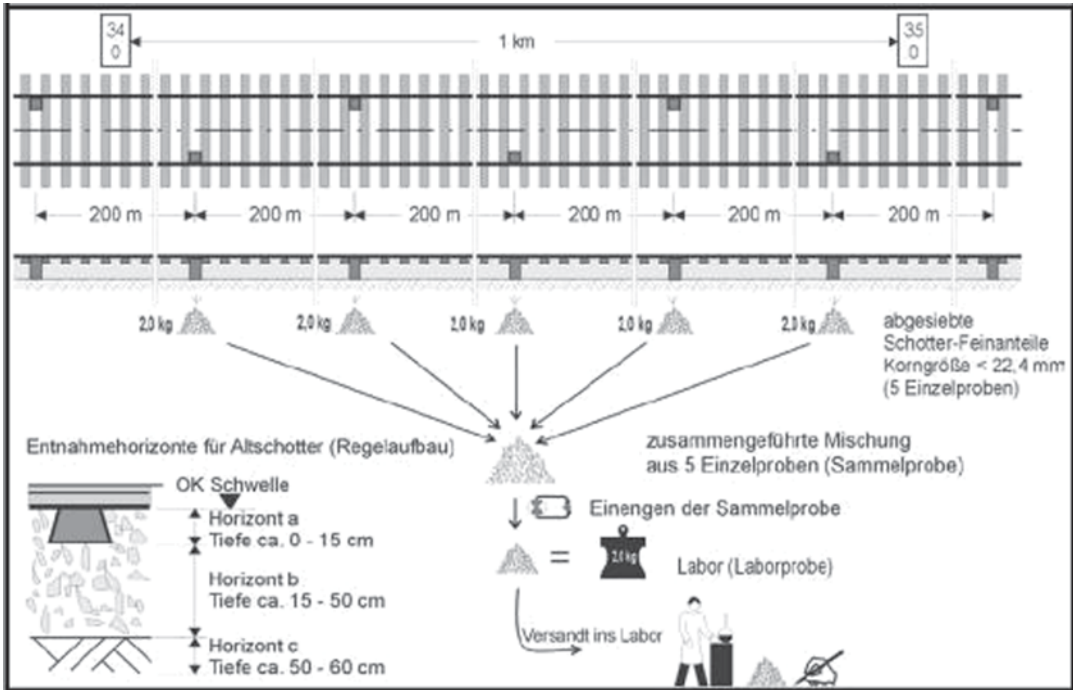


Abb. 19.20 Prinzipskizze des Probenahmeschemas und der Entnahmehorizonte. (Quelle: Ril 880.4010)

eignisse, z. B. Havarien, ergeben. Gleisabschnitte der freien Strecke sind i. d. R. offensichtlich unbelastet.

Ein **erkennbar belasteter Gleisabschnitt** liegt vor, wenn der Schotter Belastungen (nach organoleptischem Befund) aufweist. Erkennbare Belastungen können insbesondere vorliegen im Zungenbereich von Weichen (nicht bei Weichen neuer Bauart, da sie ohne Schmierung arbeiten), in Gleisabschnitten mit Schmiervorrichtungen oder hydraulischen Bremsen, in Lokabstellgleisen, Haltebereichen vor Signalen und an Bahnsteigen, in Wartungs- und Betankungsgleisen, in Verladestellen, Umschlaganlagen und in Gleisabschnitten, in denen Treibstoffe oder andere wassergefährdende Stoffe infolge eines Unfalls oder anderer Einwirkungen ausgelaufen oder freigesetzt worden sind. Hier ist eine Verdichtung der Probenahmepunkte erforderlich.

In beiden Fällen, dem offensichtlich unbelasteten und dem erkennbar belasteten Gleisbereich, werden Proben genommen und untersucht.

Probenahme und Analytik

Beprobt werden der später beim Ausbau anfallende Schotter, die anfallenden Bettungsrückstände und Planumsschutzschichten und die anfallenden Bodenmassen. Ziel der Probenahme ist die Bestimmung der chemischen Belastungen. Die Proben sind im Wesentlichen auf die in Tab. 19.33 genannten bahnspezifischen Parameter im Feststoff und Eluat zu untersuchen. Sie werden durch das Absieben des Gesamtschotter gewonnen und umfassen somit nur den Schotter-Finanteil. Die Untersuchungen werden nach den anerkannten Verfahren der „Mitteilungen der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 20: Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen – Technische Regeln“ (vom 06.11.1997), Kapitel III „Probenahme und Analytik“ bzw. nach den DIN-Analyseverfahren durchgeführt.

Zusätzlich zu den aufgeführten Parametern ist der Gleisschotter in einzelnen Bundesländern auch auf Herbizidrückstände, die von der chemi-

Tab. 19.33 Untersuchungsparameter von Altschotter

| Parameter | Feststoff | Eluat |
|---|-----------|-------|
| Organoleptische Prüfung | X | X |
| pH – Wert | | X |
| Elektrische Leitfähigkeit | | X |
| Mineralölkohlenwasserstoffe | X | |
| Polyzyklisch aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) | X | |
| Arsen (As) | X | X |
| Blei (Pb) | X | X |
| Cadmium (Cd) | X | X |
| Chrom (Cr) gesamt | X | X |
| Kupfer (Cu) | X | X |
| Nickel (Ni) | X | X |
| Quecksilber (Hg) | X | X |
| Zink (Zn) | X | X |

schen Vegetationskontrolle herrühren, zu untersuchen. Der Parameterumfang ist in den Gleisschottermerkblättern der jeweiligen Bundesländer dargestellt.

Bewertung der Untersuchungsergebnisse, Ermittlung der Einbauklassen und Zuordnung eines Abfallschlüssels

Vom Prüflabor wird ein Prüfbericht (gem. DIN EN 45001) erstellt, der die Prüfergebnisse zu jeder Probe und alle wichtigen Informationen enthält.

Untersucht wird die Feinfraktion. Soll die Gesamtfraktion als solche entsorgt werden, werden die aus der Feinfraktion ermittelten Analyseergebnisse auf die Gesamtfraktion umgerechnet. Hierbei wird von einem Feinkornanteil von i. d. R. 25% ausgegangen, der von der „TR Altschotter“ der LAGA übernommen wurde und in dem ein Sicherheitsfaktor enthalten ist, da der Feinanteil auf den Strecken der DB AG bei durchschnittlich 10–15 Massen-% liegt. Sofern die Belastung der Feinfraktion über dem 4-fachen des Z-2-Wertes liegt, ist ggf. die Gesamtfraktion zu untersuchen oder das Untersuchungsergebnis der Feinfraktion direkt als Ergebnis für die Gesamtfraktion heranzuziehen. Dies ist ein zusätzlicher Sicherheitsfaktor.

Bei erkennbar belasteten Gleisabschnitten sind die aus der Feinfraktion ermittelten Analyseergebnisse i. d. R. direkt zur Einstufung der

Gesamtfraktion heranzuziehen. Dies gilt auch für die bei der Bettungsreinigung anfallende Feinfraktion. Anhand der bewerteten Analyseergebnisse werden die anfallenden Abfälle in die Zuordnungsklassen Z 0 bis Z 5 nach LAGA 20 eingestuft und einem Abfallschlüssel nach der Abfallverzeichnisverordnung (=6-stelliger AVV-Schlüssel) zugeordnet (s. auch Abschn. 19.6.1.1). Gleisschotter muss korrekt als Gleisschotter, der gefährliche Stoffe enthält (170507*), oder als ungefährlicher Gleisschotter (170508) geschlüsselt werden. Der Stern (*) zeigt hierbei an, dass es sich um einen Abfall aus der Liste der stets gefährlichen Abfälle (der AVV) handelt.

Die Bewertung von Gleisschotter wird, wie bereits angeführt, nach den Technischen Regeln der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) „Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen“ vom 06.11.1997 (bzw. 05.11.2004) eingestuft. Es werden fünf Zuordnungsklassen unterschieden, s. Abb. 19.21:

- Z 0: uneingeschränkter Einbau,
- Z 1 (Z 1.1 und Z 1.2): bei offenem Einbau unter Berücksichtigung bestimmter Nutzungseinschränkungen,
- Z 2: Eingeschränkter Einbau mit definierten technischen Sicherheitsmaßnahmen,
- Z 3 und Z 4: Deponieklasse I und II (TA Siedlungsabfall),
- Z 5: Sonderabfalldeponie (TA Abfall).

Planen und Durchführen der Entsorgung

Im Rahmen der Entsorgungsplanung wird ein Entsorgungskonzept erstellt. In Abhängigkeit von den ermittelten Zuordnungswerten werden die zu verwertenden Altschotterfraktionen einer ordnungsgemäßen und schadlosen Verwertung bzw. einer gemeinwohlverträglichen Beseitigung zugeführt. Dabei werden länderspezifische Andienungs- und Überlassungspflichten, besonders die in einigen Bundesländern für gefährliche Abfälle zur Beseitigung (in Rheinland-Pfalz auch für gefährliche Abfälle zur Verwertung) festgelegten Andienungspflichten an die sog. Andienungsgesellschaft/Sonderabfallgesellschaft beachtet.

Die mit der Verwertung oder Beseitigung des Altschotters beauftragten Firmen sind als Ent-

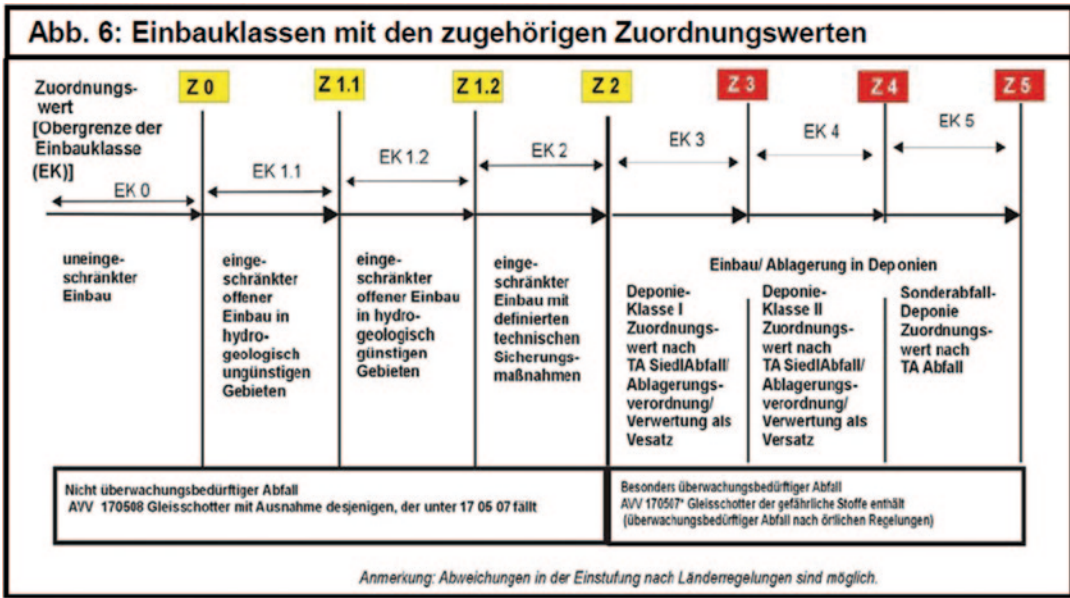


Abb. 19.21 Klassifizierung des Altschotters nach Zuordnungswerten. (Quelle: Ril 880.4010 Einbauklassen und Zuordnungswerte gem. LAGA M 20)

sorgungsfachbetrieb (§ 56 Kreislaufwirtschaftsgesetz) zugelassen. Ebenso wird sichergestellt, dass die Vertragsfirmen über eine gültige Genehmigung für die vorgesehene Entsorgungsanlage bzw. -maßnahme verfügen.

Materialkreislauf

Die Grobfraction des ausgebauten Schotters aus offensichtlich unbelasteten Gleisbereichen ist i. d. R. nach der Aufbereitung bei einer dafür zugelassenen Anlage als aufbereiteter Schotter (Recyclingschotter) wiederverwendbar, da sie weitgehend schadstofffrei – Z 0 bis Z 1.1. – ist. Beim Wiedereinsatz von aufbereitetem Schotter im Schienenwegebau wird die Qualität durch kontinuierliche Eigen- und Fremdüberwachung (geregelt in entsprechenden Technischen Lieferbedingungen der DB für die Verwendung von aufbereitetem Schotter [Ril 820.2010 „Ausrüstungsstandard Schotteroberbau für Gleise und Weichen“ (DBS 918 061) und Korngemischen (DBS 918 062)] sichergestellt. Die Güte von Recyclingschotter bzw. aufbereitetem Schotter bzw. des Korngemisches werden regelmäßig auf technische Eignung und Umweltverträglichkeit untersucht und die Ergebnisse dokumentiert.

Durchführung und Dokumentation der Entsorgung

Bei der Entsorgung des Altschotters finden die Vorgaben der eingangs beschriebenen Nachweisverordnung (s. auch Abschn. 19.6.1.1) Anwendung.

Soweit Altschotter im Rahmen des Materialkreislaufes nach Aufbereitung im Gleisbereich als nicht gefährlicher Altschotter zur Verwertung (i. d. R. Z 0 bis Z 2) wieder eingebaut wird, erfolgt zusätzlich eine Dokumentation gemäß Tab. 19.34.

19.6.1.4 Umgang mit Boden

Um einem unzulässigen Einbau von schadstoffbelastetem Erdbaumaterial bei Baumaßnahmen zu begegnen und Risiken im Hinblick auf Schadensersatzforderungen und Verzögerungen bei der Projektabwicklung zu vermeiden, werden bei der DB AG bei fremdgeliefertem Erdbaumaterial Kontrollprüfungen im Hinblick auf Schadstoffgehalte durchgeführt. Das angelieferte Erdbaumaterial wird zunächst fortlaufend organoleptisch auf Schadstoffgehalte überprüft. Unter fremdgeliefertem Erdbaumaterial ist natürlicher Boden oder mineralische Korngemische mit

Tab. 19.34 Notwendige Angaben bei der Dokumentation der Altschotterverwertung

| Angaben zu | Verwertung | |
|---|-------------------|------------------|
| | Ohne Aufbereitung | Mit Aufbereitung |
| Art und Herkunft des Altschotters | X | X |
| Menge (ausgeliefert, transportiert) | X | X |
| Analysenergebnisse | X | X |
| Einbauklasse | X | X |
| Transporteur | X | X |
| Aufbereiter | | X |
| Güteklasse | X | |
| Ort des Einbaus (genaue Lage, Flurbezeichnung, Bahnhof, Strecke) | X | |
| Art der Verwertung bei der Baumaßnahme | X | |
| Hydrogeologische Verhältnisse (z. B. Abstand zum höchsten Grundwasserstand, Ausbildung der Deckschicht) | X | |
| Bei Einbauklasse Z 2 die Art der technischen Sicherungsmaßnahme | X | |
| Einbaufirma | X | |
| Träger der Baumaßnahme | X | |

oder ohne Veränderungen oder Beimischungen zu verstehen, der nicht im Zuge einer Baumaßnahme bzw. Baufeldfreimachung im Bereich der DB AG anfällt bzw. gewonnen wird und von anderweitigen Lieferorten kommt. Im Fall eines spezifischen Verdachts auf überhöhte Schadstoffgehalte wird eine chemische Schadstoffanalyse durchgeführt. Bei Probenahme und analytischen Verfahren wird gemäß den Technischen Regeln für die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen (LAGA 20, Kapitel III) verfahren.

Zusätzlich wird je 5.000 t, jedoch mindestens einmal je Baumaßnahme, eine Probe genommen und eine chemische Schadstoffanalyse durchgeführt. Das Mindestuntersuchungsprogramm und die Einbaugrenzwerte sind aus Tab. 19.35 (Mindestuntersuchungsprogramm und die Einbaugrenzwerte bei Bodenmaterial [nach TR Boden (LAGA 20, 06.11.1997 und 05.11.2004)] ersichtlich. Bei spezifischem Verdacht ist das Untersuchungsprogramm entsprechend zu erweitern.

Folgerungen für den Einbau

Werden die Z0-Werte der Tabelle nicht überschritten, ist i. Allg. ein uneingeschränkter Einbau des Bodenmaterials möglich, d. h. es bestehen grundsätzlich keine Beschränkungen hinsichtlich der Einbauörtlichkeiten. Aus Vorsorgegründen sollte jedoch i. d. R. in der Nähe von

besonders sensiblen Flächen (z. B. Kinderspielfläche, Kleingärten) auf den Einbau von Boden aus der Bodenbehandlung und der Altlastensanierung verzichtet werden.

Werden die Z1.1-Werte der Tabelle nicht überschritten, ist ein eingeschränkter offener Einbau des Bodenmaterials möglich. Ein Einbau bei besonders sensiblen Gebieten bzw. Nutzungen ist nicht zulässig (z. B. Trinkwasserschutzgebiete I–III A, Heilquellenschutzgebiete I–III).

Werden die Z1.2-Werte der Tabelle nicht überschritten, ist ein Einbau in hydrogeologisch günstigen Gebieten möglich. Dies gilt bei Bodenaustausch und -ersatz nur für Flächen, die bereits eine Vorbelastung des Bodens > Z1.1 aufweisen [Verschlechterungsverbot (nach LAGA M 20)]. Hydrogeologisch günstig sind u. a. Standorte, bei denen der Grundwasserleiter nach oben durch flächig verbreitete, ausreichend mächtige Bodenschichten mit hohem Rückhaltevermögen (Deckschichten) gegenüber Schadstoffen überdeckt ist. Dieses Rückhaltevermögen ist i. d. R. bei mindestens 2 m mächtigen Deckschichten aus Ton, Schluffen oder Lehmen gegeben. Sofern diese hydrogeologisch günstigen Gebiete durch die zuständigen Behörden nicht verbindlich festgelegt sind, müssen der Genehmigungsbehörde die geforderten Standorteigenschaften durch ein Gutachten nachgewiesen werden.

Tab. 19.35 Mindestuntersuchungsprogramm und Einbaugrenzwerte bei Bodenmaterial (nach TR Boden (LAGA 20, 06.11.1997 und 05.11.2004))

| | Parameter | Mindestuntersuchungsprogramm | | Einbaugrenzwert Feststoff (mg/kg) | | | | Einbaugrenzwert Eluat (µg/l) | | | |
|----|---------------------------|------------------------------|---------------------|-----------------------------------|-----------------|------------------|-------|------------------------------|--------|---------|-------------------|
| | | Feststoff | Eluat ^{c)} | Z0 | Z1.1 | Z1.2 | Z2 | Z0 | Z1.1 | Z1.2 | Z2 |
| 1 | Organolept. Prüfung | X | | | | | | | | | |
| 2 | pH-Wert ^{a)} | X | X ^{d)} | 5,5–8 | | 5–9 | - | 6,5–9 | | 6–12 | 5,5–12 |
| 3 | el. Leitfähigkeit (µS/cm) | | X | | | | | 500 | 500 | 1.000 | 1.500 |
| 4 | Phenolindex ^{b)} | | X | | | | | <10 | 10 | 50 | 100 |
| 5 | EOX | X | | 1 | 3 | 10 | 15 | | | | |
| 6 | Kohlenwasserstoffe | X | | 100 | 300 | 500 | 1.000 | | | | |
| 7 | Σ BTEX | X | | <1 | 1 | 3 | 5 | | | | |
| 8 | Σ LHKW | X | | <1 | 1 | 3 | 5 | | | | |
| 9 | Σ PAK nach EPA | X | | 1 | 5 ^{e)} | 15 ^{f)} | 20 | | | | |
| 10 | Σ PCB (n. DIN 51527) | X | | 0,02 | 0,1 | 0,5 | 1 | | | | |
| 11 | Chlorid | | X | | | | | 10.000 | 10.000 | 20.000 | 30.000 |
| 12 | Sulfat | | X | | | | | 50.000 | 50.000 | 100.000 | 150.000 |
| 13 | Arsen | X | X ^{d)} | 20 | 30 | 50 | 150 | 10 | 10 | 40 | 60 |
| 14 | Blei | X | X ^{d)} | 100 | 200 | 300 | 1000 | 20 | 40 | 100 | 200 |
| 15 | Cadmium | X | X ^{d)} | 0,6 | 1 | 3 | 10 | 2 | 2 | 5 | 10 |
| 16 | Chrom (ges.) | X | X ^{d)} | 50 | 100 | 200 | 600 | 15 | 30 | 75 | 150 |
| 17 | Kupfer | X | X ^{d)} | 40 | 100 | 200 | 600 | 50 | 50 | 150 | 300 |
| 18 | Nickel | X | X ^{d)} | 40 | 100 | 200 | 600 | 40 | 50 | 150 | 200 |
| 19 | Quecksilber | X | X ^{d)} | 0,3 | 1 | 3 | 10 | 0,2 | 0,2 | 1 | 2 |
| 20 | Thallium | X | X | 0,5 | 1 | 3 | 10 | <1 | 1 | 3 | 5 |
| 21 | Zink | X | X ^{d)} | 120 | 300 | 500 | 1500 | 100 | 100 | 300 | 600 |
| 22 | Cyanide (ges.) | X | X | 1 | 10 | 30 | 100 | <10 | 10 | 50 | 100 ^{g)} |
| 23 | HCl-Test (10%) | X | | | | | | | | | |

^{a)} Niedrigere pH-Werte stellen allein kein Ausschlusskriterium dar. Bei Überschreitungen ist die Ursache zu prüfen

^{b)} Bei Überschreitungen ist die Ursache zu prüfen. Höhere Gehalte, die auf Huminstoffe zurückzuführen sind, stellen kein Ausschlusskriterium dar

^{c)} In begr. Einzelfällen (Belastungen aufgrund Herkunft o. Nutzung unter atypischen Umgebungsbedingungen) evtl. erforderlich, den verfügbaren (mobilen) Anteil zu untersuchen

^{d)} Wenn Feststoff > Z 0 oder pH-Wert < 5

^{e)} Einzelwerte für Naphthalin und Benzo-[a]-Pyren jeweils kleiner als 0,5

^{f)} Einzelwerte für Naphthalin und Benzo-[a]-Pyren jeweils kleiner als 1,0

^{g)} Verwendung für Z 2 > 100 µg/l ist zulässig, wenn Z 2 Cyanid (leicht freisetzbar) < 50 µg/l

Werden die Z2-Werte in Tab. 19.35 nicht überschritten, ist ein Einbau unter definierten technischen Sicherungsmaßnahmen möglich. Die in Frage kommenden Maßnahmen sowie die Ausschlüsse sind definiert in den Mitteilungen der LAGA Nr. 20 (Kap. 1.2.3.3). Dazu gehört z. B. die Verwertung bei Erdbaumaßnahmen (kontrol-

lierten Großbaumaßnahmen) als Lärmschutzwall mit mineralischer Oberflächenabdichtung oder als Straßendamm (Unterbau) mit wasserundurchlässiger Fahrbahndecke. Der Abstand zwischen der Schüttkörperbasis und dem höchsten zu erwartenden Grundwasserstand soll mindestens 1 m betragen.

Beim Einbau von Bodenmaterial, dessen Schadstoffbelastung über den Z2-Werten liegt, ist in jedem Fall die Zustimmung der zuständigen Behörde einzuholen. Der Einbau ist zu dokumentieren, d. h. folgende Daten sind aktenkundig festzuhalten: Art und Herkunft des Bodens, Lieferant des Bodens, Analysenergebnisse, Menge des eingebauten Bodens, Einbauort (Strecke, km) und Einbaudatum, hydrogeologische Verhältnisse (Flurabstand, Ausbildung der Deckschichten), ggf. Art der definierten technischen Sicherungsmaßnahme.

Der Einbau von Bodenmaterial in sensiblen Gebieten, z. B. festgesetzte bzw. fachbehördlich geplante Trinkwasserschutzgebiete (Zone I-III A), Heilquellenschutzgebiete (Zone I-III) oder Gebiete mit häufigen Überschwemmungen, ist nur bei Einhaltung der Z0-Werte zulässig.

Ausblick

Zum Zeitpunkt der Drucklegung plant das BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit), die bisherigen bundeslandspezifischen Anforderungen für die Verwertung von mineralischen Abfällen bundeseinheitlich zu regeln.

Die geplante Ersatzbaustoffverordnung ist Teil der Mantelverordnung, die auch Änderungen im Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung sowie der Grundwasserverordnung (GrwV) umfassen soll. Mit ihr sollen Anforderungen für das Einbringen und das Einleiten von Stoffen in das, an den Einbau von Ersatzbaustoffen und für die Verwendung von Boden und bodenähnlichem Material (Mantelverordnung Grundwasser, Ersatzbaustoffe, Bodenschutz) definiert werden. In der neuen Ersatzbaustoffverordnung (Artikel 2 der Mantelverordnung) wird aufbauend auf den Prüfwerten geregelt, unter welchen Voraussetzungen mineralische Ersatzbaustoffe in technischen Bauwerken eingesetzt werden können, ohne dafür eine wasserrechtliche Erlaubnis zu benötigen.

Derzeit existiert die Verordnung als Arbeitsentwurf mit Stand vom 6. Januar 2011.

Bodenverwertungs- und Entsorgungskonzept (BoVEK)

Um bei der Entsorgung von Bauabfällen die Rechts- und Planungssicherheit zu gewährleisten und eine Kostenminimierung zu realisieren, wurde bei der DB AG das BoVEK (Bodenverwertungs- und Entsorgungskonzept) als Unterstützungsprozess für die Planung und Durchführung von Tief- und Ingenieurbautechnischen Maßnahmen sowie Rückbaumaßnahmen eingeführt. Die Durchführung des BoVEK-Prozesses ist als Konzernrichtlinie (137.0101) festgelegt und auch in der DB AG-Richtlinie „Infrastrukturmaßnahmen Planen, Durchführen, Abnehmen, Dokumentieren und Abschließen“ (Ril 809) festgeschrieben.

Der BoVEK-Prozess dient dabei zur Steuerung der Entsorgung von Abfällen (insbesondere von Bodenmassen) bzw. der Lenkung von Abfallströmen als integraler Bestandteil bei der Planung und Durchführung von Baumaßnahmen. Dabei liegt das Hauptaugenmerk auf dem Grundsatz „Verwertung vor Beseitigung“. Die anfallenden Abfälle werden dabei nach Art und Menge erfasst, quantitativ und qualitativ bewertet und es werden die dafür optimalen Entsorgungsmöglichkeiten aufgezeigt.

Literatur

19.1 Umweltmanagement

1. Eidam G (2001) Unternehmen und Strafe. 2. Aufl. Carl Heymanns Verlag KG Köln, Berlin, Bonn, München
2. Kornek S (2006) Entwicklung einer Methodik eines integrierten Managementsystems von Umwelt-, Qualitäts- und Arbeitsschutzaspekten unter besonderer Betrachtung des Risikomanagements. In: Günther E, Kaulich S (Hrsg.) Dresdner Beiträge zur Lehre der Betrieblichen Umweltökonomie, Nr. 19/2006. Technische Universität Dresden
3. Moosmayer V, Zippel E, Lodigiani M, Koch C (2011) Systematisches Umweltmanagement. Die Unterschiede zwischen EMAS und ISO 14001. Geschäftsstelle des Umweltgutachterausschusses, Berlin http://www.emas.de/fileadmin/user_upload/06_service/PDF-Dateien/Mit-EMAS-Mehrwertschaffen_Vergleich-ISO14001_2010.pdf. Accessed Feb 2011

4. Müller M, Moutchnik A, Freier I (2009) Standards und Zertifikate im Umweltmanagement und im Sozialbereich. In: Baumast A, Pape J (Hrsg.) Betriebliches Umweltmanagement, 4. Aufl. Eugen Ulmer GmbH & Co, Stuttgart (Hohenheim)
5. Nobbe U, Pinther J, Vögele P (1993) Verantwortung im Unternehmen. 1. Aufl. Hermann Luchterhand Verlag GmbH & Co KG, Neuwied, Kriftel, Berlin
6. Ott W (1998) Notwendigkeit integrierter Managementsysteme. In: Schimmelpfeng L, Henn S, Jansen C (Hrsg.) Integrierte (Umwelt) Managementsysteme: Einführung, Anwendung und Zertifizierung in der Praxis. Eberhard Blottner Verlag, Taunusstein
7. Pischon A, Liesegang DG. (Hrsg.) (1999) Integrierte Managementsysteme für Qualität, Umweltschutz und Arbeitssicherheit. Springer-Verlag, Berlin
8. Reuter AY, Zink KJ (2003) Der Weg zum integrierten Managementsystem. Universität Kaiserslautern

Rechtsvorgaben und Regelwerk

9. DIN EN ISO 14001 Umweltmanagementsysteme – Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung (ISO 14001:2004 + Cor 1:2009)
10. DIN EN ISO 14020 (2002) Umweltkennzeichnungen und – deklorationen – Allgemeine Grundsätze
11. DIN EN ISO 14031 (2011) Umweltmanagement – Umweltleistungsbewertung – Leitlinien
12. DIN EN ISO 14040 (2009) Umweltmanagement – Ökobilanz – Prinzipien und allgemeine Anforderungen
13. DIN ISO 14015 (2010) Umweltmanagement – Umweltbewertung von Standorten und Organisationen (UBSO)
14. DIN EN ISO 14004 (2010) Umweltmanagementsysteme – Allgemeiner Leitfaden über Grundsätze, Systeme und unterstützende Methoden
15. Fünfte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (**5. BImSchV**) „Verordnung über Immissionsschutz- und Störfallbeauftragte“ vom 30. Juli 1993 (BGBl. I Nr. 42 vom 07.08.1993, S. 1433) zuletzt geändert am 9. September 2001
16. Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz -**BImSchG**) (BGBl. I Nr. 71 S. 3830) Ausfertigungsdatum: 15.03.1974, zuletzt geändert am 27. Juni 2012
17. Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz – **KrWG**) Ausfertigungsdatum: 24.02.2012 (BGBl. I Nr. 10 vom 29.02.2012S. 212)
18. Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz – **WHG**) Ausfertigungsdatum: 31.07.2009, zuletzt geändert am 24. Februar 2012 (BGBl. I Nr. 10, S. 212)
19. Verordnung über die Bestellung von Gefahrgutbeauftragten und die Schulung der beauftragten Personen in Unternehmen und Betrieben (**GbV**) in der Fassung der Bekanntmachung vom 25. Feb 2011(BGBl. J. 2011 Nr. 09 vom 11.03.2011)
20. Zwölfte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Störfall- Verordnung **12. BImSchV**) vom 8. Juni 2005, zuletzt geändert am 26.11.2010 (BGBl. I 59, S. 1643)

19.2 Anlagenbezogener Umweltschutz

19.2.1 Abwasseranlagen und Abwasserbehandlungsanlagen

Rechtsvorgaben und Regelwerk

21. Allgemeines Eisenbahngesetz (**AEG**) vom 27.12. 1993 (BGBl I Nr. 73 vom 30.12.1993, S. 2396 1994 I S. 2439), zuletzt geändert am 7. Juli 2005 (BGBl. I Nr. 62 vom 24.09.1994, S. 1970)
22. Anlagenverordnungen wassergefährdende Stoffe der Länder (VAwS), z. B. Verordnung des Ministeriums für Umwelt und Verkehr über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen und über Fachbetriebe (VAwS) vom 11. Februar 1994 (GBl. Baden-Württemberg Nr. 8 vom 31.03.1994, S. 182) zuletzt geändert am 25. Januar 2012 (GBl. Baden-Württemberg Nr. 3 vom 27.02.2012, S. 65)
23. DB AG Ril 880.25 „Abwasseranlagen betreiben und instand halten“
24. Eigenkontrollverordnungen der Länder, z. B. Verordnung zur Eigenüberwachung von Wasserversorgungs- und Abwasseranlagen (**EÜV**) vom 20. September 1995 (GVBl. Bayern Nr. 25 vom 15.11.1995, S. 769) zuletzt geändert am 25. Februar 2010 (GVBl. Bayern Nr. 4 vom 26.02.2010, S. 66)
25. Eisenbahn- Bau- und Betriebsordnung (**EBO**) vom 8. Mai 1967, verkündet am 12. Mai 1967 (BGBl. II S. 1563), zuletzt geändert am 25. Juli 2012 (BGBl. I S. 1703)
26. Gesetz über Abgaben für das Einleiten von Abwasser in Gewässer (**AbwAG**) in der Fassung der Bekanntmachung vom 19. Januar 2005 (BGBl. I Nr. 5 vom 25.01.2005 S. 114) zuletzt geändert am 17.08.2010 (BGBl. I Nr. 43 vom 17.08.2010S. 1163)
27. Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (**WHG**) in der Fassung der Bekanntmachung vom 31. Juli 2012 (BGBl. I Nr. 51 vom 06.08.2009S. 2585) zuletzt geändert am 07. August 2013 (BGBl. I Nr. 48 vom 14.08.2013 S. 3164, 3180, 3206)
28. Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen (**KrWG**) vom 24. Februar September 2012 (BGBl. I Nr. 12 vom 29.02.2012S. 212) zuletzt geändert

- dert am 22. Mai 2013 (BGBl. I Nr. 25 vom 27.05.2013 S. 1324)
29. Indirekteinleiter-Verordnungen der Bundesländer, z. B. Verordnung des Ministeriums für Umwelt und Verkehr über das Einleiten von Abwasser in öffentliche Abwasseranlagen (**IndVO**) vom 19. April 1999 (GBl. Baden-Württemberg Nr. 9 vom 21.05.1999, S. 181) zuletzt geändert am 25. April 2007 (GBl. Baden-Württemberg Nr. 9 vom 15.06.2007, S. 252)
 30. Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer (**AbwV**) in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Juni 2004 (BGBl. I Nr. 28 vom 22.06.2004 S. 1108) zuletzt geändert am 02. Mai 2013 (BGBl. I Nr. 21 vom 02.05.2013, S. 973)
 31. Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (**VAwS**) vom 31. März 2010 (BGBl. I Nr. 14 vom 09.04.2010 S. 377)
 32. Verordnung zur Umsetzung der Richtlinie 80/68/EWG des Rates vom 17. Dezember 1979 über den Schutz des Grundwassers gegen Verschmutzung durch bestimmte gefährliche Stoffe (**GrwV**) vom 19. März 1997 (BGBl. I Nr. 18 vom 21.03.1997 S. 542) zuletzt geändert am 23. Dezember 1991 (ABl. EG vom 31.12.1991 Nr. L 377 S. 48)
 33. Verwaltungsvorschrift über die Bauaufsicht im Ingenieurbau, Oberbau und Hochbau (VV BAU), Vers 4.51 in der Fassung vom 01.01.2012.

19.2.2 Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen

Rechtsvorgaben und Regelwerk

34. Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Wasserhaushaltsgesetz über die Einstufung wassergefährdender Stoffe in Wassergefährdungsklassen (Verwaltungsvorschrift wassergefährdende Stoffe (**VwVwS**) vom 17. Mai 1999 (BANz. Nr. 98a vom 29.05.1999) zuletzt geändert am 27. Juli 2005 durch Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Änderung der Verwaltungsvorschrift wassergefährdende Stoffe (BANz. Nr. 142a vom 30.07.2005)
35. Anlagenverordnungen wassergefährdende Stoffe der Länder (**VAwS**), z. B. Verordnung des Ministeriums für Umwelt und Verkehr über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen und über Fachbetriebe (VAwS) vom 11. Februar 1994 (GBl. Baden-Württemberg Nr. 8 vom 31.03.1994, S. 182) zuletzt geändert am 25. Januar 2012 (GBl. Baden-Württemberg Nr. 3 vom 27.02.2012, S. 65)
36. Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (BBodSchG) vom 17. März 1998 (BGBl. I Nr. 16 vom 24.03.1998 S. 502) zuletzt geändert am 24. Februar 2012 (BGBl. I Nr. 10 vom 29.02.2012 S.)
37. Muster-Verwaltungsvorschrift zur VAwS Muster-Verwaltungsvorschrift zum Vollzug der Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen und über Fachbetriebe der Länderarbeitsgemein-
38. schaft Wasser (LAWA) (**Muster-VAwS**) Stand. März 2001
38. Nutzungsbedingungen für Serviceeinrichtungen der DB Netz AG (**NBS 2014**) gültig ab 09.04.2013
39. Technische Regeln für brennbare Flüssigkeiten (TRbF) 30 -Füllstellen, Entleerstellen und Flugbetankungsstellen- Ausgabe Februar 2002 (BArbBl. 2/2002, S. 66) zuletzt geändert am 15. Mai 2002 durch Bekanntmachung des BMA (BArbBl. 6/2002, S. 62 (68))
40. Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (VAwS) vom 31. März 2010 (BGBl. I Nr. 14 vom 09.04.2010 S. 377)

19.2.3 Innenreinigungsanlagen

41. DB AG Ril 880.1040 ENTWURF „Schutzanlagen in Innenreinigungsanlagen (IRA) für Eisenbahnfahrzeuge zur Personenbeförderung planen und gestalten“
42. DB AG Ril 910.1004 „Reisezug-, Triebwagen und Triebzüge reinigen; Allgemeines“

19.2.4 Genehmigungsbedürftige Anlagen nach 4. BImSchV

Rechtsvorgaben und Regelwerk

43. Gesetz über die Bereitstellung von Produkten auf dem Markt (Produktsicherheitsgesetz – **ProdSG**) vom 8. November 2011 (BGBl. I Nr. 57 vom 11.11.2011 S. 2178/2179) zuletzt geändert am 26. Januar 2012 (BGBl. I Nr. 6 vom 08.02.2012 S. 131)
44. Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (**BImSchG**) in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I Nr. 71 vom 27.05.2013, S. 1274) zuletzt geändert am 27. Juni 2012 (BGBl. I Nr. 29 vom 05.07.2013, S. 1943)
45. Erste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen) (**1. BImSchV**) in der Fassung der Bekanntmachung vom 01. Januar 2010 (BGBl. I Nr. 4 vom 01.02.2010 S. 38)
46. Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen) (**4. BImSchV**) in der Fassung der Bekanntmachung vom 02. Mai 2013 (BGBl. I Nr. 21 vom 02.05.2013 S. 973)
47. Siebente Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung zur Auswurfbegrenzung von Holzstaub) (**7. BImSchV**) vom 19. Dezember 1975 (BGBl. I Nr. 145 vom 23.12.1975 S. 3133)
48. Neunte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über das Genehmigungsverfahren) (**9. BImSchV**) in der Fassung der Bekanntmachung vom 29. Mai 1992 (BGBl. I Nr.

25 vom 11.06.1992S. 1001) zuletzt geändert am 02. Mai 2013 (BGBl. I Nr. 25 vom 02.05.2013, S. 973)

49. Elfte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Emissions-erklärungen und Emissionsberichte) (**11. BImSchV**) vom 05. März 2007 (BGBl. I Nr. 9 vom 15.03.2007S. 289) zuletzt geändert am 02. Mai 2013 (BGBl. I Nr. 21 vom 02.05.2013, S. 1021)
50. Zwölfte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Störfall-Verordnung) (**12. BImSchV**) in der Fassung der Bekanntmachung vom 8. Juni 2005 (BGBl. I Nr. 33 vom 16.06.2005S. 1598) zuletzt geändert am 14. August 2013 (BGBl. I Nr. 49 vom 17.08.2013, S. 3230)
51. Einunddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung zur Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen bei der Verwendung organischer Löse-mittel in bestimmten Anlagen) (**31. BImSchV**) vom 21. August 2001 (BGBl. Nr. 44 vom 24.08.2001S. 2180) zuletzt geändert am 02. Mai 2013 (BGBl. Nr. 21 vom 02.05.2013, S. 1021)

19.2.5 Trinkwasserfüllanlagen

Rechtsvorgaben und Regelwerk

52. Gesetz zur Verhütung und Bekämpfung von Infektionskrankheiten beim Menschen (**IfSG**) vom 20. Juli 2000 (BGBl. I Nr. 33 vom 25.07.2000S. 1045) zuletzt geändert am 1. September 2005 (BGBl. I Nr. 55 vom 06.09.2005S. 2618)
53. Erste Verordnung zur Änderung der Trinkwasserverordnung vom 03.05.2011 über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (**TrinkwV 2001**) BGBl. Nr. 21 2011)
54. **Verwaltungsrichtlinie** des Eisenbahn-Bundesamtes zur „Wahrnehmung der behördlichen Aufsicht gemäß § 72 Infektionsschutzgesetz im Bereich der Eisenbahnen des Bundes in Trinkwasserversorgungs- und Abwasserbeseitigungsanlagen in Schienenfahrzeugen und ortsfesten Anlagen zu deren Befüllung und Entsorgung“ (Stand 01.01.2008)

Anhang I: Anforderungen an das Betreiben von ortsfesten Anlagen zur Trinkwasserversorgung von Schienenfahrzeugen im Bereich der Eisenbahnen des Bundes (Trinkwasserfüllanlagen) (Stand 01.07.2008)

Anhang II: Entsorgung der fäkalen Abwässervon WC-Anlagen sowie der Grauwässer aus Schienenfahrzeugen (Abwasserentsorgungsanlagen) (Stand 16.06.2010)

Anhang III: Anforderungen an Trinkwasserversorgungs- und Abwasserbeseitigungsanlagen in Schienenfahrzeugen (Stand 01.01.2008)

Anhang IV: Reinigung und Desinfektion von metallischen und nichtmetallischen Trinkwasserverteilungs- und Trinkwasserspeichersystemen in Schienenfahrzeugen und ortsfesten Trinkwasserfüllanlagen im Bereich der Eisenbahnen des Bundes (Stand 01.01.2008) UA8. Prozess Wasserversorgungsanlagen betreiben (Konzernprozessportal)

19.2.6 Strahlenschutzrelevante Anlagen

Rechtsvorgaben und Regelwerk

55. Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz) (**AtG**) vom 23.12.1959 (BGBl. I 1959, 814), Stand: Neugefasst durch Bek. v. 15.7.1985 I 1565 das zuletzt durch Artikel 5 Absatz 6 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212) geändert worden ist
56. Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung) (**StrlSchV**) vom 20.07.2001 (BGBl. I 2001, 1714, (2002, 1459)), Stand: Geändert durch Art. 2 V v. 19. 6.2002 I 1869, die zuletzt durch Artikel 5 Absatz 7 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212) geändert worden ist
57. Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlen (Röntgenverordnung) (**RöV**) vom 08.01.1987 (BGBl. I 1987, 114), Stand: Neugefasst durch Bek. v. 30. 4.2003 I 604, die zuletzt durch Artikel 2 der Verordnung vom 4. Oktober 2011 (BGBl. I S. 2000) geändert worden ist

19.3 Schutz vor Lärm und Erschütterungen

Literatur

58. Jaquet T, Garburg R, Heiland D, Rutishauser G (2006) Nord-Süd-Verbindung in Berlin, Baudynamik bei 15 km Masse-Feder-Systemen. EI – Der Eisenbahningenieur 57(9)
59. Krüger F et al (2006) Schall- und Erschütterungsschutz im Schienenverkehr. expert Verlag Renningen, Kontakt & Studium Band 565
60. Krüger F (2010) Erschütterungs- und Sekundärschallimmissionen – Bewertung und Minderungsmaßnahmen, Eisenbahn Ingenieur Kalender EIK 2010. S 189–200
61. Lenz U, Stank H, Stummeyer H-J (2007) Dimensionierung von Masse-Feder-Systemen für Eisenbahnen. EI - Der Eisenbahningenieur (3)
62. Melke J (1995) Erschütterungen und Körperschall des landgebundenen Verkehrs – Prognose und Schutzmaßnahmen. Landesamt für Immissionsschutz Nordrhein-Westfalen (Hrsg) Materialien Nr. 22
63. Meloni T (2011) Regulierung zum Schutz des Menschen vor Erschütterungen und sekundärem Luftschall. Lärmbekämpfung 6(4)
64. Müller-Boruttav F, Rosenthal V, Breitsamter N (2001) So trägt das Schotterbett Lasten ab- Messungen am Oberbau Systeme Grötz BSO/MK. ETR Eisenbahntechnische Rundschau, Jahrgang 50(11)
65. Said A, Fleischer D, Kilcher H, Fastl H, Grütz H-P (2001) Zur Bewertung von Erschütterungsmissionen aus dem Schienenverkehr. Z Lärmbekämpfung (ZfL) 48(6) November

66. Said A, Grütz H-P, Garburg R (2006) Ermittlung des sekundären Luftschall aus dem Schienenverkehr. Z Lärmbekämpfung (ZfL) 53(1) Januar
67. Stahl W (2011) Prüfung von elastischen Komponenten zur Schwingungsminderung beim Eisenbahnbau. ETR - Eisenbahntechnische Rundschau 12
68. Wettschureck R, Hauck G, Diehl R J, Willenbrink L (2003) Geräusche und Erschütterungen aus dem Schienenverkehr. In: Müller G, Möser M (Hrsg) Taschenbuch der Technischen Akustik. Springer-Verlag, Berlin

Rechtsvorgaben und Regelwerk

69. Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz) (**BImSchG**) vom 15.03.1974 (BGBl I 1974, 721, 1193), Stand: Neugefasst durch Bek. v. 26. 9.2002 I 3830; zuletzt geändert durch Art. 1 G v. 25. 6.2005 I 1865.
70. Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung) (**16. BImSchV**) vom 12.06.1990 (BGBl I 1990, 1036).
71. Vierundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrswegschallschutzmaßnahmenverordnung) (**24. BImSchV**) vom 4. Februar 1997 (BGBl. I S. 172), berichtigt am 16. Mai 1997 (BGBl. I S. 1253), zuletzt geändert am 23. September 1997 (BGBl. I S. 2329).
72. Schall03 Richtlinie zur Berechnung von Schallimmissionen von Schienenwegen, Ausgabe 1990.
73. Akustik04 Richtlinie für schalltechnische Untersuchungen bei der Planung von Rangier- und Umschlagbahnhöfen, Ausgabe 1990.
74. Akustik 23 Richtlinie für die Schalldämmung von Fenstern beim Schienenverkehrslärm, Ausgabe 1997.
75. Richtlinie für die Förderung von Maßnahmen zur Lärmsanierung an bestehenden Schienenwegen der Eisenbahnen des Bundes“ vom 07.03.2005, EW 15/14.86.02/6 BM 00.
76. Hinweise zur Erstellung schalltechnischer Untersuchungen in der eisenbahnrechtlichen Planfeststellung, Eisenbahnbundesamt, vom 15.06.2009
77. Innovative Maßnahmen zum Lärm- und Erschütterungsschutz am Fahrweg, DB Netz AG, Schlussbericht Konjunkturprogramm II; 15.06.2012

19.4 Vegetationskontrolle

Literatur

78. Burschel P, Huss J (1997) Grundriß des Waldbaus. 2. Aufl., Pareys Studentexte 49: 487 S. Berlin.
79. Ellenberg H (1996) Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. 5. Aufl., 1095S., Ulmer, Stuttgart.

Rechtsvorgaben und Regelwerk

80. Gesetz zum Schutz der Kulturpflanzen (Pflanzenschutzgesetz – **PflSchG**) in der Fassung der Bekanntmachung vom 14. Mai 1998 (BGBl. I S. 971), zuletzt geändert durch Artikel 3 des Gesetzes vom 19. August 2004 (BGBl. II S. 1154)

19.5 Schutz von Natur und Landschaft

Literatur

81. Barsch H, Bork H-R, Söllner R (Hrsg) (2003) Landschaftsplanung, Umweltverträglichkeitsprüfung, Eingriffsregelung. 537 S., Klett-Perthes, Gotha.
82. Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW) (2004) Leitfaden zur FFH-Verträglichkeitsprüfung im Bundesfernstraßenbau. 84 S., Bonn.
83. Eisenbahn-Bundesamt (Hrsg) (2013) Umwelt-Leitfaden des Eisenbahn-Bundesamtes.
84. Gerlach J (2002) Strategische Umweltprüfung von Plänen und Programmen im Verkehrssektor – Eine Einführung in die Thematik. Vortrag auf dem Workshop „Strategische Umweltprüfung von Plänen und Programmen im Verkehrssektor“ in Wuppertal 2002
85. Köppel J, Peters W, Wende W (2004) Eingriffsregelung, Umweltverträglichkeitsprüfung, FFH-Verträglichkeitsprüfung. 367 S., Eugen Ulmer, Berlin.
86. Lau M (2011) Die naturschutzrechtliche Eingriffsregelung (Teil 1). Natur und Recht 10/2011: 680–684
87. Lau M (2011) Die naturschutzrechtliche Eingriffsregelung (Teil 2). Natur und Recht 11/2011: 762–771
88. Stein W (2005) Entwurf eines Merkblattes zur Strategischen Umweltprüfung von Plänen und Programmen im Verkehrssektor. UVP-Report 1/2005: 38–40

Rechtsvorgaben und Regelwerk

89. Richtlinie 2009/147/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. November 2009 über die Erhaltung der wildlebenden Vogelarten (kodifizierte Fassung)
90. Richtlinie 92/43/EWG des Rates vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen, ABl. L 206 vom 22.7.1992, S. 7 (**FFH-Richtlinie**)
91. Richtlinie 2001/42/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. Juni 2001 über die Prüfung der Umweltauswirkungen bestimmter Pläne und Programme, ABl. L 197 vom 21.07.2001, S. 30
92. Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz – **BNatSchG**) i.d.F. der Bekanntmachung vom 29. Juli 2009 (BGBl. I S. 2542), das zuletzt durch Artikel 5 des Gesetzes vom 6. Februar 2012 (BGBl. I S. 148) geändert worden ist

93. Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (**UVPG**) i.d.F. der Bekanntmachung vom 24. Februar 2010 (BGBl. I S. 94), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 17. August 2012 (BGBl. I S. 1726) geändert worden ist

19.6 Umweltschutzerfordernngen an Planungs- und Instandhaltungsprozesse

19.6.1 Entsorgung

19.6.1.1 Grundlagen

94. Kreislaufwirtschaftsgesetz (**KrWG**) vom 24. Februar 2012 (BGBl. I Nr. 25 vom 27.05.2013, S. 1324) zuletzt geändert am 22. Mai 2013
95. DB AG „Leitfaden Entsorgung“ des DB Umweltzentrums
96. Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz (**AltholzV**) vom 15. August 2002 (BGBl. I Nr. 59 vom 23.08. 2002S. 3302) zuletzt geändert am 24. Februar 2012 (BGBl. I Nr. 10 vom 29.02. 2012 S. 212)
97. Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis (**AVV**) vom 10. Dezember 2001 (BGBl. I Nr. 65 vom 12.12.2001S. 3379) zuletzt geändert am 24. Februar 2012 (BGBl. I Nr. 10 vom 29.02. 2012 S. 212)
98. Verordnung über die Nachweisführung bei der Entsorgung von Abfällen (Nachweisverordnung – **NachwV**) vom 20. Oktober 2006 (BGBl. I Nr. 48 vom 26.10.2006S. 2298; BGBl. I Nr. 49 vom 12.10.2007S. 1462) zuletzt geändert am 24. Februar 2012 (BGBl. I Nr. 10 vom 29.02.2012S. 212)

19.6.1.2 Umgang mit Holzschwellen

99. Verordnung über Verbote und Beschränkungen des Inverkehrbringens gefährlicher Stoffe, Zubereitungen und Erzeugnisse nach dem (**ChemVerbotsV**) in der Fassung der Bekanntmachung vom 13. Juni 2003 (BGBl. I Nr. 26 vom 25.06.2003S. 867) zuletzt geändert am 24. Februar 2012 (BGBl. I Nr. 10 vom 29.02.2012S. 212)
100. Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (**GefStoffV**) vom 26. November 2010 (BGBl. I Nr. 59 vom 30.11.2010S. 1643 (1644)) zuletzt geändert am 15. Juli 2013 (BGBl. I Nr. 40 vom 22.07.2013. S. 2514)

19.6.1.3 Umgang mit Altschotter

101. Arbeitsentwurf Mantelverordnung (Grundwasser/Ersatzbaustoffe/Bodenschutz), vom 06.01.2011
102. DB Netz AG Ril 880.4010 „Bautechnik; Verwertung von Altschotter“ – Altschotterrichtlinie
103. Gleisaushubrichtlinie, Planung von Gleisaushubarbeiten, Beurteilung und Entsorgung von Gleisaushub, vom 01.12.2002, Bundesamt für Verkehr, Bern
104. Mitteilung der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 20 „Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen – Technische Regeln“ vom 06.11.1997 (bzw. 06.11.2003)

19.6.1.4 Umgang mit Boden

105. Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung (**BBodSchV**) vom 12. Juli 1999 (BGBl. I Nr. 36 vom 16.07.1999 S. 1554) zuletzt geändert am 24. Februar 2012 (BGBl. I Nr. 10 vom 29.02.2012 S. 212)
106. Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (**BBodSchG**) vom 17. März 1998 (BGBl. I Nr. 16 vom 24.03.1998S. 502) zuletzt geändert am 24. Februar 2012 ((BGBl. I Nr. 10 vom 29.02.2012S. 212)
107. DB AG Ril 137.0101 Handbuch „Bodenverwertungs- und Entsorgungskonzept“ (BoVEK) der DB AG
108. DB AG Ril 809 „Infrastrukturmaßnahmen Planen, Durchführen, Abnehmen, Dokumentieren und Abschließen“
109. DB AG Ril 820 „Grundlagen des Oberbaus“
110. DB Netz AG (DBS 918 061) „Technische Lieferbedingungen; Gleisschotter“
111. DB Netz AG (DBS 918 062) „Technische Lieferbedingungen; Korngemische für Trag- und Schutzschichten zur Herstellung von Eisenbahnfahrwegen“

Anton Schmitt

20.1 Vorgaben der Europäischen Union

In der Richtlinie 2008/57/EG Abs. 2 [1] heißt es: „Um den Bürgern der Union, den Wirtschaftsteilnehmern sowie den regionalen und lokalen Behörden in vollem Umfang die Vorteile zuzutekommen zu lassen, die sich aus der Schaffung eines Raums ohne Binnengrenzen ergeben, müssen insbesondere die Verknüpfung und Interoperabilität der nationalen Eisenbahnnetze sowie der Zugang zu diesen Netzen gefördert werden.“ Das heißt, Zielsetzung der Europäischen Union ist die technische Harmonisierung der nationalen Eisenbahnnetze.

20.1.1 Interoperabilität

Um die vielfältigen technischen Entwicklungen sowohl bei den Infrastrukturkomponenten als auch bei den Fahrzeugen hin zu einem interoperablen europäischen Eisenbahnverkehr zu entwickeln, wurden mit entsprechenden Interoperabilitätsrichtlinien europäische Standards für ein transeuropäisches Eisenbahnnetz initiiert (Abb. 20.1). Diese Technischen Spezifikationen für die Interoperabilität (TSI) wurden in Deutschland durch das Allgemeine Eisenbahngesetz (AEG) [2] und die Transeuropäische Eisen-

bahn-Interoperabilitätsverordnung (TEIV) [3] in nationales Recht umgesetzt.

20.1.2 Diskriminierungsfreier Zugang

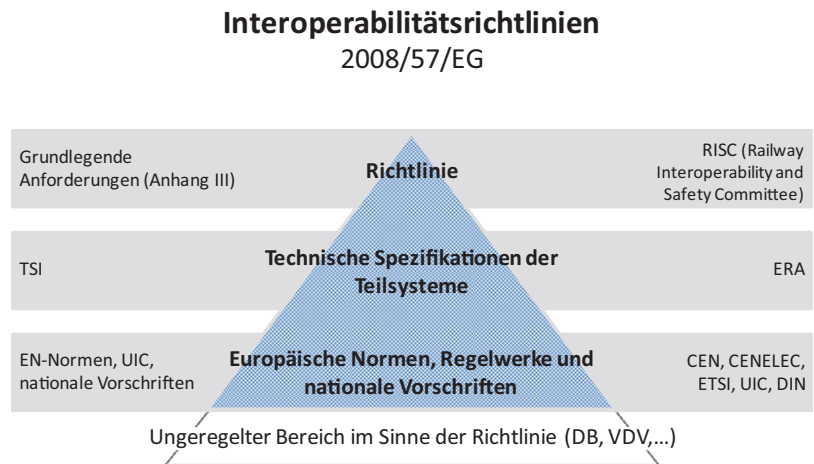
Mit der Richtlinie 2001/14/EG über die Zuweisung von Fahrwegkapazität der Eisenbahn, die Erhebung von Entgelten für die Nutzung von Eisenbahninfrastruktur und die Sicherheitsbescheinigung [4] wurde auf europäischer Ebene die Basis geschaffen, um einen europaweiten Netzzugang zu ermöglichen. In Deutschland wurde diese Richtlinie mit dem AEG und der Eisenbahninfrastruktur-Benutzungsverordnung (EIBV) [5] in nationales Recht umgesetzt. Zur Überwachung der Vorgaben wurde bei der Bundesnetzagentur (BNetzA) eine zusätzliche Abteilung geschaffen, die die regulatorische Aufsicht über den Wettbewerb auf der Schiene ausübt, um einen diskriminierungsfreien Zugang zur Eisenbahninfrastruktur zu gewährleisten.

20.2 Nationale Vorgaben

Bestehende nationale Gesetze, Verordnungen und Regelwerke wurden aufgrund von EU-Vorgaben entsprechend weiterentwickelt, mit weitreichenden Folgen sowohl für die Aufsichtsbehörden als auch für die Eisenbahninfrastrukturunternehmen (EIU) und Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU).

A. Schmitt (✉)
DB Netz AG, 60486 Frankfurt a. M., Deutschland
E-Mail: anton.schmitt@deutschebahn.com

Abb. 20.1 Richtlinienkonzept



Ein Ergebnis zeigt sich darin, dass derzeit ca. 370 Eisenbahnverkehrsunternehmen die Infrastruktur der DB Netz AG nutzen.

Die Zugangsberechtigten (ZB) für die Eisenbahninfrastruktur werden abschließend in § 14 Abs. 2 und 3 AEG aufgeführt. Dies sind

- Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) mit Sitz im Inland,
- Spediteure und Verlader,
- Aufgabenträger und
- Behörden.

Die Zugangsberechtigung räumt das Recht ein, Nutzungsanträge für Trassen oder Serviceeinrichtungen zu stellen. Die ZB können also Trassen anmelden oder den Zugang zu Serviceeinrichtungen beantragen.

Spediteure müssen bereits bei Antragstellung ein EVU benennen. Aufgabenträger und Behörden können die Trassenzuweisung an sich selbst beantragen und das EVU erst zu einem späteren Zeitpunkt benennen.

Der Prozess in Deutschland mit seinen behördlichen (EBA) und unternehmerischen (DB Netz AG) Komponenten ist nachfolgend in Abb. 20.2 dargestellt.

20.2.1 Zulassung als EVU

Wer in Deutschland als Eisenbahnverkehrsunternehmen auf öffentlicher Eisenbahninfrastruktur Eisenbahnverkehrsleistungen erbringen will, muss gemäß § 6 Abs. 1 AEG eine Genehmigung

haben. Die Genehmigung wird i. d. R. bei der zuständigen Behörde des Bundeslandes beantragt, in dem das EVU seinen Unternehmenssitz hat.

Voraussetzungen für die Erteilung einer Genehmigung sind:

- der Antragsteller als Unternehmer und die für die Führung des Unternehmens bestellten Personen müssen zuverlässig sein und
- die erforderliche Fachkunde haben,
- der Antragsteller als Unternehmen muss finanziell leistungsfähig sein

und damit die Gewähr für eine sichere Betriebsführung der Eisenbahn bieten [§ 6 (2) AEG].

Eisenbahnverkehrsunternehmen benötigen für die Teilnahme am öffentlichen Eisenbahnbetrieb eine Sicherheitsbescheinigung gemäß Richtlinie 2004/49/EG [6] vom Eisenbahn-Bundesamt (EBA).

20.2.2 Fahrzeugzulassung

Alle Fahrzeuge, die auf öffentlichen Eisenbahninfrastrukturen wie z. B. der DB Netz AG zum Einsatz kommen sollen, müssen zugelassen sein.

Die Zulassung geschieht

- als Inbetriebnahmegenehmigung nach TEIV §§ 6 ff. durch das EBA für Fahrzeuge, die auf dem Transeuropäischen Eisenbahnnetz (TEN) verkehren sollen, oder
- als Abnahme nach § 32 Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO) [7] durch das EBA für Fahrzeuge, die auf Eisenbahnen des Bun-

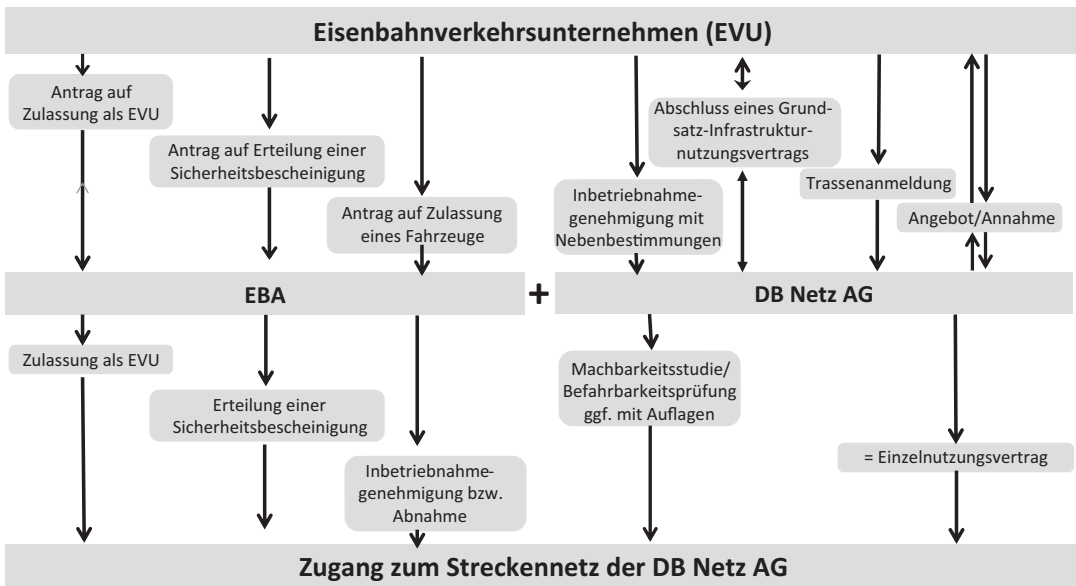


Abb. 20.2 Prozess Netzzugang

des verkehren sollen bzw. durch die zuständige Landesbehörde für Fahrzeuge, die auf nichtbundeseigenen Eisenbahnen verkehren, aber nur, wenn die Fahrzeuge auf öffentlichen Eisenbahnen außerhalb des TEN zum Einsatz kommen sollen.

Als verbindliche Vorgaben für die einheitliche Bearbeitung von Inbetriebnahmegenehmigungen für Eisenbahnfahrzeuge gemäß TEIV §§ 6 ff. wurde 2010 die Verwaltungsvorschrift VV IGB Fahrzeuge [8] eingeführt.

Für die Abnahme von Schienenfahrzeugen nach EBO § 32 gilt weiterhin die VwV Abnahme [9].

20.2.2.1 Handbuch

Zur Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit des Systems Schiene hat der deutsche Eisenbahnsektor unter Federführung des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) im Jahr 2010 ein Optimierungsprojekt initiiert mit dem Ziel, stabile und effiziente Prozesse und Regeln für die Herstellung und Zulassung von neuen bzw. umgebauten Eisenbahnfahrzeugen herbeizuführen.

Das Ergebnis ist ein Leitfaden für die Herstellung und Zulassung von Eisenbahnfahrzeugen

[10]. Das Handbuch soll einen gemeinsam getragenen Handlungsrahmen für die Verfahrensabwicklung von der Ausschreibung bis zur Inbetriebnahme schaffen.

Unberührt davon bleiben die Befugnisse der Behörde, die ihre Aufgaben und Verantwortung nach pflichtgemäßem Ermessen wahrnehmen muss.

Neben dem Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) bestand die Arbeitsgruppe aus Vertretern von

- Eisenbahn-Bundesamt (EBA),
- Benannter Stelle Interoperabilität in Deutschland – EisenbahnCert (EBC),
- Deutsche Bahn AG (DB AG),
- Verband der Bahnindustrie in Deutschland (VDB),
- Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV),
- Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie (ZVEI).

Mit Bezug auf die Verwaltungsvorschrift Inbetriebnahme des Eisenbahn-Bundesamtes VV IGB wird der Prozess der Inbetriebnahme von Fahrzeugen wie von Umbaufahrzeugen von der Planung bis zur Genehmigung detailliert beschrieben.

Einen Schwerpunkt bildet der Umgang mit TSI-Problemen wie offene Punkte, Ausnahmen, Fehler und Abweichungen zu nationalen Regelungen. Dabei wird auf die Rolle des Lenkungskreis (LK) Fahrzeuge als Problemlöser verwiesen.

Ebenso wird die Einbindung der Common Safety Methode (CSM) zur Risikobewertung beschrieben.

Da die Rolle der Gutachter und die Dokumentation der Ergebnisse entscheidende Kriterien im Inbetriebnahmeprozess darstellen, wird darauf entsprechend eingegangen.

20.2.2.2 Lenkungskreis Fahrzeuge

Trotz umfangreicher Regelungen treten Unstimmigkeiten in der Auslegung dieser Regelungen oder bei Zulassungsforderungen auf. Ebenso führen Lücken im Regelwerk oder fehlende physikalische Grenzwerte zu Meinungsverschiedenheiten, die den Zulassungsprozess verzögern könnten.

In regelmäßigen Abstimmungsrunden werden Themen zu Fahrzeugzulassung, Schnittstelle Fahrzeug/Infrastruktur und Fahrzeug/Betrieb erörtert.

Im Lenkungskreis Fahrzeuge als nationales Steuerungsgremium für fahrzeugtechnische Angelegenheiten einschließlich der Schnittstellen und Wechselwirkungen zu Infrastruktur und Betrieb sind vertreten:

- das Eisenbahn-Bundesamt (EBA),
- der Verband der Bahnindustrie in Deutschland (VDB),
- der Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV),
- die Vereinigung der Privatgüterwagen-Interessenten (VPI),
- die Deutsche Bahn AG (DB AG) und ihre konzernverbundenen Eisenbahnunternehmen mit Sitz in Deutschland,
- die Benannte Stelle Interoperabilität in Deutschland – EisenbahnCert (EBC).

Zu seinen Aufgaben zählen u. a.:

- geeignete Lösungen für offene Punkte, Lücken, Inkohärenzen und Fehler im nationalen und europäischen Regelwerk herbeizuführen,

- Übergangslösungen für unklare oder fehlerhafte TSI-Anforderungen bis zu deren Revision vorzuschlagen,
- Initiieren und Unterstützen von Transformationen nationaler Regelungen in europäische,
- Federführung für die Weiterentwicklung des „Handbuches Eisenbahnfahrzeuge“,
- Bilden von Arbeitskreisen zur Erarbeitung von Lösungsvorschlägen für technische Aufgabenstellungen und Entscheiden über deren Einführung als Regel der Technik.

So besteht u. a. ein Arbeitskreis EMV (Elektromagnetische Verträglichkeit), der mit Arbeitsgruppen zu den Themen:

- Störströme (Kompatibilitätsnachweise von Fahrzeugen mit Gleisstromkreisen),
- Sensorik (Kompatibilitätsnachweise von Fahrzeugen zu Gleisschaltmitteln wie Achszähler, Radsensoren und BÜ-Schleifen) und
- Funkverträglichkeit (Funkverträglichkeit von Schienenfahrzeugen mit Bahnfunkdiensten)

Regelwerke (auch auf europäischer Ebene) sowie Messverfahren und Grenzwerte erarbeitet. Diese werden dann im LK Fahrzeuge vorgestellt und abgenommen. Danach werden sie auf der Homepage des Eisenbahn-Bundesamtes veröffentlicht mit dem Status „Anerkannte Regel der Technik“.

20.3 Vorgaben des Eisenbahninfrastrukturunternehmens

Die DB Netz AG, 100 % Tochter der DB AG, unterhält als EIU ein hochwertiges Eisenbahnnetz mit ca. 34.000 km Streckenlänge, das von mehr als 370 Eisenbahnverkehrsunternehmen genutzt wird. Sie ist für die Vorhaltung, Weiterentwicklung und den Betrieb des Großteils des deutschen Schienennetzes verantwortlich und schafft die Grundlagen für einen sicheren, zuverlässigen Bahnbetrieb. Zu den Kernaufgaben gehören die Vermarktung von Trassen, Serviceeinrichtungen und damit verbundenen Dienstleistungen sowie die Erstellung der Fahrpläne und die Betriebsdurchführung.

Bezüglich des Netzzugangs gibt das EIU durch die Schienennetz-Benutzungsbedingungen

(SNB) [11], den Infrastrukturnutzungsvertrag und seinem entsprechenden Regelwerk die Rahmenbedingungen vor.

Parallel hierzu wird die Infrastruktur in einem Register beschrieben.

20.3.1 Schienennetz-Benutzungsbedingungen

Gem. § 4 Eisenbahninfrastruktur-Benutzungsverordnung (EIBV) veröffentlicht die DB Netz AG mit den SNB die für ihr Schienennetz geltenden Zugangs- und Nutzungsbedingungen, auf deren Basis Zugangsberechtigte (ZB) und einbezogene Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) dieses Netz nutzen können.

Die SNB enthalten Regeln, Fristen, Verfahren, Entgeltgrundsätze und Geschäftsbedingungen für Zugang und Nutzung des Schienennetzes der DB Netz AG.

Rechtsgrundlagen sind insbesondere folgende Gesetze/Verordnungen:

- Allgemeines Eisenbahngesetz (AEG),
- Eisenbahninfrastruktur-Benutzungsverordnung (EIBV),
- Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO),
- Eisenbahnsignalordnung (ESO),
- Transeuropäische-Eisenbahn-Interoperabilitätsverordnung (TEIV),
- Technische Spezifikationen für die Interoperabilität (TSI),
- Eisenbahnsicherheitsverordnung (EsiV) und
- Verordnung über die Haftpflichtversicherung der Eisenbahnen (EBHaftPflV).

Die SNB regeln Rechte und Pflichten im Verhältnis zwischen:

- den Zugangsberechtigten (ZB) i. S. d. § 14 Abs. 2 und 3 AEG, den Haltern von Eisenbahnfahrzeugen i. S. d. § 31 AEG einschließlich etwaiger, nach § 11 Abs. 1 der EIBV einbezogener EVU auf der einen und
- der DB Netz AG auf der anderen Seite hinsichtlich des Zugangs zu den von der DB Netz AG im Geltungsbereich des AEG betriebenen Schienenwegen i. S. v. § 14 AEG und deren Benutzung einschließlich der dafür geltenden Allgemeinen Geschäftsbedingungen.

Zugangsbedingungen gemäß SNB sind u. a.:

- der Abschluss eines Grundsatz-Infrastrukturnutzungsvertrags,
- Besitz einer Sicherheitsbescheinigung,
- Nachweis einer entsprechenden Haftpflichtversicherung,
- Einsatz von zugelassenen Fahrzeugen.

20.3.1.1 Infrastrukturnutzungsvertrag

Im Grundsatz-Infrastrukturnutzungsvertrag werden generelle Punkte vertraglich geregelt, wie:

- Art der Verkehrsleistung, die das EVU erbringen will,
- Verbindlichkeiten der SNB und der Nutzungsbedingungen für Serviceeinrichtungen (NBS) der DB Netz AG,
- Umfang der Leistungen der DB Netz AG,
- Nutzungsentgelte,
- Laufzeit und Kündigungsgründe.

Einzelnutzungsverträge (ENV) werden dann bei der tatsächlichen Nutzung von Trassen bzw. Serviceeinrichtung mit dem EVU bzw. dem Halter abgeschlossen (Abb. 20.2).

20.3.1.2 Regelwerke

Neben den einschlägigen Gesetzen und Verordnungen gelten für die Nutzung der Schienenwege sowohl das netzzugangsrelevante als auch das betrieblich-technische Regelwerk der DB Netz AG.

Im netzzugangsrelevanten Regelwerk werden alle für den Netzzugang maßgeblichen Inhalte für den ZB oder das einbezogene EVU aufgeführt. Es ist auch Bestandteil der SNB.

Davon abzugrenzen ist das betrieblich-technische Regelwerk, das die Abwicklung des Bahnbetriebes auf den Schienenwegen der DB Netz AG regelt.

Der ZB oder das einbezogene EVU verpflichtet sich, das nachstehend (Tab. 20.1 und Tab. 20.2) aufgeführte Regelwerk zu beachten und anzuwenden.

20.3.1.3 Außergewöhnliche Transporte

Fahrzeuge oder Transporte, die wegen ihrer äußeren Abmessungen, ihres Gewichtes oder ihrer Beschaffenheit besondere Anforderungen an die Infrastruktur stellen (z. B. Traglasten von Brückenbauwerken, Grenzlasten, Raumbedarf) oder

Tab. 20.1 Netzzugangsrelevante Regelwerke. (Quelle: SNB der DB Netz AG, Anlage: Regelwerke –Zusammenstellung, Stand: 11.04.2012)

| Regelwerks-Nr. | Regelwerkstitel |
|----------------|--|
| <i>123</i> | <i>Notfallmanagement, Brandschutz</i> |
| 123.0117 | Dampfgetriebene Schienenfahrzeuge; Grundsätze |
| 123.0130 | Selbstrettung |
| <i>402</i> | <i>Trassenmanagement</i> |
| 402.0101 | Grundsätze |
| 402.0202 | Planungsprocedere; Trassenanmeldungen |
| 402.0203 | Planungsprocedere; Aufgaben und Abläufe im Planungsprocedere für den Netzfahrplan |
| 402.0204 | Planungsprocedere; Planungsprocedere für Gelegenheitsverkehr |
| 402.0205 | Planungsprocedere; Nutzung der Bahnanlagen unter betrieblichen Sonderbedingungen |
| 402.0206 | Planungsprocedere; Abweichungen von Planungsparametern |
| 402.0207 | Planungsprocedere; Nummerierung der Züge, Zugteilung und Verwendung von Zugnummern |
| 402.0305 | Baubedingte Fahrplanregelungen abstimmen und kommunizieren |
| <i>491</i> | <i>Verwendbarkeit und Leistungsfähigkeit der Triebfahrzeuge</i> |
| 491.9201 | Übersicht der Grenzlasten der NL Ost |
| 491.9202 | Übersicht der Grenzlasten der NL Nord |
| 491.9203 | Übersicht der Grenzlasten der NL West |
| 491.9204 | Übersicht der Grenzlasten der NL Südost |
| 491.9205 | Übersicht der Grenzlasten der NL Mitte |
| 491.9206 | Übersicht der Grenzlasten der NL Südwest |
| 491.9207 | Übersicht der Grenzlasten der NL Süd |
| <i>810</i> | <i>Technischer Netzzugang für Fahrzeuge; Kompatibilität mit den Anforderungen des Netzes</i> |
| 810.0100 | Zugangsvoraussetzungen |
| 810.0212 | Neigetchnik in Fahrzeugen |
| 810.0241 | Kompatibilität mit den Anforderungen des Netzes -Elektrotechnische Kriterien- |
| 810.0242 | Zusammenwirken Fahrzeug – Stromabnehmer – Oberleitung |
| 810.0243 | Kompatibilität mit den Anforderungen des Netzes der Gleichstrom-S-Bahn Berlin; Elektronische Kriterien der S-Bahnstromversorgung |
| 810.0250 | Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) |
| 810.0300 | Innovative Techniken auf Fahrzeugen |
| 810.0400 | Probefahrten, Messfahrten, Überführungsfahrten |
| 810.0501 | Außergewöhnliche Transporte – Grundlagen |
| 810.0502 | Außergewöhnliche Transporte – Sendungen mit Lademaßüberschreitung (Lü-Sendungen) |
| 810.0503 | Außergewöhnliche Transporte – Übergroße Fahrzeuge |
| 810.0504 | Außergewöhnliche Transporte – Schwermwagen |
| 810.0505 | Außergewöhnliche Transporte – Sonstige Transporte mit technischen oder betrieblichen Besonderheiten |
| <i>931</i> | <i>Nebefahrzeuge; Bauart und Instandhaltung</i> |
| 931.0001 | Erteilen der Einsatzgenehmigung durch die DB Netz AG |

gegebenenfalls Unverträglichkeiten/Inkohärenzen mit Infrastrukturkomponenten aufweisen (elektromagnetische oder elektrische Störungen) müssen vor ihrem Einsatz laufwegtechnisch durch die DB Netz AG geprüft werden (Machbarkeitsstudien).

Dabei wird gleisgenau geprüft, welche Laufwege unter welchen Bedingungen und Auflagen möglich sind.

20.3.1.4 Anforderungen an die Fahrzeuge

Der ZB oder das einbezogene EVU muss sicherstellen, dass die von ihm eingesetzten Fahrzeuge sicher sowie störungs- und fehlerfrei im Schienennetz der DB Netz AG zum Einsatz kommen. Die Fahrzeuge müssen im Regelfall für den Einsatz zugelassen sei, d. h., der ZB oder das ein-

Tab.20.2 Betrieblich-technisches Regelwerk – Zusammenstellung. (Quelle: DB Netz AG, http://fahrweg.dbnetze.com/fahrweg-de/start/nutzungsbedingungen/regelwerke/betriebl_technisch/zusammenstellung.html, Stand: 10.06.2012)

| Regelwerks-Nr. | Regelwerkstitel |
|----------------|--|
| 123 | Notfallmanagement, Brandschutz |
| 301 | Signalbuch |
| 408 | Züge fahren und Rangieren |
| 420 | Betriebsleitstellen |
| 432 | Sonderbestimmungen für den Betrieb der Berliner S-Bahn |
| 436 | Zug- und Rangierfahrten im Zugleitbetrieb durchführen (ZLB) |
| 437 | Zug- und Rangierfahrten im Signalisierten Zugleitbetrieb durchführen (SZB) |
| 465 | Betrieb auf Steilstrecken; Besondere Vorschriften über das Bremsen |
| 481 | Bahnbetrieb; Telekommunikationsanlagen bedienen |
| 482 | Signalanlagen bedienen |
| 483 | Zugbeeinflussungsanlagen bedienen |
| 492 | Triebfahrzeuge führen |
| 931 | Nebenfahrzeuge; Bauart und Instandhaltung |

bezogene EVU müssen über die Abnahme nach EBO oder die Inbetriebnahmegenehmigung nach TEIV für die einzusetzenden Fahrzeuge verfügen.

Ausnahmsweise dürfen nicht zugelassenen Fahrzeuge das Schienennetz der DB Netz AG befahren, und zwar bei Überführungsfahrten, die vom EBA speziell geregelt werden, und bei Probefahrten.

Probefahrten Probefahrten sind in der Ril 810.0400 ausführlich geregelt.

Bei einer Probefahrt kommen ein oder mehrere nicht zugelassene Fahrzeuge zum Einsatz. Für die Probefahrten ist vom Halter bzw. EVU nach § 6 Abs. 7 TEIV beim Einsatz auf TEN-Strecken bei der Sicherheitsbehörde (EBA) eine besondere Genehmigung einzuholen. Beim Einsatz auf den übrigen Schienenwegen der DB Netz AG ist nach § 3 EBO eine Ausnahmegenehmigung von den Vorschriften der EBO durch das EBA erforderlich.

Mit dem Antrag auf Genehmigung beim EBA ist die Zustimmung des Infrastrukturbetreibers, dessen Infrastruktur genutzt werden soll, vorzulegen. Für die DB Netz AG wird diese Zustimmung durch die Zentrale erteilt, bei der auch der Antrag zu stellen ist.

Die Durchführung der Probefahrt muss durch ein EVU erfolgen.

Antragsteller für den Fahrzeugeinsatz kann der Hersteller als Halter, das durchführende Unternehmen oder eine beauftragte, vom EBA anerkannte Prüfstelle sein.

Gegenstand der Erprobung können sein.

- ein neues bzw. maßgeblich umgerüstetes Fahrzeug,
- eine noch nicht zugelassene Technik (Komponente, System, Werkstoff),
- ein neues Sicherheitskonzept oder
- neue Leistungsbereiche, z. B. höhere Geschwindigkeiten als bisher erlaubt.

Nach Prüfung der Unterlagen (Tab. 20.3) erteilt die DB Netz AG dem Antragsteller die Zustimmung zum Zweck der Vorlage beim EBA. Die Zustimmung kann mit Bedingungen und Auflagen erteilt werden.

Für die Probefahrten selbst ist eine Trassenanmeldung erforderlich.

Einen Überblick über die verschiedenen Einsatzarten Probe-, Mess- und Überführungsfahrten enthält Tab. 20.4.

20.3.1.5 Spezielle Infrastrukturangaben

In den SNB werden spezielle Schwerpunkte zur Infrastruktur wie:

Tab. 20.3 Technische Checkliste zur Durchführung von Probefahrten

| <i>Allgemeine Angaben zum Fahrzeug</i> | |
|---|--|
| Bezeichnung und Übersichtszeichnung | mit Vermaßung: Gesamtlänge, Radsatzanordnung, Türanordnung, Gesamthöhe, Einstiegshöhe |
| Fahrzeugfamilie, -Plattform | Übersicht der Produkte und Bezeichnungen |
| Bauart, Gattung, Zuordnung | Lokomotive – Triebwagen – Triebzug -Triebwagenzug –-teilig – Steuerwagen – Reisezugwagen – Güterwagen – Nebenfahrzeug mit/ohne Antrieb für den Arbeits-/Einsatzbereich: |
| Geschwindigkeit | max. zul. Einsatzgeschwindigkeit – ggf. abweichende Überfüh- rungsgeschwindigkeit – zul. Überhöhung – zul. Überhöhungsfehl- betrag – min. zul. Bogenradius |
| <i>Lichtraumtechnische Angaben zum Fahrzeug</i> | |
| Fahrzeugbegrenzung | Das Fahrzeug hält die zulässige Fahrzeugbegrenzung nach Bezugs- linie G 1/G 2 nach Anlage 7/8 zu § 22 EBO oder nach EN 15273 oder nach UIC 505 ein Nicht ein |
| Einschränkungsberechnung | Ersteller(Name, Unternehmen)....., Stand: (Datum)..... erstellt nach den Vorgaben der (nicht Zutreffendes streichen) Anlage 9 zu § 22 EBO, UIC-Kodex 505–1, prEN 15273–1,–2,–3 ... |
| Überschreitungen | Beim Halt des Fahrzeugs ausklappende Trittstufen und aufschwin- gende Türen um mm. Dabei entstehen Kollisionsrisiken zur Bahnsteigkante nach Abgleich mit den Regeleinbaumaßen der Bahnsteigkanten in fol- genden Fällen: |
| Weiteres | z. B. Fährbootfähigkeit |
| <i>Fahrwegbeanspruchung</i> | |
| Streckenklassenzuordnung | Gem. normativer bzw. regulativer Grundlagen – z. B. UIC-Kodex 700– DIN EN 15528 i. V. m. DIN EN 1566 |
| Radsätze/Räder | Anzahl: RS Achsfolge: Anzahl der Drehgestelle: DG Raddurchmesser neu: mm; abgenutzt: Mm |
| Lasten | Leergewicht: t zul. Gesamtgewicht: t – ermittelt nach DIN EN 15528 i. V. m. Auslegungsmasse bei außergewöhnlicher Zuladung bzw. die Auslegungsgrenze für den Betrieb des Fahrzeuges nach DIN EN 15663 |
| Einwirkung auf die Fahrbahn | z. B. übergroße Führungskräfte gem. UIC-Kodex 518 – EN 14363... |
| <i>Verträglichkeit mit Gleisschaltmittel und Gleisfreimeldeanlage</i> | |
| Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) | |
| Störströme | |
| Funktstörungen | |
| <i>Ausrüstung</i> | |
| Aerodynamik | |
| Seitenwindverträglichkeit | tauglich – oder mit Restriktionen beaufschlagt? – Tauglichkeitsstufe |

Tab. 20.3 (Fortsetzung)

| Allgemeine Angaben zum Fahrzeug | |
|---|--|
| Schnellfahrstrecken (SFS) -Tauglichkeit | nach Ril 810.0200A61 Das Fahrzeug ist geeignet für den Einsatz auf Schnellfahrstrecken JA NEIN JA heißt, dass die strukturelle Festigkeit des Fahrzeugs gewährleistet, dass das Fahrzeug bei einer Begegnung im Tunnel mit einem entgegenkommenden Fahrzeug, dessen Geschwindigkeit mehr als 250 km/h beträgt, standhält. In diesem Zusammenhang ist sicherzustellen, dass das Fahrzeug selbst, weitere Verkehrsteilnehmer, die Infrastruktur und Dritte keinen Schaden erleiden |
| Zugsicherung | z. B. Art der Zugsicherung, Transitionsmöglichkeiten (im Stand manuell, dynamisch-manuell, dynamisch automatisch), Hersteller, Zulassung, Freigabe der DB Netz AG |
| Zugfunk | Art des Zugfunks (digital im System GSM-R oder analog...), Hersteller, Zulassung |
| Antrieb | elektrisch – diesel-elektrisch – diesel-hydraulisch – mechanisch – oder andere Antriebsleistung |
| Bremse | Bauartbezeichnung, -beschreibung |
| Fahrzeugendbereiche | Zug- und Stoßeinrichtungen: Bauartbezeichnung freie Räume an den Fahrzeugenden: vorhanden/nicht vorhanden |
| Anschriften | für Betrieb, Unterhaltung und Arbeitsschutz erforderliche Anschriften und Zeichen vorhanden: JA NEIN |
| <i>Energieversorgung</i> | |
| Energieversorgung | z. B. über Pantograph mit Kohleschleifleisten, 15 kV – 16 7 Hz, Stromabnehmer-Bauart, Schleifleisten-Bauart |
| <i>Verzeichnis der Nachweise</i> | |

- längere Güterzüge (Laufwege für 835 m-Züge),
 - besondere Schienenwege,
 - Tunnel- und Brückenrestriktionen,
 - Verfügbarkeit
- geregelt oder auf Informationsquellen z. B. zu anderen Eisenbahninfrastrukturunternehmen der DB AG (Personenbahnhöfe und Energie) und auf das Infrastrukturregister der DB Netz AG verwiesen.

20.3.1.6 Sonstige Vorgaben/Themen

Ansonsten beinhalten die SNB noch die nicht-technischen Themen:

- Zuweisung von Fahrwegkapazität,
- Leistungen der DB Netz AG und
- Entgeltgrundsätze.

Die SNB werden jährlich fortgeschrieben und gelten für eine Fahrplanperiode.

Alle Nutzungsbedingungen mit allen relevanten Informationen sind völlig restriktionsfrei im Internet verfügbar und übersichtlich geordnet präsentiert mit zahlreichen Querverweisen. Einen Schwerpunkt bildet dabei das Infrastrukturregister:

<http://fahrweg.dbnetze.com/fahrweg-de/start/nutzungsbedingungen/infrastrukturregister/>

20.4 Beschreibung der Infrastruktur im Infrastrukturregister

Gemäß Verordnung über die Interoperabilität des transeuropäischen Eisenbahnsystems (Trans-europäische-Eisenbahn-Interoperabilitäts-Verordnung – TEIV) ist ein Infrastrukturregister nach Maßgabe der anwendbaren Technischen Spezifikationen für die Interoperabilität (TSI) zu erstellen und jährlich zu aktualisieren.

Tab. 20.4 Einsatzarten

| | Probefahrten/ Versuchsfahrten | Probefahrten/ Prüffahrten | Messfahrten | Überföhrungs- fahrt/regelgerech- tes Fahrzeug | Überföhrungs- fahrt/außerge- wöhnlisches Fahrzeug |
|---|--|---|--|--|--|
| <i>Zweck/Anwen- dungsbeispiele</i> | Fahrten zur Erprobung neuer technischer oder betrieblicher Parameter des Eisenbahnsystems; z. B. geändertes bzw. neues Fahrzeug, geänderte bzw. neue Fahrzeugkomponente oder geänderter bzw. neuer Infrastrukturbereich; Erprobungsobjekt ist nicht zugelassen | Fahrten zur Überprüfung von Fahrzeugen bzw. Fahrzeugkomponenten auf zugelassener Infrastruktur mit nicht zugelassenem Fahrzeug; regelgerechter Zustand mit Ausnahme der Zulassung | Fahrten zu rein innerbetrieblichen Zwecken bei Vorhandensein aller erforderlichen Zulassungen und Genehmigungen; z. B. Regelinspektionen von Fahrweg oder Oberleitung, Aufnahme von bzw. Abgleich mit Lichttraum-technischen Daten | Fahrzeug ist nicht zugelassen; Einsatz mit Einmaligkeitscharakter; z. B. Werkstattzuföhrung nach Unfall, abgelaufenes Inspektionsintervall, Transport von einem Herstellerwerk zum anderen zur Fertigstellung und Vergleichbares | Fahrzeug ist nicht zugelassen; Einsatz mit Einmaligkeitscharakter; z. B. Werkstattzuföhrung nach Unfall, abgelaufenes Inspektionsintervall, Transport von einem Herstellerwerk zum anderen zur Fertigstellung und Vergleichbares |
| <i>Voraussetzungen</i> | über fehlende Zulassung hinaus sind eine oder mehrere rechtliche, normative und/oder regulative Anforderungen nicht eingehalten | über die fehlende Zulassung hinaus sind rechtliche, normative und regulative Anforderungen eingehalten | Fahrzeug wie auch Infrastruktur sind zugelassen, rechtliche, normative und regulative Anforderungen sind erfüllt | keine Abweichung von rechtlichen, normativen und regulativen Anforderungen; d. h. z. B. bei havariertem Fahrzeug: ersetzende Maßnahmen gewährleisten die sichere, störungs- und fehlerfreie Überföhrung | rechtliche, normative und/oder regulative Anforderungen sind nicht eingehalten; z. B. ein übergroßes Fahrzeug |
| <i>betrieblich- technische Abwicklung</i> | Ril 408.01 bis.09 und 408.1431 „Züge Fahren und Rangieren“ | Ril 408.01 bis.09 „Züge Fahren und Rangieren“ | Ril 408.01 bis.09 „Züge Fahren und Rangieren“ | Ril 408.01 bis.09 „Züge Fahren und Rangieren“ | Ril 408.01 bis.09 „Züge Fahren und Rangieren“; im Sonderfall Ril 408.1431 |
| <i>Zulassungs-/ Genehmigungs- verfahren</i> | Zulassung von Ausnahmen zu § 3 Abs. 1 EBO bzw. Genehmigungen nach § 6 Abs. 7 TEIV | Genehmigungen nach § 6 Abs. 7 TEIV beantragen | keines | keines | Zulassung von Ausnahme nach § 3 EBO beantragen |
| <i>Zuständige behördliche Stellen</i> | zuständige nationale Sicherheitsbehörde, hier: Eisenbahn-Bundesamt (EBA) | zuständige nationale Sicherheitsbehörde, hier: Eisenbahn-Bundesamt (EBA) | entfällt | entfällt | zuständige nationale Sicherheitsbehörde, hier: Eisenbahn-Bundesamt (EBA) |



Abb. 20.3 Startseite zum Infrastrukturregister

Das Infrastrukturregister bietet gemäß TSI:

- dem Mitgliedstaat, der für die Inbetriebnahme-Genehmigung verantwortlich ist, die Möglichkeit über eine Unterlage zu verfügen, in der für jede Strecke die wichtigsten Parameter für den Betrieb dieser Strecke beschrieben werden;
- dem Infrastrukturbetreiber die Möglichkeit, über eine zusammenfassende, beschreibende Unterlage der betroffenen Strecken zu verfügen, anhand derer er die zukünftige Entwicklung bei der Umsetzung der TSI verfolgen kann;
- dem Eisenbahnunternehmen, das die Strecken nutzt oder nutzen will, Informationen über

deren Besonderheiten und Parameter oder Spezifikationen, die auf besondere Entscheidungen des Infrastrukturbetreibers zurückzuführen sind.

Mit dem Infrastrukturregister informiert die DB Netz AG über die Kenndaten der Strecken und Betriebsstellen einschließlich der Serviceeinrichtungen. Eine rechtliche Gewähr für den Inhalt wird nicht übernommen.

Das Infrastrukturverzeichnis wurde als Infrastrukturregister (ehemalige Bezeichnung in der KonVEIV) mit einem textlichen Teil (Grundsätze) und einer interaktiven Karte realisiert. Abb. 20.3 zeigt die Startseite zur Infrastrukturbeschreibung.

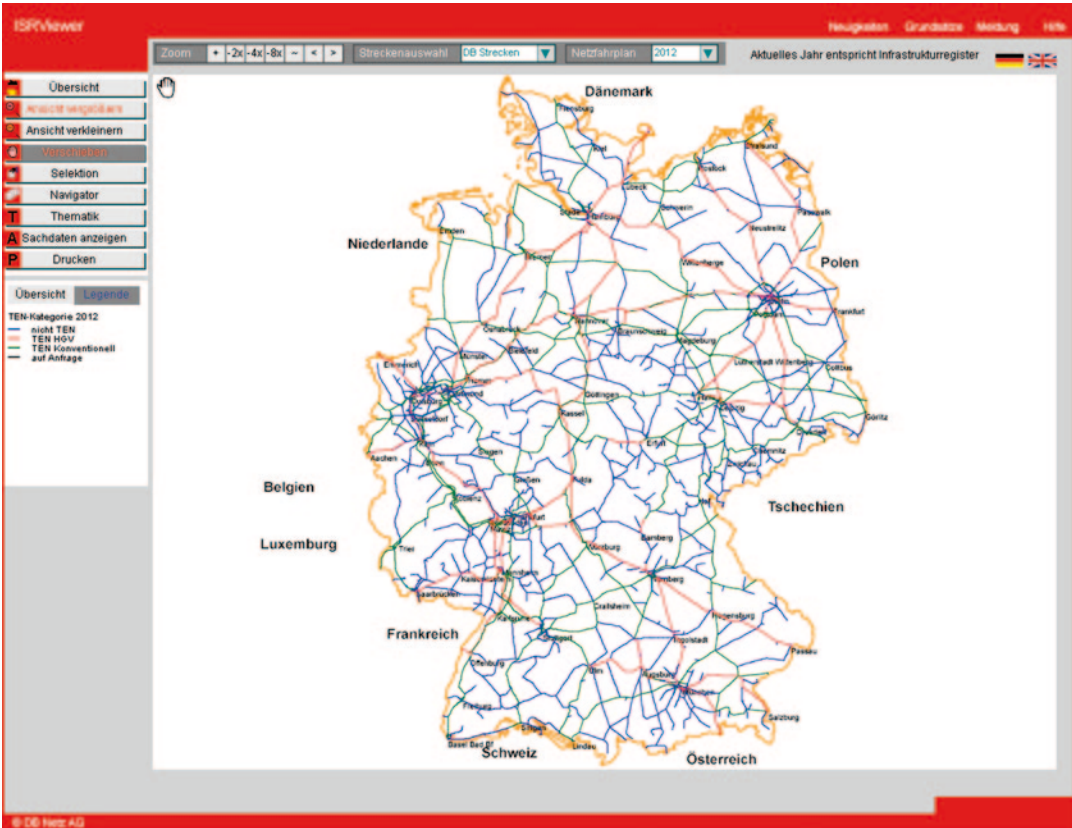


Abb. 20.4 Interaktive Karte

20.4.1 Grundsätze

Die Grundsätze beinhalten Informationen zu den Infrastrukturbetreibern, rechtliche und technische Hintergründe sowie weitergehende Beschreibungen zu technischen Parametern der Infrastruktur, welche allgemeiner Art sind oder aufgrund ihrer Komplexität nicht in der interaktiven Karte dargestellt werden können.

In den Anlagen zu den Grundsätzen werden spezielle Aussagen in Tabellen oder Karten hinterlegt wie zum Beispiel zu GSM-R Zug- und Rangierfunk und zu Unverträglichkeiten von Fahrzeugen bzw. Fahrzeugkomponenten mit Gleisschaltmitteln.

20.4.2 Interaktive Karte

Die Internet-Anwendung der Interaktiven Karte (Abb. 20.4) heißt ISRVIEWER und enthält aus-

schließlich Funktionen zum Ansehen und Auswählen. Man kann keine Veränderungen vornehmen!

Das Fenster der interaktiven Karte ist gegliedert in:

- einen Kopfbereich mit Verlinkungen und Vorauswahlen (z. B. Sprachwahl),
- den Navigations- und Befehlsbereich, darunter die Legende und Übersichtskarte,
- das eigentliche Kartenfenster.

Es stehen mindestens zwei Fahrplanperioden zur Auswahl, wobei das aktuelle Jahr für die Angaben zu den TSI-Teilsystemen gilt (eigentliches Infrastrukturregister; die anderen Angaben, speziell zur Thematik, entsprechen den Vorgaben der SNB).

Diese SNB-Themen sind unter dem Befehlsbutton *Thematik* als speziell eingefärbte Karte mit entsprechender Legende visualisierbar. Gleichzeitig sind in Abb. 20.5 die Sachdaten zu den selektierten Bauwerken eingeblendet.



Abb. 20.5 Themeneinstellung und Sachdatenbeispiele zu Bauwerken

Bei der Gestaltung der Sachdatenansicht wurden die Angaben grob nach den TSI-Teilsystemen gegliedert. Je nachdem, ob der Streckenabschnitt bereits nach EG-Richtlinien gebaut und geprüft wurde, sind die Sachdaten entsprechend gefüllt (Abb. 20.6). Bei zweigleisigen Strecken kann über die rote Navigationsleiste zwischen Streckenabschnitt 1 (Richtungsgleis) und 2 (Gegen-gleis) gewechselt werden.

In der Sachdatenmaske zu Betriebsstellen (Abb. 20.7) werden zurzeit nur allgemeine Informationen veröffentlicht, dazu gehört u. a. ein Spurplan (Detailplan), der aus den aktuellen Fahrplandaten generiert wird. Daraus sind die Zuordnung zu Streckengleisen (durchgehende Hauptgleise) und die Gleisnummern ersichtlich. Über die Detail-Buttons sind zusätzliche Informationen zu den entsprechenden Anlagen abruf-

bar. Besonderes Interesse finden die Angaben zu Bahnsteigen, Systemhöhe und Nutzlänge. Über die Sachdatenmaske gelangt man zu den Angaben über Serviceeinrichtungen, falls sich welche innerhalb der Betriebsstelle befinden. Alle Angaben sind in einem geschlossenen Dokument eingebettet, so auch die Übersicht über die nutzbaren Gleise mit den wichtigsten Angaben, z. B. zur Nutzlänge (Abb. 20.8).

Als grafische Übersicht über die Serviceeinrichtung dient eine Spurplanskizze, in der alle Serviceanlagen schematisiert dargestellt sind (Abb. 20.9 und 20.10).

Das Infrastrukturregister wird bezüglich der TSI-Angaben bei Bedarf fortgeführt; die SNB-relevanten Daten entsprechend der vorgegebenen Veränderungszyklen.

| Gleise in Serviceeinrichtungen der DB Netz AG | | | | | | | | |
|---|----------------|-----------|------------------------------|-------------------|----------------|-----------------------|---------------|---------------------|
| Regionalbereich | Betriebsstelle | Gleis-Nr. | Funktion Gleis | Art der Anbindung | Gleislänge [m] | Oberleitungslänge [m] | Nutzlänge [m] | Periphere Anlage(n) |
| Mitte | Wiesbaden Hbf | 101 | Ab- & Bereitstellung - Gleis | einseitig | 559 | 559 | 277 | |
| Mitte | Wiesbaden Hbf | 102 | Ab- & Bereitstellung - Gleis | zweiseitig | 415 | 415 | 359 | |
| Mitte | Wiesbaden Hbf | 103 | Ab- & Bereitstellung - Gleis | zweiseitig | 476 | 476 | 421 | |
| Mitte | Wiesbaden Hbf | 104 | Ab- & Bereitstellung - Gleis | zweiseitig | 443 | 443 | 386 | |
| Mitte | Wiesbaden Hbf | 105 | Ab- & Bereitstellung - Gleis | zweiseitig | 408 | 408 | 304 | 13 |
| Mitte | Wiesbaden Hbf | 106 | Ab- & Bereitstellung - Gleis | zweiseitig | 334 | 334 | 277 | |

Abb. 20.8 Auflistung der Gleise in Serviceeinrichtungen

Abb. 20.9 Legende zur Spurplanskizze der Serviceeinrichtung

| 2 Legende zu peripheren Anlagen und Betreiber/Eigentümer von Eisenbahninfrastruktur | | |
|---|--|--|
| 01 | Bodenschutzvorrichtung: Absorptionsmatte/Wannen-Kissen | |
| 02 | Bodenschutzvorrichtung: Wannensystem | |
| 03 | Bremsprobeanlage, auch funkfernsteuerfähig | |
| 04 | Druckluftständer zur Druckluftbereitstellung | |
| 05 | Elektrant | |
| 06 | Gefälleausgleichsbremsen (GAB) | |
| 07 | Prellbock beweglich | |
| 08 | Geschwindigkeitssteuerung halbautomatisch | |
| 09 | Geschwindigkeitssteuerung vollautomatisch | |
| 10 | Innenreinigungsanlage | |
| 11 | Statische oder dynamische Gleiswaage | |
| 12 | Wagenförderanlage | |
| 13 | Wasserfüllanlage | |
| 14 | WC-Entsorgungsanlage | |
| 15 | 50-Hz-Zugvorheizung | |
| 16 | 16 2/3-Hz-Zugvorheizung | |
| 17 | Einstiegshilfe | |
| 18 | Besandungsanlage | |

20.4.3 Vorgaben der TSI RINF

Das Infrastrukturregister der DB Netz AG enthält auch die Angaben, die in der EIBV und den SNB vorgesehen sind. Daher werden in Tab. 20.5 Attribute nach dem Durchführungsbeschluss der Kommission vom 15. September 2011 zu den gemeinsamen Spezifikationen des Eisenbahn-Infrastrukturregisters aus den TSI aufgeführt, die ausschließlich aus europäischer Sicht relevant sind, z. B. für Fahrzeugzulassungen. Nationale Besonderheiten werden nur zum Teil berücksichtigt.

20.5 Zusammenfassung und Ausblick

Nach den doch rasanten Veränderungen und Fortentwicklungen durch die EU-Vorgaben, deren Auswirkungen anfangs von allen Beteiligten unterschätzt wurden, haben sich die Prozesse der Fahrzeugzulassung und des Netzzugangs weitgehend eingespielt. Trotzdem unterliegen sie gewissen Fortschreibungen.

Daher gibt es grundsätzlich zwei aktuelle Informationsquellen für den Netzzugang:

- die amtliche ->Homepage des Eisenbahn-Bundesamtes mit den normativen Inhalten

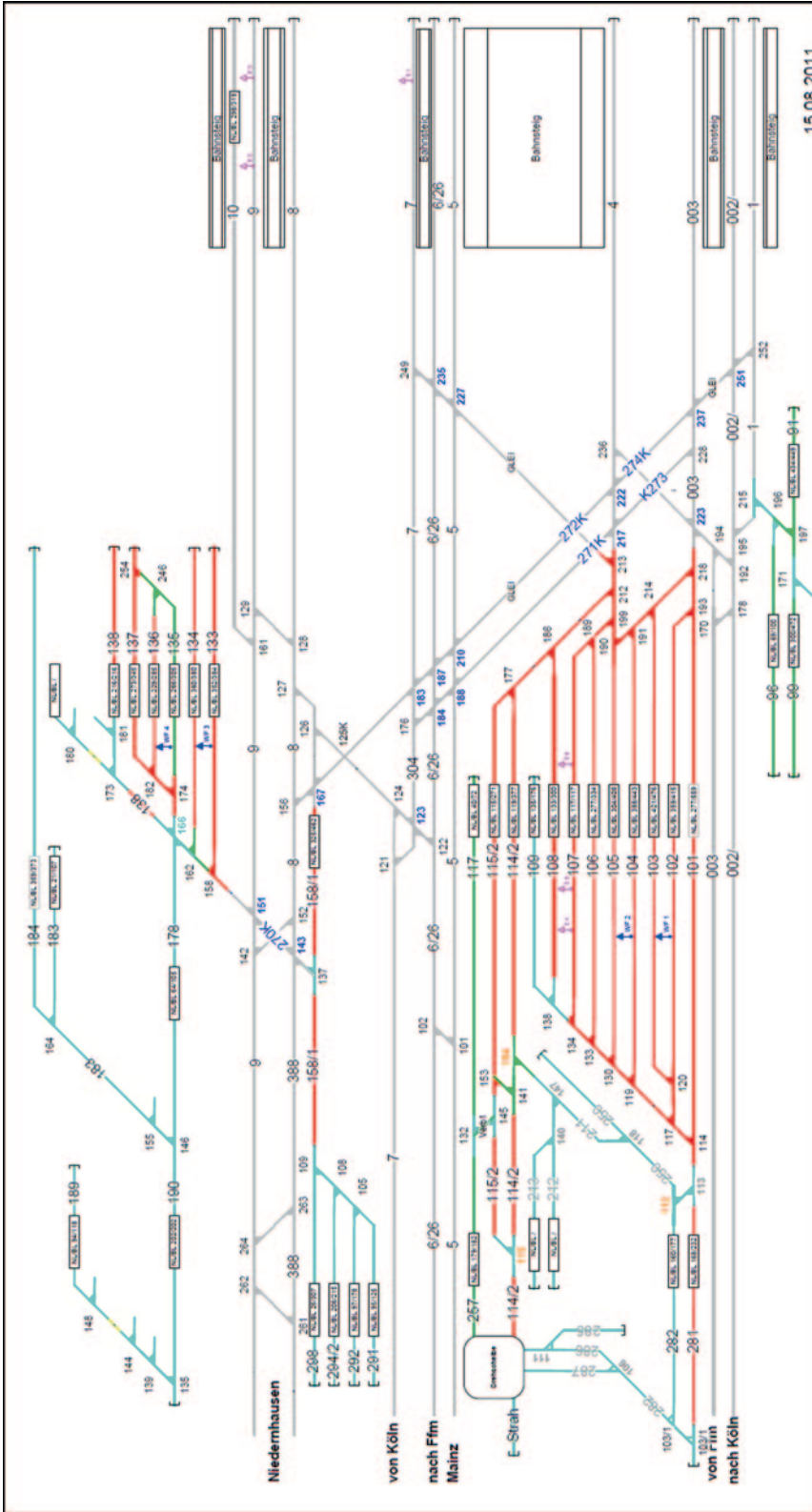


Abb. 20.10 Spurlanskizze mit Serviceeinrichtungen

Tab. 20.5 Attribute nach dem Durchführungsbeschluss der Kommission vom 15. September 2011 zu den gemeinsamen Spezifikationen des Eisenbahn-Infrastrukturregisters. (Quelle: Durchführungsbeschluss der Kommission vom 15. September 2011 zu den gemeinsamen Spezifikationen des Eisenbahn-Infrastrukturregisters)

| Bezeichnung | Definition |
|--|---|
| <i>Allgemeine Informationen</i> | |
| Name des Infrastrukturbetreibers | Infrastrukturbetreiber ist eine Einrichtung oder ein Unternehmen, die bzw. das insbesondere für die Einrichtung und Unterhaltung der Fahrwege der Eisenbahn zuständig ist (Artikel 2 Buchstabe h der Richtlinie 2001/14/EG des Europäischen Parlaments und des Rates) |
| Nationale Streckenkennung | eindeutige Streckenkennung oder Streckennummer innerhalb des Mitgliedsstaats |
| Gleiskennung | eindeutige Gleiskennung oder Gleisnummer innerhalb des Abschnittes |
| Gleisbeginn/km von | Geographische Koordinaten gemäß World Geodetic System (WGS) und Kilometerangabe bzgl. Streckenkennung |
| Betriebsstelle am Gleisbeginn | Name der Betriebsstelle am Beginn des Gleisabschnitts |
| Gleisende/km bis | Geographische Koordinaten gemäß World Geodetic System (WGS) und Kilometerangabe bzgl. Streckenkennung |
| Betriebsstelle am Gleisende | Name der Betriebsstelle am Ende des Gleisabschnitts |
| <i>Teilsystem Infrastruktur</i> | |
| <i>Prüferklärungen für Gleise</i> | |
| EG-Prüferklärung für Gleise (INF) | Eindeutige Nummer der EG-Erklärungen gemäß den Formatvorgaben in „Document about practical arrangements for transmitting interoperability documents“ (ERA/INF/10–2009/INT) |
| EI-Erklärung des Nachweises für Gleise (INF) | Eindeutige Nummer der EI-Erklärungen gemäß den Formatvorgaben in „Document about practical arrangements for transmitting interoperability documents“ (ERA/INF/10–2009/INT) |
| <i>Leistungsparameter</i> | |
| Streckenart | Bedeutung der Strecke (Kernstrecke oder andere Strecke) und Art und Weise, wie die für die Interoperabilität erforderlichen Parameter (neu oder Ausbau) gemäß der TSI INF CR (konventionelles Netz) verwirklicht werden. [Nur für TEN Strecken] |
| Verkehrsart | Gibt für eine TSI-Streckenkatgorie die vorwiegende Verkehrsart des Zielsystems und die entsprechenden Eckwerte (Reisezug-, Güterzug-, Mischverkehr) gemäß Definition in der TSI INF CR (konventionelles Netz) an. [Nur für TEN Strecken] |
| Belastbarkeit | Ergebnis der Klassifikation einer Strecke gemäß Anhang A der Norm EN 15528:2008, deren Ergebnis in dieser Norm als „Streckenklasse“ bezeichnet wird. Gibt die Fähigkeit der Infrastruktur an, den von den Fahrzeugen im regulären Verkehr der Strecke oder den Streckenabschnitt ausgeübten vertikalen Lasten standzuhalten, als Kombination der EN-Streckenklasse und einer zulässigen Geschwindigkeit gemäß Anhang E oder C der TSI (z. B. D4xL -100) |
| Zulässige Höchstgeschwindigkeit | Nominelle betriebliche Höchstgeschwindigkeit auf der Strecke |
| Temperaturspanne | Temperaturspanne gemäß der Norm EN 50125–1:1999, Abschn. 4.3, für uneingeschränkten Zugang zur Strecke |
| Höchsthöhe | Höchster Punkt des Streckenabschnitts über Meereshöhe bezogen auf NAP (Normal Amsterdam's Peil) |
| Vorliegen strenger klimatischer Bedingungen | |
| <i>Trassierung</i> | |
| Interoperables Lichtraumprofil | Lichtraumprofile GA, GB und GC gemäß der Definition in EN 15273–3:2009 Anhang C |
| Multinationale Lichtraumprofile | Multinationales Lichtraumprofil (Anhang D Abschnitt D.1 bis D.3 der Norm EN 15273–3:2009) oder internationales Lichtraumprofil (Anhang C Abschnitt C.2.1 der Norm EN 15273–3:2009) außer GA, GB und GC |

Tab. 20.5 (Fortsetzung)

| Bezeichnung | Definition |
|---|---|
| Nationale Lichtraumprofile | Inländisches Lichtraumprofil gemäß EN 15273–3:2009 oder anderes lokales Lichtraumprofil |
| Standard-Profilnummer für Wechselbehälter im kombinierten Verkehr | Kodierung für den kombinierten Verkehr mit Wechselbehältern gemäß UIC-Merkblatt 596–6. Die technische Nummer besteht aus dem Code für die Wagenkompatibilität (1 Buchstabe) und der Standard-Profilnummer für den kombinierten Verkehr (2 Ziffern, Breite $\leq 2\,550$ mm oder 3 Ziffern, Breite $> 2\,550 \leq 2\,600$ mm) |
| Standard-Profilnummer für Sattelanhänger im kombinierten Verkehr | Kodierung für den kombinierten Verkehr mit Wechselbehältern gemäß UIC-Merkblatt 596–6. Die technische Nummer besteht aus dem Code für die Wagenkompatibilität (1 Buchstabe) und der Standard-Profilnummer für den kombinierten Verkehr (2 Ziffern, Breite $\leq 2\,550$ mm oder 3 Ziffern, Breite $> 2\,550 \leq 2\,600$ mm) |
| Steigungsprofil | Steigung (in Millimeter je Meter) und Orte, an denen sich die Steigung ändert. Kilometerangabe bezüglich der Streckenkennung in normaler Fahrrichtung. Daten werden als verkettete Informationen angegeben: Steigung-Ort-Steigung-Ort-...-Steigung |
| Mindestbogenhalbmesser | Halbmesser des kleinsten horizontalen Bogens eines Abschnitts |
| <i>Gleisparameter</i> | |
| Regelspurweite | Einzelner Wert in Millimetern zur Angabe der Spurweite. Bei Mehrschienengleisen wird für jedes Schienenpaar, das als separates Gleis betrieben wird, separat ein Satz von Daten veröffentlicht |
| Überhöhungsfehlbetrag | Maximaler Überhöhungsfehlbetrag in Millimetern, definiert als Differenz zwischen der tatsächlichen Überhöhung und einer höheren Ausgleichs-überhöhung, für die die Strecke ausgelegt ist. Bei einer Querbeschleunigung von z. B. $1,0 \text{ m/s}^2$ kann der Wert von 153 mm veröffentlicht werden |
| Betriebsgrenzen für die äquivalente Konizität vorhanden | Die äquivalente Konizität ist der Tangens des Kegelwinkels eines Radsatzes mit kegelförmigen Rädern, deren Querbewegung die gleiche kinematische Wellenlänge wie der betrachtete Radsatz auf einer Geraden und in Bögen mit großem Bogenhalbmesser aufweist. Betriebsgrenzen sind ein offener Punkt; Angabe eines Links zu nationalen Vorschriften, falls vorhanden |
| Schienenneigung | Die Neigung des Kopfes einer im Gleis verlegten Schiene gegenüber der Gleisebene (Lauffläche); sie entspricht dem Winkel zwischen der Symmetrieachse der Schiene (oder einer äquivalenten symmetrischen Schiene mit demselben Schienenkopprofil) und der Senkrechten zur Gleisebene |
| Schotter vorhanden | Aerodynamisches Phänomen, bei dem Schotter hochgewirbelt oder weggeschleudert wird, im Zusammenhang mit TSI HGV über 190 km/h. Schotterflug ist ein offener Punkt in TSI HGV INF. Falls nationale Vorschriften bestehen, ist ein Link anzugeben |
| <i>Weichen und Kreuzungen</i> | |
| TSI-Einhaltung der Betriebswerte für Weichen und Kreuzungen | Weichen und Kreuzungen werden gemäß den in TSI spezifizierten Betriebsgrenzwerten instandgehalten. Gelten für bestehende Strecken weniger einschränkende Werte als in der TSI, ist „nein“ auszuwählen mit einem Link zu einem Dokument mit detaillierten Spezifikationen |
| Radmindstdurchmesser für stumpfe Kreuzungen | Die maximal zulässige Herzstücklänge einer festen stumpfen Kreuzung beruht auf einem Radmindstdurchmesser im Betrieb. Ist der Wert größer als in der TSI, muss er für nicht der TSI entsprechende Strecken angegeben werden. Angabe des Durchmessers in Millimetern |
| <i>Gleislagestabilität gegenüber einwirkenden Lasten</i> | |

Tab. 20.5 (Fortsetzung)

| Bezeichnung | Definition |
|---|---|
| Maximale Zugverzögerung | Grenzwert für die Gleislagestabilität in Längsrichtung auf bestehenden Strecken, die nicht der TSI entsprechen, angegeben als höchstzulässige Zugverzögerung in Metern pro Sekunde zum Quadrat |
| Einsatz von Wirbelstrombremsen | Angabe der Einschränkungen für den Einsatz von Wirbelstrombremsen |
| Einsatz von Magnetschienenbremsen | Angabe der Einschränkungen für den Einsatz von Magnetschienenbremsen |
| Gesundheit, Sicherheit und Umweltschutz | |
| Erforderliche Brandkategorie von Fahrzeugen | Definierte Wahrscheinlichkeit, dass ein Reisezug bei einem Brand im Zug für einen definierten Zeitraum weiter betrieben werden kann, gemäß Definition in TSI SRT und TSI CR LOC und PAS; Keine Angabe (N) für kurze Tunnel oder aufgeständerte Gleisabschnitte unter 1 km |
| Erforderliche nationale Brandkategorie von Fahrzeugen | Definierte Wahrscheinlichkeit, dass ein Reisezug bei einem Brand im Zug für einen definierten Zeitraum weiter betrieben werden kann, gemäß nationalen Vorschriften, falls vorhanden |
| Einsatz von Spurkranzschmierung | Die Nutzung von fahrzeugseitigen Einrichtungen zur Spurkranzschmierung ist erforderlich/erlaubt/untersagt |
| Schienengleiche Bahnübergänge vorhanden | Vorhandensein von schienengleichen Bahnübergängen auf dem Streckenabschnitt |
| An Bahnübergängen erlaubte Beschleunigung | Grenzwert für die Beschleunigung des Zuges, falls er in der Nähe eines Bahnübergangs hält, in Metern je Sekunde zum Quadrat, falls nach nationalen Vorschriften vorhanden |
| <i>Teilsystem Energie</i> | |
| <i>Prüferklärung für Gleise</i> | |
| EG-Prüferklärung für Gleise (ENE) | Eindeutige Nummer der EG-Erklärungen gemäß den Formatvorgaben in „Document about practical arrangements for transmitting interoperability documents“ (ERA/INF/10–2009/INT) |
| EI-Erklärung des Nachweises für Gleise (ENE) | Eindeutige Nummer der EI-Erklärungen gemäß den Formatvorgaben in „Document about practical arrangements for transmitting interoperability documents“ (ERA/INF/10–2009/INT) |
| <i>Oberleitung</i> | |
| Energieversorgungssystem (Spannung und Frequenz) | Nennspannung und -frequenz gemäß EN 50163:2004. Wird der Bereich der EN überschritten, ist der Höchstwert der Dauerspannung zu veröffentlichen (Höchstwert in Klammern) |
| Maximale Stromaufnahme der Züge | Maximal zulässige Stromaufnahme der Züge in Ampere (A) |
| Maximale Stromaufnahme bei Stillstand je Stromabnehmer | Maximal zulässige Stromaufnahme der Züge bei Stillstand für Gleichstromsysteme in Ampere (A) |
| Erlaubnis für Nutzbremung vorhanden | Nutzbremung ist erlaubt oder nicht |
| Fahrdrahtnennhöhe | Nennwert der Fahrdrahthöhe an einem Stützpunkt bei normalen Bedingungen, in Metern |
| Maximale Fahrdrahthöhe | Maximalwert der Fahrdrahthöhe an einem Stützpunkt bei normalen Bedingungen, in Metern |
| Mindestfahrdrahthöhe | Mindestwert der Fahrdrahthöhe an einem Stützpunkt bei normalen Bedingungen, in Metern |
| <i>Stromabnehmer</i> | |
| Zulässige Stromabnehmerwippen | Eine oder mehrere Stromabnehmerwippen gemäß TSI RST oder EN 50367:2006 |
| Anforderungen bezüglich der Zahl der ausgefahrenen Stromabnehmer und deren Abstand zueinander | Höchstzahl der ausgefahrenen Stromabnehmer, die auf der Strecke erlaubt sind. Mindestabstand Mittellinie-Mittellinie Stromabnehmerwippe, falls zwei oder mehr Stromabnehmer ausgefahren sind, in Metern. Die Werte gelten für die „zulässige Höchstgeschwindigkeit“ auf der Strecke |

Tab. 20.5 (Fortsetzung)

| Bezeichnung | Definition |
|---|--|
| Zulässiger Schleifstückwerkstoff | Eine oder mehrere Arten von Schleifstückwerkstoffen, deren Einsatz auf der Strecke erlaubt ist |
| <i>Phasentrennstrecken</i> | |
| Phasentrennung vorhanden | Falls eine Phasentrennung auf dem Streckenabschnitt vorhanden ist, ist ein Link zu einer detaillierten Beschreibung anzugeben |
| Systemtrennung vorhanden | Falls eine Systemtrennung auf dem Streckenabschnitt vorhanden ist, ist ein Link zu einer detaillierten Beschreibung anzugeben |
| <i>Anforderungen an Fahrzeuge</i> | |
| Strombegrenzung an Bord erforderlich | Erfordernis, dass eine fahrzeugseitige Einrichtung die Einstellung der maximalen Stromaufnahme der Züge ermöglicht |
| Zulässige mittlere Kontaktkraft | Auf der Strecke zulässige mittlere Kontaktkraft. Die Kraft wird entweder als vordefinierte Kennlinie oder als Wert in Newton angegeben |
| automatische Absenkeinrichtung erforderlich | Automatische Absenkeinrichtung am Fahrzeug gemäß EN 50206–1 erforderlich |
| <i>Teilsystem Zugsteuerung, Zugsicherung und Signalgebung</i> | |
| <i>Prüferklärung für Gleise</i> | |
| EG-Prüferklärung für Gleise (ZZS) | Eindeutige Nummer der EG-Erklärungen gemäß den Formatvorgaben in „Document about practical arrangements for transmitting interoperability documents“ (ERA/INF/10–2009/INT) |
| EI-Erklärung des Nachweises für Gleise (ZZS) | Eindeutige Nummer der EI-Erklärungen gemäß den Formatvorgaben in „Document about practical arrangements for transmitting interoperability documents“ (ERA/INF/10–2009/INT) |
| <i>Klasse A – Zugsicherungssystem (ETCS)</i> | |
| ETCS-Stufe | Die verschiedenen ERTMS/ETCS-Anwendungsstufen sind eine Art, die möglichen Beziehungen zwischen Gleis und Zug im Betrieb auszudrücken. Die Definitionen der Stufen beziehen sich im Wesentlichen auf die streckenseitig eingesetzte Ausrüstung, die Art, wie die streckenseitigen Informationen die Fahrzeugeinheiten erreichen, und welche Funktionen streckenseitig bzw. fahrzeugseitig verarbeitet werden |
| ETCS-Baseline.Version (x.y) | Streckenseitig installierte ETCS-Baseline (Version in Klammern nicht vollständig kompatibel) |
| ETCS-Infill-Funktion für Streckenzugang notwendig | Infill-Funktion ist ein Kriterium für den Netzzugang |
| Streckenseitig installierte ETCS-Infill-Funktion | Informationen zu installierter streckenseitiger Ausrüstung, die Infill-Informationen mittels einer Schleife oder GSM-R für Installationen der Stufe 1 übertragen kann |
| Nationale ETCS-Anwendung implementiert | Paket 44 ist das Mittel zur Übertragung von Daten für nationale Anwendungen zwischen Zug und Gleis unter Verwendung der Datenübertragungsfunktionen, die Teil von ETCS sind. NID_XUSER-Werte werden von ERA in einem Dokument zu ETCS-Variablen verwaltet, das auf der ERA-Internetseite abrufbar ist. Nationale streckenseitig installierte Anwendung |
| Betriebsbeschränkungen oder -bedingungen vorhanden | Beschränkungen oder Bedingungen aufgrund teilweiser Erfüllung der TSI ZZS |
| Optionale ETCS-Funktionen | Der Einsatz dieser optionalen ETCS-Funktionen kann zu einer Verbesserung des Streckenbetriebs führen. Sie dienen nur der Information und sind kein Kriterium für den Netzzugang |
| <i>Klasse A – Funk (GSM-R)</i> | |
| GSM-R Version | Nummern der streckenseitig installierten FRS- und SRS-Version des GSM-R |

Tab. 20.5 (Fortsetzung)

| Bezeichnung | Definition |
|---|--|
| Mindestzahl aktiver GSM-R-Mobilfunktelefone an Bord für die Datenübertragung | Zahl der Mobilfunktelefone für die Datenübertragung, die für einen reibungslosen Zugbetrieb erforderlich sind. Nicht sicherheitskritisch und für die Interoperabilität nicht relevant |
| Optionale GSM-R-Funktionen | Der Einsatz dieser optionalen GSM-R-Funktionen kann zu einer Verbesserung des Streckenbetriebs führen. Sie dienen nur der Information und sind kein Kriterium für den Netzzugang |
| <i>Klasse A – Zugortungsanlage/ Gleisfreimeldeeinrichtung</i> | |
| Zugortungsanlage/Gleisfreimeldeeinrichtung Klasse A vorhanden | Offener Punkt mit einem Link zu nationalen Vorschriften, falls vorhanden |
| <i>Klasse B – Zugsicherungssysteme</i> | |
| Zugsicherungs-, Zugsteuerungs- und Warnsysteme der Klasse B und/oder anderer Art installiert (System und ggf. geltende Version) | Streckenseitig im Normalbetrieb installierte Zugsicherungs-, Zugsteuerungs- und Warnsysteme der Klasse B und/oder anderer Art |
| Erfordernis von mehr als einem Zugsicherungs-, Zugsteuerungs- und Warnsystem der Klasse B und/oder anderer Art | Es ist mehr als ein gleichzeitig aktiviertes Zugsicherungs-, Zugsteuerungs- und Warnsystem der Klasse B und/oder anderer Art an Bord erforderlich |
| <i>Klasse B – Funk</i> | |
| Installierte Funksysteme der Klasse B oder anderer Art (System und geltende Version) | Streckenseitig im Normalbetrieb installierte Funksysteme der Klasse B oder anderer Art |
| <i>Übergänge zwischen Systemen</i> | |
| Übergänge zwischen verschiedenen Zugsicherungs-, Zugsteuerungs- und Warnsystemen vorhanden | Übergänge zwischen ETCS/Klasse B-Systemen und Klasse B/Klasse B-Systemen während der Fahrt. Installation hängt von lokalen Gegebenheiten ab |
| Übergänge zwischen verschiedenen Funksystemen vorhanden | Übergänge zwischen GSM-R/Klasse B-Funksystemen und Klasse B/Klasse B-Funksystemen sowie keinem Kommunikationssystem während der Fahrt. Installation hängt von lokalen Gegebenheiten ab |
| <i>Klasse B – Zugortungsanlagen/ Gleisfreimeldeeinrichtungen</i> | |
| Arten von Zugortungsanlagen/Gleisfreimeldeeinrichtungen | Arten von installierten Zugortungsanlagen/Gleisfreimeldeeinrichtungen. Hilft bei der schnellen Ermittlung, welche Parameter bezüglich der Zugortung/Gleisfreimeldung für einen bestimmten Streckenabschnitt gelten (nicht alle Parameter gelten für alle Arten von Zugortungsanlagen/Gleisfreimeldeeinrichtungen) |
| Zulässiger Höchstabstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Achsen | Angabe des Abstands in Millimetern. Bezieht sich auf die Mindestlänge des Abschnitts mit Zugortung/Gleisfreimeldung. Diese Anforderung steht im Zusammenhang mit der Mindestlänge eines Signalisierungsabschnitts, so dass ein Fahrzeug oder Zugverband diesen nicht überbrückt, was dazu führt, dass die Zugortungsanlage/Gleisfreimeldeeinrichtung den Abschnitt als „frei“ meldet |
| Zulässiger Mindestabstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Achsen | Angabe des Abstands in Millimetern. Bezieht sich auf Achszähler oder Radsensoren oder Sonderfälle. Achszählersysteme müssen in der Lage sein, die Erkennung einer Achse durch zwei aufeinanderfolgende Zähler mit einer ausreichend hohen Auflösung zu unterscheiden, sonst ergibt sich ein Zählfehler |
| Zulässiger Mindestabstand zwischen erster und letzter Achse | Angabe des Abstands in Millimetern. Bezieht sich auf Gleisstromkreise oder entsprechende Sonderfälle. Die elektrischen Verbindungen benachbarter Gleisstromkreise können einen Bereich aufweisen, in dem die Erkennung einer Fahrzeugachse nicht gewährleistet ist |

Tab. 20.5 (Fortsetzung)

| Bezeichnung | Definition |
|---|---|
| Zulässige Höchstlänge des Fahrzeugbuchs | Angabe der Länge in Millimetern. Bezieht sich auf Gleisstromkreise und Achszähler. Eine Zugortungsanlage/Gleisfreimeldeeinrichtung muss in der Lage sein, die erste Achse zu erkennen, bevor der Bug des Zuges einen Gefahrenpunkt erreicht, ebenso die letzte Achse, bis das Heck des Zuges den Gefahrenpunkt passiert hat. „Bug“ bezieht sich auf beide Enden (vorderes und hinteres Ende) eines Fahrzeugs oder Zuges |
| Zulässige Mindestbreite des Radkranzes | Angabe der Breite in Millimetern. Bezieht sich auf Achszähler, Fühlschienen und Schienenkontakte. Das Detektorfeld des Achszählers wird von dem vorbeierollenden Rad beeinflusst. Der Radkranz muss breit genug sein, um das Feld ausreichend zu beeinflussen, damit die Erkennung gewährleistet ist |
| Zulässiger Mindestdurchmesser des Rades | Angabe des Durchmessers in Millimetern. Kompatibilität mit Achszählern. Der Beeinflussungsbereich (auf der Radkranzfläche) des Achszähler-Detektorfelds hängt vom Raddurchmesser ab |
| Zulässige Mindestdicke des Radkranzes | Angabe der Dicke in Millimetern. Kompatibilität mit Achszählern, Fühlschienen und Schienenkontakten. Das Detektorfeld des Achszählers wird von dem vorbeierollenden Rad beeinflusst. Der Radkranz muss dick genug sein, um das Feld ausreichend zu beeinflussen, damit die Erkennung gewährleistet ist |
| Zulässige Mindesthöhe des Radkranzes | Angabe der Höhe in Millimetern. Kompatibilität mit Achszählern, Fühlschienen und Schienenkontakten. Das Detektorfeld des Achszählers wird von dem vorbeierollenden Rad beeinflusst. Der Radkranz muss hoch genug sein, um das Feld ausreichend zu beeinflussen, damit die Erkennung gewährleistet ist |
| Maximal zulässige Höhe des Radkranzes | Angabe der Höhe in Millimetern. Kompatibilität mit Achszählern, Fühlschienen und Schienenkontakten. Das Detektorfeld des Achszählers wird von dem vorbeierollenden Rad beeinflusst. Für die Radkranzhöhe ist die Spanne der Dimension $Sh(\min) - Sh(\max)$ festzulegen |
| Zulässige Mindestachslast | Angabe der Last in Tonnen. Kompatibilität mit Gleisstromkreisen, Fühlschienen und Schienenkontakten. Die Mindestachslast betätigt Fühlschienen und Schienenkontakte. Mindestachslasten wirken sich auch vorteilhaft auf den Widerstand zwischen Rad und Gleis aus, was für den Betrieb von Gleisstromkreisen von Bedeutung ist |
| Vorschriften zu metallfreiem Raum in der Radumgebung vorhanden | Kompatibilität mit Radsensoren für Achszähler. Die Funktion der Achszähler beruht auf der Veränderung eines elektromagnetischen Felds. Die Veränderung sollte nur vom Durchgang eines Rades und nicht von Teilen des Fahrzeugs in der Umgebung des Rades verursacht werden. Offener Punkt mit einem Link zu nationalen Vorschriften, falls vorhanden |
| Vorschriften für Metallmasse von Fahrzeugen vorhanden | Kompatibilität mit Induktionsschleifen. Die Metallmasse beeinflusst Schleifendetektorsysteme. Offener Punkt mit einem Link zu nationalen Vorschriften, falls vorhanden |
| Ferromagnetische Eigenschaften des Radwerkstoffes vorgeschrieben | Kompatibilität mit Radsensoren für Achszähler. Dieses Merkmal ist für die Veränderung des elektromagnetischen Felds von Achszählern von Bedeutung, um eine ordnungsgemäße Erkennung zu gewährleisten. Die Anforderung in der TSI ZZS ist nicht präzise |
| Zulässige Höchstimpedanz zwischen gegenüberliegenden Rädern eines Radsatzes | Angabe der Impedanz in Ohm. Kompatibilität mit Gleisstromkreisen. Ein Gleisstromkreis kann Fahrzeuge nur erkennen, wenn die Impedanz zwischen den Schienen einen bestimmten Wert nicht überschreitet. Dieser Wert wird von der Impedanz zwischen gegenüberliegenden Rädern eines Radsatzes und dem Widerstand an der Rad-Schiene-Kontaktfläche bestimmt. Die hier angegebene Schnittstellenanforderung bezieht sich nur auf den elektrischen Widerstand zwischen den Laufflächen der gegenüberliegenden Räder eines Radsatzes |

Tab. 20.5 (Fortsetzung)

| Bezeichnung | Definition |
|---|---|
| Zulässige Mindestimpedanz zwischen Stromabnehmer und Rädern | Angabe der Impedanz in Ohm. Kompatibilität mit Gleisstromkreisen. Bei Gleisstromkreisen können vom Energieversorgungssystem verursachte Oberschwingungen Interferenzen bewirken, und es kann durch die Stromabnehmer zur Übertragung von Wirkungen auf ein anderes Gleis kommen. Dies wird durch eine ausreichend hohe Fahrzeugimpedanz verhindert |
| Maximaler Sandausstoß | Angabe des maximalen Ausstoßes für 30 s. Kompatibilität mit Gleisstromkreisen. Zu viel Sand könnte dazu führen, dass Züge auf Gleisen mit Gleisstromkreisen nicht erkannt werden |
| Unterdrücken des Sandens durch den Triebfahrzeugführer vorgeschrieben | Kompatibilität mit Gleisstromkreisen an Stellen, an denen Sanden untersagt ist |
| <i>Merkmale in Bezug auf elektromagnetische Interferenzen</i> | |
| Vorschriften für Stromrückfluss in den Schienen vorhanden | Kompatibilität mit Gleisstromkreisen und Raddetektoren von Achszählern. Die Oberschwingungen des Traktionsstroms in den Schienen können die Funktion von Gleisstromkreisen beeinträchtigen. Der Gleichstrom in den Schienen kann die Detektoren der Achszähler sättigen und dadurch funktionsunfähig machen. Offener Punkt mit einem Link zu nationalen Vorschriften, falls vorhanden |
| Vorschriften für elektrische, magnetische, elektromagnetische Felder vorhanden | Kompatibilität mit Raddetektoren. Die von Fahrzeugen erzeugten elektromagnetischen Felder können die Funktion von Achszählern und Raddetektoren beeinträchtigen. Offener Punkt mit einem Link zu nationalen Vorschriften, falls vorhanden |
| <i>Streckenseitiges System für gestörten Betrieb</i> | |
| ETCS-Stufe für gestörten Betrieb | System für gestörten Betrieb. Bei Ausfall der ETCS-Stufe für den normalen Betrieb kann die Zugbewegung auf einer anderen ETCS-Stufe überwacht werden. Beispiel: Stufe 1 als Betriebsart bei gestörtem Betrieb von Stufe 2 |
| Zugsicherungs-, Zugsteuerungs- und Warnsysteme der Klasse B für gestörten Betrieb | System für gestörten Betrieb. Bei Ausfall der ETCS-Stufe für den normalen Betrieb kann die Zugbewegung auf andere Weise überwacht werden. Beispiel: Zugbetrieb gesichert durch System der Klasse B und/oder streckenseitige Signale |
| <i>Merkmale bezüglich Bremsen</i> | |
| Mindestbremsleistung vorgeschrieben | Zur Bremskurvenberechnung für die Geschwindigkeitsüberwachung. Anforderung bezüglich der Bremsleistung kann abhängen von: – Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Signalen (Länge des Gleisabschnitts) – Zuggeschwindigkeit – Zugmasse – Gefälle |
| <i>Andere Merkmale bzgl. Zugsteuerung, Zugsicherung und Signalgebung (ZZS)</i> | |
| Neigetechnik unterstützt | Die Unterstützung der Neigetechnik ermöglicht eine schnellere Kurvenfahrt und verkürzt die Fahrzeit auf Strecken mit ETCS (Verwendung der besonderen Zugklasse „Neigezug“ für Züge mit ETCS-Ausrüstung). Ohne diese Unterstützung fahren auch mit ETCS ausgerüstete Neigezüge wie normale Züge mit stärker eingeschränkter Geschwindigkeit in Kurven |

wie Gesetzesänderungen, Verordnungen, Verwaltungsvorschriften usw. und den Technischen Spezifikationen für die Interoperabilität und den anerkannten Regeln der Technik und

- die unternehmerische → Homepage der Eisenbahninfrastrukturunternehmen.

Sie enthalten entweder alle Informationen oder verlinken (verweisen) auf die entsprechenden Quellen im Internet.

Hinweis Alle Dokumente sind über die Homepage des Eisenbahn-Bundesamtes (www.eba.bund.de) oder der DB Netz AG (<http://fahrweg.dbnetze.com/fahrweg-de/start/>) zugänglich.

Literatur

1. Richtlinie 2008/57/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Juni 2008 über die Interoperabilität des Eisenbahnsystems in der Gemeinschaft (2008)
2. Allgemeines Eisenbahngesetz (AEG) vom 27. Dezember 1993, i. d. F. vom 27. Juni 2012 (2012)
3. Verordnung über die Interoperabilität des transeuropäischen Eisenbahnsystems (Transeuropäische Eisenbahn-Interoperabilitätsverordnung – TEIV) vom 5. Juni 2007, i. d. F. vom 21. September 2009 (2009)
4. Richtlinie 2001/14/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 26. Februar 2001 über die Zuweisung von Fahrwegkapazität der Eisenbahn, die Erhebung von Entgelten für die Nutzung von Eisenbahninfrastruktur und die Sicherheitsbescheinigung (2001)
5. Verordnung über den diskriminierungsfreien Zugang zur Eisenbahninfrastruktur und über die Grundsätze zur Erhebung von Entgelt für die Benutzung der Eisenbahninfrastruktur (Eisenbahninfrastruktur-Benutzungsverordnung – EIBV) vom 3. Juni 2005, i. d. F. vom 22. Dezember 2011 (2011)
6. Richtlinie 2004/49/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 29. April 2004 über Eisenbahnsicherheit in der Gemeinschaft und zur Änderung der Richtlinie 95/18/EG des Rates über die Erteilung von Genehmigungen an Eisenbahnunternehmen und der Richtlinie 2001/14/EG über Zuweisung von Fahrwegkapazität der Eisenbahn, die Erhebung von Entgelten für die Nutzung von Eisenbahninfrastruktur und die Sicherheitsbescheinigung (2004)
7. Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO) vom 8. Mai 1967 i. d. F. vom 25. Juli 2012 (2012)
8. Verwaltungsvorschrift für die Genehmigung zur Inbetriebnahme von Eisenbahnfahrzeugen gemäß §§ 6 ff. TEIV im Zuständigkeitsbereich des Eisenbahn-Bundesamtes (VV IBG Fahrzeuge) vom 15.03.2010 (2010)
9. Verwaltungsvorschrift für die Abnahme von Eisenbahnfahrzeugen gemäß § 32 Abs. 1 EBO im Zuständigkeitsbereich des Eisenbahnbundesamt (VwV Abnahme § 32) vom 1. September 2004 (2004)
10. Handbuch Eisenbahnfahrzeuge – Leitfaden für Herstellung und Zulassung (2011)
11. Schienennetz-Benutzungsbedingungen der DB Netz AG 2013 (SNB 2013) gültig ab 11. April 2012 (2012)

Peter Veit

Anlagenmanagement versucht bei Produktionsanlagen den gesamten Lebenszyklus, beginnend mit der Planung und Beschaffung, dem anschließenden Betrieb und der begleitenden Instandsetzung bis zum Ende der Nutzungsdauer der Anlage zu optimieren. Damit sind integrierte Instandsetzungskonzepte im Sinn von „Total Productive Maintenance“ sowie Qualitätsmanagement im Sinn von „Total Quality Management“ notwendige Bestandteile des Anlagenmanagements. Anlagenmanagement beschäftigt sich mit der Frage welche Anlagenausprägung zu wählen sei. Daraus folgt, dass neben der Instandsetzung auch die Auswahl des Anlagentyps ein integraler Teil des Anlagenmanagements ist. Auf Lebenszykluskosten (LCC) basierende Investitionsentscheidungen und nachfolgende ebenso LCC basierte Instandsetzungsstrategien entsprechen damit weitgehend den Anforderungen des Anlagenmanagements, wobei Lebenszykluskostenbetrachtungen auf RAMS Analysen aufbauen. Erst die Beantwortung der Fragen nach **Reliability** (Häufigkeit und Art der Fehler), **Availability** (Verfügbarkeit unter Berücksichtigung der auftretenden Fehler und ihrer Instandhaltbarkeit), **Maintainability** (Optionen zur Instandsetzung) und **Safety** (Konsequenzen der Fehler) erlauben das Verhalten einer Anlage und die erforderlichen Instandsetzungsmaßnahmen für die gesam-

te Nutzungsdauer abzuschätzen und in Form der Lebenszykluskosten zu bewerten.

Das Eisenbahnwesen weist dabei eine erschwerende Besonderheit auf: Es ist durch sehr lange Nutzungsdauern seiner Anlagen gekennzeichnet. So ist eine Nutzungsdauer, im Bereich des Oberbaus oft als Liegedauer bezeichnet, von 30 Jahren bereits kurz, Nutzungsdauern von doppelten oder dreifachen Werten, somit von bis zu 100 Jahren, sind keine Seltenheit. Diese extrem hohen Nutzungsdauern geben dem Anlagenmanagement und hier wiederum der Instandsetzung hohe Bedeutung.

Im historischen Rückblick wurde der Optimierung der Instandsetzung sehr früh große Bedeutung zugemessen. Die ersten großen Erfolge ergaben sich durch die Mechanisierung vor allem der Gleisinstandsetzung. So kam bereits 1949 bei der Deutschen Bundesbahn die erste Gleisstopfmaschine zum Einsatz, 1962 wurden die erste Nivellier-, Stopf- und Richtmaschine und die erste Weichenstopfmaschine entwickelt. Eine Gegenüberstellung der Kosten je Laufmeter über der jährlichen Arbeitslänge von Stopfmaschinen findet sich in Abb. 21.1. Der Erfolg des Einsatzes mechanisierter Instandsetzungsmethoden zeigt sich in einer Verminderung des Personalbedarfs für Instandsetzungsarbeiten seit 1950 um mehr als 90%, womit die beeindruckenden Kostenreduktionen erst möglich wurden.

Dennoch sind auch heute weitere Optimierungspotentiale gegeben. Die Zielrichtung ist jedoch nicht mehr allein die durch weitere Entwicklungen der Instandsetzungsmaschinen ge-

P. Veit (✉)
Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrswirtschaft,
Technische Universität Graz, Rechbauerstrasse 12,
8010 Graz, Österreich
E-Mail: peter.veit@tugraz.at

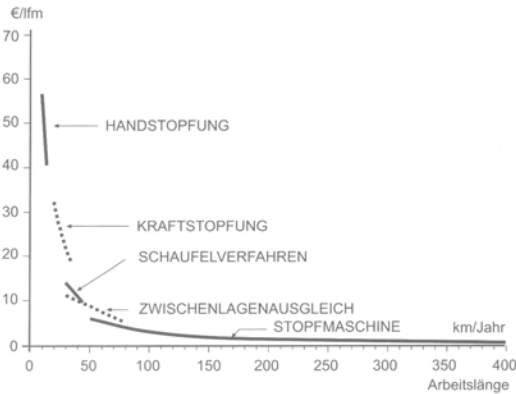


Abb. 21.1 Historische Instandhaltungsoptimierung Oberbau [1]

gebene Optimierung der einzelnen Instandsetzungsmaßnahmen. Viel mehr tritt das Anlagenmanagement in den Vordergrund, mit der Zielsetzung die einzelnen Anlagen über Qualitätsmanagement, d. h. ihre Ausgangsqualität, das anzustrebende Instandsetzungsniveau und die sich damit unter jeweiligen betrieblichen Anforderungen ergebende technisch-wirtschaftliche Nutzungsdauer zu optimieren. Zur Realisierung der Optimierungspotentiale ist eine technisch-wirtschaftliche Optimierung erforderlich, eine rein technische Optimierung greift zu kurz, eine ausschließliche wirtschaftliche läuft Gefahr den Realitätsbezug zu verlieren. Schlagworte, die die aktuellen Diskussionen prägen sind: proaktive statt reaktive Instandsetzung, Langfristoptimierung anstelle Kurzzeitoptimierung, zustandsabhängige Instandsetzung statt zeitlich definierter Instandsetzung, wissensbasierte Konzepte statt erfahrungsbasierte Strategien, den Nutzungsbedingungen angepasste Investitionsstrategien statt der Suche nach „der optimalen Infrastruktur“. Das Anlagenmanagement ersetzt dabei keineswegs die Optimierung der einzelnen Instandsetzungsmaßnahmen, vielmehr geht es darüber hinaus und setzt eine permanente Optimierung der Einzelmaßnahmen (z. B. der einzelnen Gleisinstandsetzungsmaßnahmen) voraus.

Diese weitere, weltweit zu beobachtende Optimierung des Umgangs mit den Komponenten der Eisenbahninfrastruktur trifft zumindest in großen Teilen Europas auf grundsätzlich veränderte

Strukturen der Eisenbahnen, die auch eine Konsequenz der EU-Gesetzgebung sind. Die grundlegenden Änderungen der Organisationsstrukturen haben großen Einfluss auf das Anlagenmanagement, werden doch Finanzierungsströme aber auch Zuständigkeiten und Kompetenzen im Bereich der Eisenbahninfrastruktur maßgeblich verändert. Damit werden die Diskussionen des Anlagenmanagements und der Instandsetzungsoptimierung mit Fragestellungen, wie die des optimalen Ausmaßes an Outsourcing oder der Sicherstellung technisch-betrieblichen Know-hows überlagert. Gleichzeitig finden sich verschiedene für das Anlagenmanagement bedeutende Kernkompetenzen oftmals in verschiedenen Organisationseinheiten oder verschiedenen Unternehmen wieder.

Trotz dieser neuen Strukturen, oder gerade wegen dieser neuen Strukturen, muss ein fundiertes Anlagenmanagement aufgebaut werden, um eine weitere Optimierung des Systems Eisenbahn als Ganzes zu ermöglichen bzw. um das Streben nach Suboptima verschiedener organisatorischer Einheiten innerhalb des Systems Eisenbahn zu Lasten des Gesamtoptimums zu konterkarieren. Gleichzeitig kann nur ein fundiertes, in seinen wirtschaftlichen Auswirkungen darstellbares Anlagenmanagement, technisch erforderliche Maßnahmen zur Instandsetzung von Anlagen mit den bereits angesprochenen immens langen Nutzungsdauern auch wirtschaftlich nachweisen – Nachweise, denen in einem sich immer schneller ändernden Umfeld, dessen Ausrichtung tendenziell auf kurzfristige Optimierungen abzielt (Shareholder Value), essentielle Bedeutung zukommt. Diese Nachweise erlauben auch langfristige Auswirkungen von Strategien zur Hebung des Qualitätsniveaus bzw. Strategien zur Reduktion von Instandsetzung in ihren Konsequenzen, d. h. über die gesamte Nutzungsdauer der Anlagen darzustellen.

Anlagenmanagement von Eisenbahninfrastruktur soll dabei im Wesentlichen nur eine einzige Frage nachweisbar beantworten können, wobei nachweisbar im heutigen Umfeld technisch und wirtschaftlich nachweisbar bedeutet, da neben dem technischen Nachweis, der allzu oft als selbstverständlich angesehen wird, ein

wirtschaftlicher Nachweis meist Umsetzungsvoraussetzung für Strategien bzw. Einzelmaßnahmen ist.

Bei der angesprochenen Frage handelt es sich um eine grundlegende Frage, deren Beantwortung sich als keineswegs einfach herausstellt:

„Welche Eisenbahninfrastruktur genügt der spezifischen Situation am besten?“

Die Beantwortung dieser Frage setzt voraus, dass die spezifische Situation bekannt ist, d. h. die technisch und damit wirtschaftlich relevanten spezifischen Rahmenbedingungen der jeweiligen Eisenbahninfrastruktur müssen erfasst werden. Derartige Rahmenbedingungen sind für einen Oberbau z. B. Verkehrsbelastung, Geschwindigkeit, Unterbausituation, Klimaverhältnisse, geplante Einsatzzeit, zur Instandsetzung zur Verfügung stehende Zeiten, aber auch Qualität der Arbeiten und Maschinen. Allein dies zeigt, dass die spezifische Situation nur beschrieben werden kann, wenn einerseits sämtliche technisch relevanten Einflussgrößen und andererseits auch alle wirtschaftlich bedeutenden Einflussgrößen, die sog. Kostentreiber, identifiziert werden können. Da die Reaktionen der Eisenbahninfrastruktur stark von ihrem jeweiligen Qualitätsniveau abhängen, sind die Wechselwirkungen zwischen den Rahmenbedingungen und verschiedenen Qualitätsniveaus ebenfalls zu berücksichtigen. Eine Eisenbahninfrastruktur genügt einer spezifischen Situation nur dann, wenn sie diese Anforderungen über ihre gesamte Nutzungsdauer hinweg erfüllt, womit auch die spezifischen Randbedingungen mit ihren Einflüssen und Reaktionen auf die Qualität idealer Weise für die gesamte Nutzung bekannt sein sollten („Total Quality Management“). Bei Vorhandensein dieser Informationen, muss des Weiteren die Reaktion der Eisenbahninfrastruktur auf diese spezifischen Randbedingungen abschätzbar sein, ebenfalls über die gesamte Nutzungsdauer der Eisenbahninfrastruktur.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass Anlagenmanagement der Eisenbahninfrastruktur das geschlossene funktionale Wissen in technischer und damit resultierender wirtschaftlicher Hinsicht der jeweils betrachteten Infrastrukturkomponenten und ihrer Belastungen über

ihre gesamten Nutzungsdauern voraussetzt, und zwar inklusive der Einflüsse verschiedener sich im Zuge der Nutzung bzw. der zufolge der Ausführungsqualität und Instandsetzungskonzeption ergebenden und sich ständig ändernden Qualitätsniveaus.

Genau mit dieser Zusammenfassung könnte das Kapitel „Instandsetzung und Anlagenmanagement“ für Eisenbahninfrastruktur wegen derzeit nicht erfüllter Voraussetzungen als Zukunftsvision abgetan und abgeschlossen werden. Dass dieser Teil des Buches jedoch kein derart abruptes Ende fand, liegt darin begründet, dass

- die folgende Beschreibung nicht von der sofortigen Umsetzung der theoretischen Zielvorstellung ausgeht,
- sondern einen Weg zur Optimierung des Anlagenmanagements bzw. von Investitions- und Instandsetzungsstrategien beschreibt,
- der damit keineswegs einen Anspruch auf Vollständigkeit oder Einzigartigkeit erhebt,
- jedoch eine schrittweise Annäherung an die theoretische Zielvorstellung erlaubt,
- wobei „schrittweise“ sowohl die Betrachtung einzelner Komponenten der Eisenbahninfrastruktur als auch ihre schrittweise Optimierung meint,
- im Zuge derer jeder, oder zumindest die meisten der einzelnen Schritte für sich umsetzbar sind,
- und im Rahmen einer langjährigen Zusammenarbeit des Instituts für Eisenbahnwesen und Verkehrswirtschaft der Technischen Universität Graz mit den Österreichischen Bundesbahnen auch tatsächlich umgesetzt werden konnten,
- wobei die Einbettung dieser einzelnen Schritte in eine Gesamtkonzeption sichergestellt sein muss.

Das Motto des im Folgenden beschriebenen Modells lautet: **Das Ziel ist ein optimales Anlagenmanagement, der Weg dazu sind optimierte Investitions- und Instandsetzungsstrategien.** Dabei wird die Konvergenz von Weg und Ziel durch sowohl technisch als auch wirtschaftlich die gesamte Nutzungsdauer berücksichtigende Bewertungsverfahren von Investitions- und Instandsetzungsstrategien sichergestellt.

21.1 Anlagenmanagement für den Fahrweg von Eisenbahnen

Anlagenmanagement muss die gesamten Auswirkungen einer Anlage, von der Investition bis zum Ende der Nutzungsdauer unter realen Betriebsbedingungen berücksichtigen. Unter Auswirkungen sind dabei sowohl technische als auch wirtschaftliche zu verstehen.

Anlagenmanagement nimmt für sich in Anspruch, eine Optimierung bisheriger Instandsetzungsstrategien darzustellen. Um diesen Anspruch objektiv erfüllen zu können, ist ein wirtschaftlicher Nachweis erforderlich. Dieser Nachweis muss in der Lage sein, die bisherige Situation mit einer neuen, optimierten Situation zu vergleichen, und so den postulierten Fortschritt zu belegen. Für den Fahrweg der Eisenbahnen bedeutet dies, die Wirtschaftlichkeit neuer Investitions- und Instandsetzungsstrategien nachzuweisen. Diese Forderung enthält die Notwendigkeit, sich mit den Lebenszykluskosten der Anlagen auseinanderzusetzen, da bei Anlagen mit 30 und mehr Jahren Nutzungsdauer die Instandsetzung eine nicht zu vernachlässigende Größe darstellt. Nur damit kann dem Grundprinzip jeder wirtschaftlichen Bewertung, dem Erfassen und Bewerten sämtlicher Auswirkungen, unabhängig vom Ort und Zeitpunkt ihrer Kostenwirksamkeit, entsprochen werden.

Für den Fahrweg von Eisenbahnen gibt es über diese wirtschaftlichen Erfordernisse hinaus noch einen fundamentalen technischen Zusammenhang, der die Notwendigkeit der Betrachtung der Lebenszykluskosten unterstreicht.

Eine generelle Erfahrung für Fahrwege besagt, dass sich ein qualitativ guter Fahrweg besser verhält, d. h. geringeren Verschleißerscheinungen unterliegt, als ein qualitativ geringwertiger. Damit wird die aktuelle Verschlechterungsrate eines Fahrwegs von seiner aktuellen Qualität bestimmt. Diese Differentialgleichung beschreibt den einfachen allgemeinen Qualitätsverlauf

$$Q = Q_0 \times e^{b \times t} \quad (21.1)$$

mit:

Q aktuelle Qualität

Q₀ Qualität zum Zeitpunkt t=0 (entspricht der Ausgangsqualität)

b Verschlechterungsrate

t Zeit

Die Qualität wird dabei nach Abklingen der Anfangssetzungen erfasst.

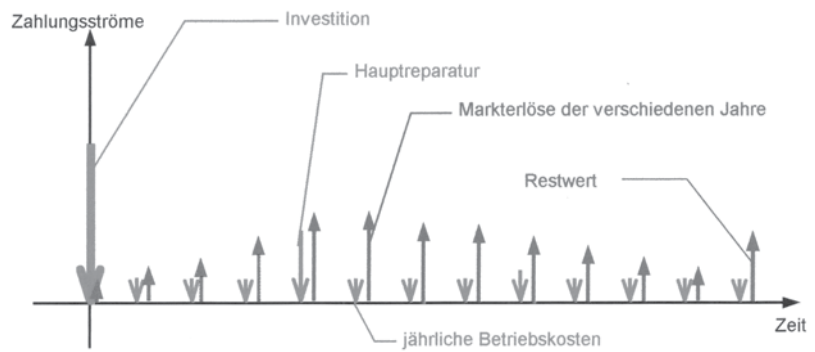
Dieser Zusammenhang erklärt gleichzeitig die Notwendigkeit der Betrachtung der Lebenszykluskosten, da der Term Q₀ die technische Auswirkung der Investition beschreibt und e^{bt} die Verschlechterung der Qualität und damit die Ursache von Instandsetzungsmaßnahmen. Damit ist dieser einfache Zusammenhang die Basis für das technische Verhalten eines Fahrwegs über seine gesamte Nutzungsdauer. Da es das Ziel eines wirtschaftlichen Nachweises von Anlagenmanagement bzw. Investitions- und Instandsetzungsstrategien ist, die technischen Auswirkungen der Anlage monetär zu bewerten, ergibt sich auch aus dieser Sichtweise die Notwendigkeit der Betrachtung der Lebenszykluskosten der Anlagen.

Aus diesem Zusammenhang können auch Investition und Instandsetzung aus Sicht ihrer gesamten Wirkungsweise wie folgt definiert werden: Investitionen stellen Potentiale an Nutzungsdauern zur Verfügung. Erst die Instandsetzung ist in der Lage diese Potentiale zu realisieren. Damit ist unzureichende Instandsetzung aber in der Lage grundsätzlich jede sinnvolle Investition im Nachhinein abzuwerten, da durch mangelhafte Maßnahmen die eigentlich möglichen Nutzungsdauern nicht realisiert werden.

Investitions- und Instandsetzungsstrategien sind damit einander bedingende, zusammengehörende Strategien, weswegen im Folgenden Investitions- und Instandsetzungsstrategien des Fahrwegs der Eisenbahn generell als Fahrwegstrategien bezeichnet werden.

Der strikte und nicht auflösbare Zusammenhang zwischen Investition und Instandsetzung findet, wie bereits erwähnt, in manchen Organisationsstrukturen von Eisenbahnen keine Entsprechung. Auch in der Umsetzung gibt es Lösungen, die Märkte vorsehen, die sich ausschließlich mit Investition oder Instandsetzung beschäftigen. Aus der Sicht des oben beschriebenen Zusammenhangs widersprechen derartige Organisationsstrukturen den grundlegenden technischen Wirkungsweisen von Fahrwegen, um nicht zu sagen der Eisenbahninfrastruktur als

Abb. 21.2 Zahlungsstrombild einer Investition



Ganzes, wobei dieser Widerspruch durch die langen Nutzungsdauern noch verschärft wird. Eine detaillierte Kenntnis der technisch wirtschaftlichen Zusammenhänge zur optimalen Ausgestaltung der sich so ergebenden organisatorischen Schnittstellen wird damit zu einer der Voraussetzungen des Funktionierens derartiger Strukturen.

21.2 Modell zur wirtschaftlichen Bewertung von Fahrwegstrategien

Es ist ein Grundsatz wirtschaftlicher Bewertungen, alle durch ein Projekt verursachten kostenrelevanten Auswirkungen zu berücksichtigen. Dazu werden alle vom Projekt induzierten Zahlungen in Form eines Zahlungsstrombildes (Abb. 21.2) über den zu betrachtenden Zeitraum dargestellt.

Ein Zahlungsstrom gibt damit nicht nur die Höhe der Zahlungen sondern auch ihren Zeitpunkt an. Zur wirtschaftlichen Bewertung von Investitionen existieren verschiedene Verfahren, wobei grundsätzlich statische und dynamische Bewertungsmodelle unterschieden werden. Statische Wirtschaftlichkeitsrechnungen behandeln Kosten und Preise als zeitlich konstant und berücksichtigen die Kapitalbindung nicht. Für statische Bewertungen ist damit der Zahlungszeitpunkt nicht relevant. Dies stellt jedoch für den Eisenbahnerbau, mit Nutzungsdauern von 30 Jahren und mehr, eine unrealistische Annahme dar. Lange Nutzungsdauern erfordern damit die Anwendung dynamischer Wirtschaftlichkeitsrechnungen, die den Zahlungszeitpunkt durch Auf- und Abzinsen der Zahlungen auf einen Be-

zugszeitpunkt berücksichtigen. Dabei stehen die Kapitalwertmethode (Abb. 21.3), die Methode des Internen Zinssatzes (Abb. 21.4) sowie die Annuitätenmethode zur Verfügung. Dynamische Investitionsrechnungen berücksichtigen die Kapitalbindung, da die Zahlungszeitpunkte berücksichtigt werden, indem die Zeitwerte der Zahlungen (ZW) mit Hilfe der Zinseszinsformel in der Regel auf das Jahr der Investition abgezinst werden. Die Summe der so erhaltenen Barwerte ($BW = ZW \cdot (1+i)^{-t}$) wird als Kapitalwert (C) bezeichnet, der damit einen dynamisch bewerteten Gewinn darstellt ($C = \sum BW$).

Zur Bestimmung dieses Kapitalwerts ist ein kalkulatorischer Zinssatz i festzulegen, mit dem künftige Zahlungen auf den Betrachtungszeitpunkt abgezinst werden.

Die Methode des Internen Zinssatzes geht einen Schritt weiter, indem eine dynamische Rentabilität einer Investition bestimmt wird. Dies geschieht durch die Bestimmung des Nulldurchgangs der Kapitalwertfunktion, wobei die Kapitalwertfunktion die Kapitalwerte für beliebige kalkulatorische Zinssätze beschreibt.

$$C = 0 \rightarrow i = \text{IRR} \quad (21.2)$$

mit:

C Kapitalwert
i kalkulatorischer Zinssatz
IRR Interner Zinssatz

Der Nulldurchgang der Kapitalwertfunktion bestimmt damit jene Verzinsung, mit der sich die untersuchte Investition verzinst. Dieser Zinssatz wird als Interner Zinssatz (IRR) bezeichnet.

Die Annuitätenmethode baut ebenfalls auf dem Kapitalwert auf, indem durch Zuhilfenahme einer finanztechnischen Formel der Kapitalwert

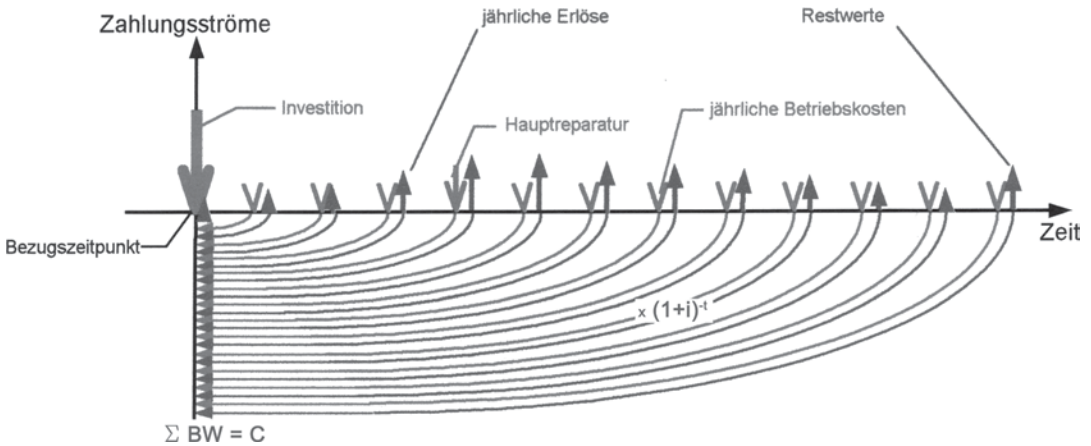


Abb. 21.3 Kapitalwertmethode

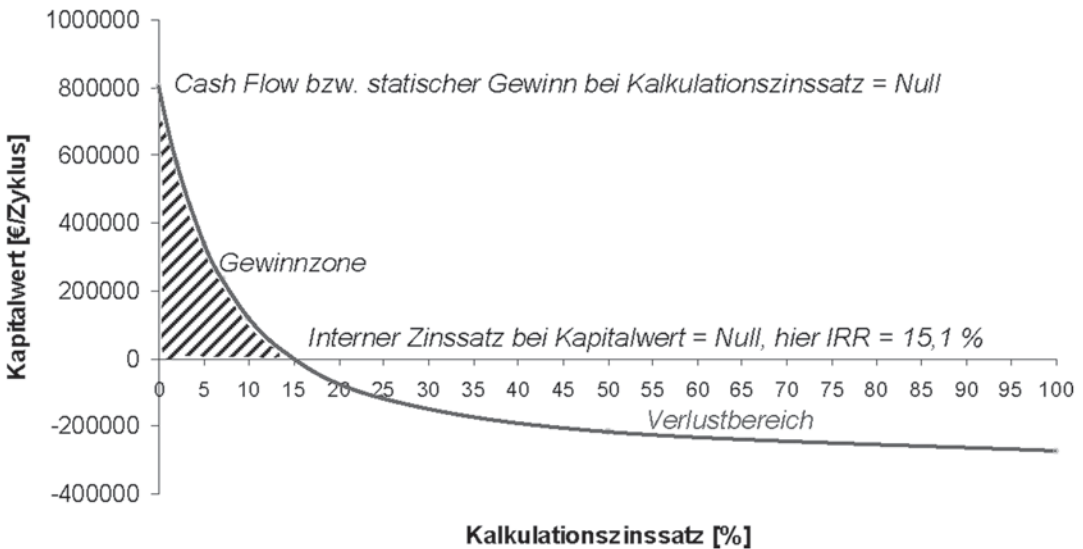


Abb. 21.4 Methode des Internen Zinssatzes

mittels des Kapitalwiedergewinnungsfaktors (KWF) in die Annuität (A), den durchschnittlichen dynamischen Jahresgewinn umgerechnet wird.

$$A = KWF \times C \tag{21.3}$$

mit:

A Annuität

$$KWF = (1+i)^t \times \frac{i}{(1+i)^t - 1} \tag{21.4}$$

i kalkulatorischer Zinssatz

t Zeit [Jahre]

C Kapitalwert

Es besteht bei allen dynamischen Methoden grundsätzlich auch die Möglichkeit, die Inflation im Zeitwert durch Aufzinsen der heutigen Kosten auf den Zeitpunkt der Ausgabewirksamkeit zu berücksichtigen. Dazu sollte jedoch die Inflation für eine ganze Nutzungsdauer bekannt sein. Zur Unsicherheit der Inflationsrate ergibt sich das Rechnen mit Geldeinheiten unterschiedlichen

Wertes, was die Deutung von Gewinngrößen erschwert. Bei der Bestimmung des Internen Zinssatzes ohne Berücksichtigung der Inflation ergibt sich der reale Zinssatz, bei Berücksichtigung der Inflation statt der realen Verzinsung ein um die Inflationsrate erhöhter Wert und damit nomineller Wert, von dem zur Bestimmung der realen Verzinsung die Inflation wieder abgezogen werden muss. Aus diesen Gründen wird keine Inflationsrate angesetzt und damit Realverzinsungen bzw. Annuitäten auf Basis des aktuellen Geldwerts bestimmt.

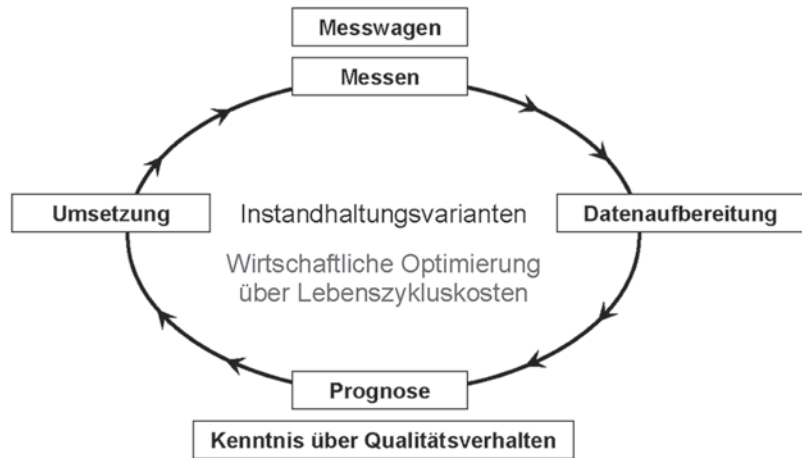
Die drei beschriebenen Methoden eignen sich jedoch nur unter spezifischen Randbedingungen zum Vergleich verschiedener Alternativen: die Anwendung der Kapitalwertmethode ist nur zulässig, wenn Investition und Nutzungsdauer der zu vergleichenden Investitionsvorhaben gleich sind, da ein Gewinn nur dann als Entscheidungsgrundlage zum Vergleich von zwei Handlungsalternativen herangezogen werden kann, wenn die dazu erforderliche Investition und der Zeitraum der Refinanzierung vergleichbar sind. Die Anwendung der Methode des Internen Zinssatzes erfordert gleiche Nutzungsdauern. Eine Rentabilität ist dann ein geeignetes Auswahlkriterium, wenn die Zeiträume vergleichbar sind, während die Annuitätenmethode keinerlei derartige Einschränkungen aufweist, da die Annuität den dynamisch bestimmten durchschnittlichen Jahresgewinn beschreibt, und somit Zeitraum und Investitionshöhe berücksichtigt sind. Die Methode des Internen Zinssatzes kann für unterschiedliche Nutzungsdauern durch (wiederholtes) Ansetzen von Re-Investitionen der Strategie mit der kürzeren Nutzungsdauer und Berücksichtigung der sich damit zum Zeitpunkt des Ablaufs der Strategie mit der längeren Nutzungsdauer verbleibenden Restwerte ertüchtigt werden.

Bei Investitionen in einen Fahrweg im Sinn des Anlagenmanagements handelt es sich jedoch um interne Rationalisierungsinvestitionen, denen keine direkten Erlöse zugeordnet werden können. Damit kann in diesem Fall sinnvoller Weise nur die Annuitätenmethode angewendet werden, wobei das Ergebnis dann die jeweiligen durchschnittlichen Jahreskosten beschreibt.

Zielführender als die Einzelbewertung von Strategien mit anschließendem Vergleich ist hingegen der Vergleich zweier Strategien bereits innerhalb der Investitionsrechnung. Die Bewertung erfolgt auf Basis eines als Differenz zweier Zahlungsströme gebildeten Differenzzahlungsstromes, wobei die Mehrausgaben der einen Strategie im Vergleich zur anderen als „Kosten“, die Minderausgaben als „Erlöse“ definiert werden. Auf Basis dieses Differenzzahlungsstromes können sowohl die Kapitalwertfunktion und damit der Interne Zinssatz, als auch die Annuität bestimmt werden. Der Interne Zinssatz gibt dabei die Verzinsung des zusätzlich gebundenen Kapitals der einen Fahrwegstrategie im Vergleich zur anderen an, eine Größe, die für Entscheidungsträger immer stärker an Bedeutung gewinnt. Die Differenzialannuität wiederum zeigt die durchschnittliche jährliche Ergebnisverbesserung oder -verschlechterung, die sich durch einen Strategiewechsel ergibt. Beide Ergebnisgrößen beschreiben damit Rationalisierungspotentiale durch Strategiewechsel, wobei zur korrekten Beurteilung eines auf Basis eines Differentialzahlungsstroms bestimmten Internen Zinssatzes auch die Kapitalwertfunktion herangezogen werden muss.

Ein grundlegendes Problem der wirtschaftlichen Bewertung von Lebenszykluskosten sei noch angesprochen: die Unsicherheit künftiger Daten, vor allem angesichts langer Nutzungsdauern. Argumentationen, die auf Lebenszykluskosten einer Anlage aufbauen, sind daher notwendiger Weise mit großen Unsicherheiten behaftet. Genau aus diesem Grund wurde die Methode der Differential-Lebenszykluskosten entwickelt, die immer zwei Strategieansätze in ihren finanziellen Auswirkungen miteinander vergleicht und als Hauptergebnis die Frage beantwortet, welche der beiden Strategien vorzuziehen sei. Diese Aussage ist, im Unterschied zu den Lebenszykluskosten selbst, sehr stabil. Steigen beispielsweise die Lohnkosten unerwartet an, wirkt sich dies massiv auf die Lebenszykluskosten aus, während die Kostendifferenzen (Differential-Lebenszykluskosten) der beiden Strategien weitgehend unberührt bleiben, da sich die Lohnkosten unabhängig von der Fahrwegstrategie bei den zu vergleichenden Strategien ändern.

Abb. 21.5 Kreislauf der Fahrwegstrategien



Obwohl Lebenszykluskosten per se nicht stabil sind, liefern auf Differenzen von Lebenszykluskosten basierende Projektziehungen sehr stabile Entscheidungsgrundlagen.

21.3 LCC-basierte Fahrwegstrategien der ÖBB

Unter Verwendung des oben beschriebenen wirtschaftlichen Bewertungsmodells wurden beginnend mit 1996 bei den ÖBB Fahrwegstrategien erarbeitet und seit 1998 schrittweise umgesetzt. Die Vision für das optimale Anlagenmanagement weist als Kernstück technisch abgesicherte und wirtschaftlich auf Basis von Lebenszykluskosten optimierte Fahrwegstrategien auf, die für alle Fahrwegkomponenten sowohl Investitions- als auch Instandsetzungsstrategien umfassen. Durch Einsatz des Messwagens, Auswertung der Messdaten und darauf aufbauender Aktualisierung der Qualitäts-, Instandsetzungs- und Nutzungsdauerprognosen werden die Grundlagen für ein sich den aktuellen Bedingungen anpassendes und damit laufend optimierbares Anlagenmanagement gelegt, wie in Abb. 21.5 skizziert.

Führt die Aktualisierung der Daten durch eine neuerliche Messwagenfahrt zu keinen wesentlichen Änderungen der Prognosen und liegen auch keine neuen optimierten Komponenten oder Instandsetzungsmethoden vor, besteht kein Grund, die bis dahin bestehenden sowohl technisch als

auch wirtschaftlich bereits nachgewiesenen Fahrwegstrategien zu ändern. Zeigen die aktuellen Messwerte jedoch relevante Abweichungen von den prognostizierten Werten, wird eine Aktualisierung der Instandsetzungsstrategien überprüft. Dabei werden aus den neuen Prognosedaten neue Lebenszyklen und daraus wiederum neue Fahrwegstrategien abgeleitet und mit den bestehenden verglichen. Durch die vergleichende Bewertung wird damit die Wirtschaftlichkeit eines Strategiewechsels überprüft, womit grundsätzlich die Möglichkeit einer Verifizierung und gegebenenfalls Anpassung der Strategien nach jeder Auswertung neuer Messdaten besteht. Nach Umsetzung der für den aktuellen Fall auf Basis von Lebenszykluskosten als wirtschaftlich erkannten Maßnahmen beginnt der Kreislauf mit der nächsten geplanten Messwagenfahrt von neuem. In diesem Kreislauf stellt die Re-Investition lediglich einen Spezialfall der erforderlichen Maßnahmen dar.

Diese Vision ist keinesfalls in einem Schritt umsetzbar. Im Sinn einer raschen Wirksamkeit neuer Fahrwegstrategien und damit einer raschen Realisierung von Einsparungspotenzialen wurde ein zweistufiges Verfahren gewählt. Stufe 1 basiert auf Erfahrungen, sei es aus dem Betrieb oder auch aus Versuchen, und formuliert für Standard-situationen Basisstrategien. Gleichzeitig wurde der Fahrweg in seine Komponenten unterteilt, die, soweit möglich, einzeln behandelt werden. Die folgenden Fahrwegkomponenten wurden

Tab. 21.1 2-Stufenplan zur Optimierung des Anlagenmanagements

| – | Stufe 1 | Forschung | Stufe 2 |
|------------------|---|--|--|
| Zeitachse | Projektstart | Mit Projektstart | Nach Abschluss der Stufe 1 |
| Voraussetzung | Fachwissen der Arbeitsgruppen | Messwagendaten, Betriebsdaten, Statusdaten | Vorliegen erster Ergebnisse aus dem Bereich Forschung |
| Bereich | Fahrwegkomponente | Adaption der Analyse der Messwagendaten auf die Erfordernisse der Stufe 2 Entwicklung von Prognosemodellen zur Beschreibung des Qualitätsverhalten der Fahrwegkomponenten | Fahrwegkomponente |
| Basis | Erfahrung | – | funktionales Wissen |
| Optimierungsziel | Wirtschaftliche Reihung der bekannten Fahrwegstrategien | – | Formulierung der wirtschaftlich optimalen Fahrwegstrategie |
| Anwendung | Standardsituation | – | Reale Situation |

bisher untersucht, wobei für alle hier genannten Fahrwegkomponenten die Stufe 1 des Projekts Strategie Fahrweg bereits abgeschossen ist:

- Oberbau Gleise [2], [3],
- Weichen [4],
- Brücken [5],
- Eisenbahnkreuzungen [6],
- Bahnsteige [7] und
- Oberbaukomponenten [8–10].

Da in der Stufe 1 Fahrwegstrategien für Standardsituationen formuliert werden, sind für das Netz charakteristische Standardsituationen zu identifizieren. Für Brücken wurden daher Strategien für die große Anzahl von Brücken mit relativ kleinen Spannweiten erarbeitet, nicht jedoch für die geringe Anzahl langer Donauquerungen, da jede dieser Brücken einen charakteristischen Einzelfall darstellt und daher die Formulierung von allgemeinen Basisstrategien nicht sinnvoll ist. Generell wird es immer besondere Situationen geben, beispielsweise bei Weichen auf Grund ihrer betrieblichen oder anderer außergewöhnlicher Randbedingungen, die spezifische Lösungen erfordern und daher nicht Gegenstand der Basisstrategien sein können. Es hat sich gezeigt, dass mit den untersuchten Standardsituationen jeweils rund 80% der realen Fälle abgedeckt werden können, für die restlichen Fälle sind spezifische Auswertungen erforderlich, die in Stufe 1 jedoch nicht vorgesehen sind.

In Stufe 2 werden die Basisstrategien für reale Situationen spezifiziert, was nur durch den Umstieg von erfahrungsbasierten Strategien auf

wissensbasierte Strategien gelingt. Um nach Abschluss der Stufe 1 möglichst rasch die Stufe 2 beginnen zu können, wurden zeitgleich mit der Stufe 1 jene Forschungsarbeiten gestartet, die die Voraussetzungen für wissensbasierte Fahrwegstrategien schaffen. Im Wesentlichen handelt es sich dabei um die Erforschung des funktionalen Gleisverhaltens auf Basis weiterentwickelter Messdatenanalysen. Dabei wird funktionales Wissen aus Analysen der Zeitreihen von Messsignalen gewonnen. Dies wiederum ist Voraussetzung für Prognosen, die schlussendlich die Erfahrung als Basis für die Lebenszyklusbetrachtungen ablösen sollen. Tabelle 21.1 fasst die Vorgangsweise des Gesamtprojekts schlagwortartig zusammen.

Dieses Ablaufschema soll für die – im Hinblick auf zu erwartende Einsparungspotenziale – relevanten Fahrwegkomponenten durchlaufen werden, wobei abschließend die einzelnen Strategien für die einzelnen Fahrwegkomponenten, dort wo technisch wirtschaftlich relevante Wechselwirkungen bestehen, abgestimmt werden (z. B. Abstimmung der Schienenprofile für Gleise und Weichen).

Aus Gründen der aus dem Anlagevermögen zu erwartenden Optimierungspotenziale wurde mit den Infrastrukturkomponenten „Oberbau Gleise“ und „Oberbau Weichen“ begonnen. Damit ist für diese beiden Komponenten die Optimierung am weitesten fortgeschritten. Neben den Ergebnissen der Stufe 1 ist das Life-Cycle-Management, das Ergebnis der Stufe 2 bereits implementiert. Es wird im Folgenden daher auf diese beiden Komponenten näher eingegangen.

Im Unterschied zur Konzeption und der Vorgangsweise der Optimierung beruhen die Ergebnisse auf den in Österreich herrschenden technischen und wirtschaftlichen Randbedingungen und sind daher nicht notwendiger Weise auf andere Staaten übertragbar. Das Instrumentarium der Sensitivitätsanalysen erlaubt es jedoch aus Einzelergebnissen grundsätzliche und damit generelle Trends abzuleiten.

Zudem müssen in jedem erfahrungsbasierten Modell, besonders aber bei erfahrungsbasierten Lebenszyklusbetrachtungen mit immensen Nutzungsdauern aus Gründen der Datensicherheit Sensitivitätsuntersuchungen integrale Bestandteile der Ergebnisanalysen sein.

Im Rahmen dieser intensiven Beschäftigung mit dem Fahrweg ergeben sich Erkenntnisse, die Optimierungen in Bereichen erlauben, die über die ursprüngliche Zielsetzung der Definition von Fahrwegstrategien hinausgehen.

21.3.1 Strategie Fahrweg – Stufe 1

Die Erarbeitung von Fahrwegstrategien für Standardsituationen erfordert die Schritte

- Definition der Standardsituationen (Standardelemente),
- Erfassung der für Fahrwegstrategien relevanten Kosten,
- Erarbeitung der Arbeitszyklen für die jeweiligen Standardsituationen (Standardelemente),
- Verifizierung der Arbeitszyklen,
- Auswertung der Ist-Daten,
- Erarbeitung grundlegender Fahrwegstrategien auf Basis Auswertung der Ist-Daten sowie alternativer Arbeitszyklen (abgeleitet aus Versuchen, spezifischen Erfahrungen aber auch Ideen) und deren
- wirtschaftliche Überprüfung auf Basis der Lebenszykluskosten.

21.3.1.1 Festlegung der Standardelemente

Bereits die Festlegung der Standardsituationen, sog. Standardkilometer oder -weichen, bedarf der Erfahrung der fachlich für die jeweiligen Bereiche Zuständigen. Bereits von Beginn der Arbei-

ten an wurde so auf das Wissen der Mitarbeiter der Österreichischen Bundesbahnen durch spezifisch zusammengesetzte Arbeitsgruppen zurückgegriffen. Diese Arbeitsgruppen umfassten für das Fahrwegelement „Oberbau Gleise“ sowohl vor Ort für das Gleis verantwortliche Bahnmeister und Regionalleiter als auch Techniker und Forscher aus dem Bereich der Fahrwegentwicklung, Fachleute der Baubetriebsplanung wie Spezialisten für die Kostenstrukturen von Investition und Instandsetzung. Die breite fachliche Streuung der Mitglieder der Arbeitsgruppe verfolgt zwei Zielsetzungen, einerseits das Abdecken verschiedener Aspekte der Instandsetzung, andererseits einen Multiplikatoreffekt durch das bewusste Hinaustragen der Diskussionen in die Regionen. Durch diese Arbeitsgruppen, jeweils eine für eine Fahrwegkomponente, gelingt es, Standardelemente festzulegen, mit denen sich rund 80% des Netzes der ÖBB abbilden lassen. Nicht behandelt wurden im Bereich „Oberbau“ extrem belastete S-Bahn Abschnitte in Wien. Nicht abbildbar sind aber damit in der Stufe 1 jene Bereiche, die in Österreich in nicht ausreichendem Umfang oder noch nicht lange genug vorliegen, wie artreine Güter- oder Personenverkehrsstrecken sowie Strecken mit zulässigen Geschwindigkeiten über 200 km/h.

Im Bereich „Oberbau Gleise“ wurden die Standardkilometer nach folgenden Gesichtspunkten unterteilt:

- Unterbausituation,
- Trassierungsradien,
- Verkehrsbelastung,
- Oberbauform und
- Gleisanzahl.

Die ursprünglich vorgesehene Unterteilung nach verschiedenen Längsneigungen wurde im Laufe der Arbeiten nicht weiterverfolgt, die ursprüngliche Unterteilung in nur zwei Unterbauklassen wurde wegen der hohen Bedeutung des Unterbauzustandes für das Verhalten des Oberbaus auf vier Unterbauklassen verfeinert (Unterbauzustand und Zustand der Entwässerung). Dabei zeigt sich, dass Unterbaukennzahlen immer nur den Aggregatzustand des Unterbaus beschreiben, dieser aber keine direkten Rückschlüsse auf das Verhalten des Gleises zulässt. Das Verhalten des

Tab. 21.2 Standardkilometer und Standardweichen

| Tägliche Gleisbelastung [Bt] | Ein- oder zweigleisig | Guter Unterbau | | | | U3 | U4 | U5 |
|------------------------------|-----------------------|----------------|---------------|---------------|---------|---------|----|----|
| | | R > 600 | 400 < R < 600 | 250 < R < 400 | R < 250 | R > 600 | | |
| 80.000 | 2 | x | x | x | x | x | x | x |
| 55.000 | 2 | x | x | x | x | x | x | x |
| 33.000 | 2 | x | x | x | x | x | x | x |
| 18.000 | 2 | x | x | x | x | x | x | x |
| 75.000 | 1 | x | x | x | x | x | x | x |
| 70.000 | 1 | x | x | x | x | x | x | x |
| 33.000 | 1 | x | x | x | x | x | x | x |
| 8.000 | 1 | x*) | | | | x | x | x |
| 2.000 | 1 | x*) | | | | x | x | x |
| 1.000 | 1 | x*) | | | | x | x | x |
| 2.000 | 1 (Schmalspur) | x*) | | | | x | x | x |

*bei schwach belasteten Strecken wurde R > 600 m unter Berücksichtigung eines Anteils von Radien um 300 m angesetzt

Gleises resultiert neben dem Aggregatzustand des Unterbaus aus der dynamischen Anregung d. h. der Verkehrsbelastung, sodass aus den Unterbaukennzahlen allein keine Rückschlüsse auf das Verhalten der Gleise gezogen werden können.

Um dennoch den Unterbauzustand als wichtigen Parameter in die Untersuchungen aufnehmen zu können, wurde der umgekehrte Weg gegangen und aus dem Verhalten des Oberbaus die Unterbauklassifizierung vorgenommen. Dazu wurden folgende Festlegungen getroffen:

Ein sehr guter Unterbau liegt vor, wenn Instandsetzungsmaßnahmen aus den auf die Verkehrsbelastung zurückzuführenden Verschleißerscheinungen (Verschleiß im engeren Sinn aber auch Gleislagefehler) resultieren. Diese Festlegung inkludiert, dass für Strecken mit geringer Verkehrsbelastung ein Unterbau mit geringeren Qualitäten als sehr gut qualifiziert wird, wenn er den gegebenen Anforderungen genügt. Für die Beschreibung der Unterbauzustände „3“, „4“ und „5“ wurden typische auch auf den Unterbau zurückzuführende Instandsetzungserfordernisse definiert, wobei es bis zur Unterbauklasse „4“ gelingt, durch Intensivierung der Instandsetzungsmaßnahmen die Nutzungsdauer des Oberbaus im Niveau des sehr guten Unterbaus annähernd zu halten, bei der Unterbauklasse „5“ jedoch trotz (oder bereits wegen) der sehr intensiven Instandsetzung die für den jeweiligen Standardkilometer im Standardfall erreichbare Nutzungsdauer wesentlich unterschritten wird. Ein derartiger Fall

liegt beispielsweise bei massivem Auftreten von Spritzstößen oder Frostaufzügen vor.

Die Einteilung der Verkehrsbelastungen resultiert aus typischen Verkehrsbelastungen im Netz der ÖBB, die Einteilung in Radienklassen in im Bereich der Instandsetzungsintensität noch klar unterscheidbare Bereiche. So ergibt sich der Bereich der Radien zwischen 250 und 400 m aus dem Anlaufen des Spurkranzes, die Abgrenzung der Radien unter 250 m durch die in diesen Bereichen nicht durchgehend verschweißten Schienen. Andererseits dominieren im Bereich über 600 m andere Effekte als die Krümmung den Instandsetzungsbedarf und die Nutzungsdauer, so dass auf eine weitere Unterteilung verzichtet wird. Bei späteren Aktualisierungen wurden wegen der Rail-Contact-Fatigue (RCF)-Problematik weitere Radienklassen eingeführt: 600 m bis 1.500 m, 1.500 m bis 3.000 m sowie über 3.000 m.

In Tab. 21.2 sind die bisher untersuchten Standardkilometer zusammengefasst.

Im Bereich „Weichen“ wurden Einfache Weichen als Standardweichen auf denselben Standardkilometern nach denselben Gesichtspunkten definiert, wobei ein Befahren in die Ablenkung von maximal 20% der Züge als typisch für die Standardweichen angesetzt wird, da primär Weichen auf durchgehenden Hauptgleisen untersucht werden. Dies ist nicht zuletzt auf die vorliegende Datenbasis der Verkehrsbelastung zurückzuführen. Die Einteilung nach Radienklassen wurde durch eine Einteilung in Weichen in Geraden

Gleisabschnitten, Innenbogenweichen und extrem verbogene Innenbogenweichen ersetzt. Doppelte Kreuzungsweichen werden exemplarisch in die Untersuchung aufgenommen, Sonderkonstruktionen jedoch nicht.

Generell beschreiben die Standardelemente die Situation in Österreich, für die längere Erfahrungen und längere Streckenabschnitte die Formulierung der Arbeitszyklen erlaubt. Damit weisen die Standardkilometer eine wesentliche Einschränkung auf: Innovationen können in der Stufe 1 nicht oder nur nach längeren Testreihen bewertet werden.

21.3.1.2 Erfassung der für Fahrwegstrategien relevanten Kosten

Neben den Investitions- und Instandsetzungskosten fallen auch Kosten für Inspektion an, die jedoch im Unterschied zu den beiden Erstgenannten in der Regel für die Formulierung von Fahrwegstrategien nicht relevant sind, da sie sich bei unterschiedlichen Fahrwegstrategien nicht unterscheiden. Die Kosten der Inspektionstätigkeiten wurden daher nur in begründeten Fällen berücksichtigt, wie beispielsweise beim Vergleich verschiedener Brückenbauarten, wenn sie tatsächlich unterschiedlichen Inspektionsbedarf aufweisen. Im Rahmen der Beschreibung der erforderlichen Arbeiten werden Kosten von planbaren Instandsetzungsmaßnahmen spezifisch erhoben, die nicht planbare „kleine“ Instandsetzung, im Projekt als Mängelbehebung bezeichnet, wird mittels eines jährlichen Kostensatzes berücksichtigt, wobei dieser Kostensatz mit dem Alter der Anlagen steigt. Dazu wurde der aus Statistiken stammende Kostensatz näherungsweise mit 50 % seines Durchschnittswerts im ersten Drittel der Nutzungsdauer, mit dem vollen Wert im zweiten Drittel und dem eineinhalb fachen Wert im letzten Drittel der Nutzungsdauer angesetzt. Bei Überschreiten der Nutzungsdauer werden die Mängelbehebungskosten mit 10 % pa. erhöht.

Kosten für Winterdienst und Katastrophen werden nicht angesetzt. Sehr wohl berücksichtigt wurden jedoch die betrieblichen Folgekosten von (Re-)Investition und Instandsetzung, da sie ursächlich mit diesen Maßnahmen in Zusammen-

hang stehen und durch die Berücksichtigung ein Optimieren der Infrastruktur auf Kosten des Betriebs verhindert werden soll. Betriebserschwerungskosten können aber auch anfallen, wenn unzureichende Instandsetzung oder Überschreiten der Nutzungsdauer einzelner Komponenten zu Dauerlangsamfahrstellen führt.

Für sämtliche Kosten wurden dabei Durchschnittswerte der Arbeiten für die typische Situation beschreibende Standardelemente angesetzt. Dies erlaubt die Formulierung genereller Fahrwegstrategien, zeigt aber auch die Grenzen der Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Spezialfälle (z. B. zentrale Weiche eines Großverschiebebahnhofs) auf.

Das Bewertungsmodell für Betriebserschwerungskosten basiert auf den auf eine Baustelle zurückzuführenden

- Zugverspätungen, unter den im Netz der ÖBB vorherrschenden Randbedingungen, wie Überleitstellenabstand, Blockabstand, Bahnhofsabstand, Fahrzeitereserven,
- Folgeverspätungen aus zugtypspezifischen Globalanalysen,
- erforderlichen Umwegfahrten und daraus resultierenden Zusatzkilometern und Zugverspätungen,
- erforderlichenfalls die Kosten für Schienenersatzverkehre,
- etwaige Zusatzkosten bei Vershub,
- Kosten der Disposition

wobei die Auswertung getrennt für die Zuggattungen Nachtpersonenzug, Personenfernverkehrszug, Regionalpersonenzug, Ferngüterzug, Regionalgüterzug und Dienstzug durchgeführt wird. Marktseitige negative Auswirkungen von Verspätungen finden auf Basis von Globalanalysen Eingang in die Betriebserschwerungskosten, Pönalen werden zufolge der aktuellen Regelungen berücksichtigt. Die Basisdaten (Verspätungen je Zuggattung, Anzahl der umgeleiteten Züge, Anzahl der verspäteten Züge, Angaben zum erforderlichen Schienenersatzverkehr) zur Bestimmung der Betriebserschwerungskosten für verschiedene Baumaßnahmen in den unterschiedlichen Standardkilometern stammen aus Betriebssimulationen mit dem Programm RAIL-SYS.

| Westbahn 2 | | 400m<R<600m | 2-gleisig | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|--------------|-------------|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|---|----|----|-----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| GesBT/Tag,Gleis | Profil | Güte | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 80.000 | 60E1 | 260 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Instandhaltungsarbeit | ND in Jahren | 23 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 |
| Neulage | | 1,0 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Stopfen | alle x Jahre | 2,1 | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 |
| Zusätzlich Teilwechsel | Anzahl in ND | 2,0 | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| Schleifen | Anzahl in ND | 4,0 | | | | | 1 | | | | | 1 | | | | | | | | | | | 1 | | |
| Schienenwechsel | Anzahl in ND | 0,3 | | | | | | | | | | | | | 0,3 | | | | | | | | | | |
| Stospflege | Anzahl in ND | 0,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Zwischenlagenwechsel | Anzahl in ND | 0,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mängelbehebung | Anzahl in ND | 23,0 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 |

Abb. 21.6 Arbeitszyklus Oberbau

Die kurze Beschreibung der berücksichtigten betrieblichen Folgekosten zeigt, dass das Kalkulationsmodell für Betriebserschwerungskosten die wesentlichen Positionen umfassen. Kostenseitig basiert es auf Durchschnittskostensätzen, die Betriebssimulation erlaubt die Berücksichtigung des spezifischen Einzelfalls. Für generelle strategische Aussagen wird auf einen Katalog an Betriebserschwerungskosten zurückgegriffen [11]. Zur Erstellung dieses Katalogs wurden die Betriebserschwerungskosten für unterschiedliche Dauern der Gleissperren für 11 typische Strecken in der oben beschriebenen Weise bestimmt. Es kann damit festgehalten werden, dass die Betriebserschwerungskosten die wesentlichen betrieblichen Folgekosten umfassen, jedoch noch nicht alle an einem spezifischen Streckenabschnitt möglichen.

Sämtliche Kosten der verschiedenen Arbeiten werden dabei für ihre typische Bauloslänge erhoben und anschließend auf eine Bauloslänge von einem Kilometer (Oberbau Gleise) bzw. einem Stück (Oberbau Weichen) umgerechnet, um die erforderlichen Rüstzeiten etc. korrekt zu behandeln.

21.3.1.3 Erarbeitung der Arbeitszyklen für die jeweiligen Standardelemente

Am Beginn der Erarbeitung der Arbeitszyklen standen Arbeitshypothesen, die erst im späteren Verlauf der Arbeiten auf ihre Richtigkeit überprüft werden konnten:

- Es wird von Fahrwegstrategien ausgegangen, bei denen nach einer Investition (Gleis- oder Weichenneulage) Instandsetzungsmaßnahmen folgen, bis das Erreichen der wirtschaftlichen Liegedauer eine weitere Neulage erforderlich.

Damit wird die Strategie des permanenten Einzelteilewechsels nicht als Standardfall angesehen. Es ist möglich, beispielsweise mit sehr hoher Instandsetzungsintensität oder dem Einrichten von Dauerlangsamfahrstellen die Liegedauer über das wirtschaftlich sinnvolle Maß zu verlängern, wobei die technische Liegedauer den oberen Grenzwert darstellt. Derartige Maßnahmen sind nicht Teil der Arbeitszyklen von Standardelementen und wurden im Zuge einer Nachweisrechnung als nicht wirtschaftlich bestätigt.

- Die Liegedauer des Oberbaus wird bei gutem Unterbau und funktionierender Entwässerung oft durch Verschmutzung und Verschleiß des Schotterbetts limitiert. Das Versagen von Einzelkomponenten ist die zweite Ursache einer Re-Investition.

Aufbauend auf diesen Arbeitshypothesen werden Arbeitszyklen erarbeitet, wobei der Begriff Arbeitszyklus einiger Erläuterungen bedarf.

Ein Arbeitszyklus – ein Beispiel für einen stark belasteten Abschnitt in einem Bogen mit einem Radius zwischen 400 und 600 m ist in Abb. 21.6 dargestellt – beschreibt den Instandsetzungsplan für die gesamte Nutzungsdauer einer Anlage.

Die Arbeitszyklen der verschiedenen Standardelemente stellen die Basis der wirtschaftlichen Auswertungen dar. Damit hängt die Richtigkeit sämtlicher Schlussfolgerungen von der Qualität der Arbeitszyklen ab. Diese werden, wie erwähnt, im Rahmen der Arbeitsgruppen erarbeitet, bedürfen aber wegen ihrer Bedeutung einer Verifizierung.

21.3.1.4 Verifizierung der Arbeitszyklen

Die Verifizierung der Arbeitszyklen stellte sich als sehr aufwendig heraus – das Erarbeiten und

Verifizieren der Arbeitszyklen hat für alle Standardelemente mehr als 50% der Bearbeitungsdauer der gesamten Stufe 1 erfordert, und war nur möglich, da neben dem Fachwissen der Mitarbeiter der Arbeitsgruppen Betriebsstatistiken sowie aktuelle Fahrwegdaten im „gläsernen Fahrweg“ vorliegen. Dieser umfasst netzweit Daten wie Oberbauform, Einbaudatum, Trassierungselemente und vieles mehr.

Die Verifizierung erfolgt, für die verschiedenen Standardelemente jeweils leicht angepasst, in drei Schritten. Nach Vorliegen aller Arbeitszyklen wird die technische Logik im Quervergleich überprüft und erforderlichenfalls die Zyklen neuerdings überarbeitet (weitere Datenerhebung, Diskussion der Daten, Überprüfung der Randbedingungen etc.). In diesem ersten Schritt können vor allem Fehler der Zuordnung zu verschiedenen Randbedingungen und Missverständnisse in Bezug auf Definitionen ausgeräumt werden. Ob hingegen die exakte Instandsetzungsintensität sowie realistische Nutzungsdauern beschrieben werden, kann durch diese Überprüfung nicht sichergestellt werden. Dazu wurde in einem zweiten Schritt, dem zeitintensivsten, das reale Netz der ÖBB den entsprechenden Standardkilometern zugeordnet, was durch die Daten des Gläsernen Fahrwegs und die Betriebsstatistiken möglich wurde. Diese Zuteilung erlaubt Hochrechnungen der laut Zyklen erforderlichen Arbeiten für einzelne Regionen und schlussendlich das gesamte Netz der ÖBB. Diese sich aus den Arbeitszyklen ergebenden Arbeitsmengen je Instandsetzungstätigkeit können den tatsächlich durchgeführten Arbeiten gegenübergestellt werden. Nur wenn dieser Vergleich eine Übereinstimmung zeigt, kann davon ausgegangen werden, dass die vorliegenden Zyklen tatsächlich die reale Situation beschreiben. Bei dieser Überprüfung zeigt sich, dass die Arbeitszyklen, und zwar bei allen Standardelementen, anfangs fast ausnahmslos eine etwas zu hohe Instandsetzungsintensität darstellen, und zwar aus einem sehr einfachen Grund: Überlegt ein für ein Gleis oder eine Weiche Verantwortlicher das Instandsetzungserfordernis, denkt er automatisch eher an Problembereiche, die ihn häufig beschäftigen als an die vielen Abschnitte, die problemlos funktionieren. Diese Abweichungen konnten bei-

spielsweise durch Gegenüberstellung der Zahlen des Einkaufs verschiedener Ersatzteile mit jenen laut den Auswertungen der Zyklen eingebauten Teilen diskutiert und eliminiert werden. In einem dritten Schritt wurden dieselben Hochrechnungen wiederholt, allerdings nicht auf Basis des Umfangs der einzelnen Arbeiten sondern auf Basis der dazu erforderlichen Budgets, die mit den realen Budgets verglichen wurden. Diese Schritt verifiziert damit die den weiteren Berechnungen zu Grunde gelegten Kostendaten. Da die Kostendaten gut dokumentiert vorlagen, waren in diesem Fall Korrekturen nicht erforderlich.

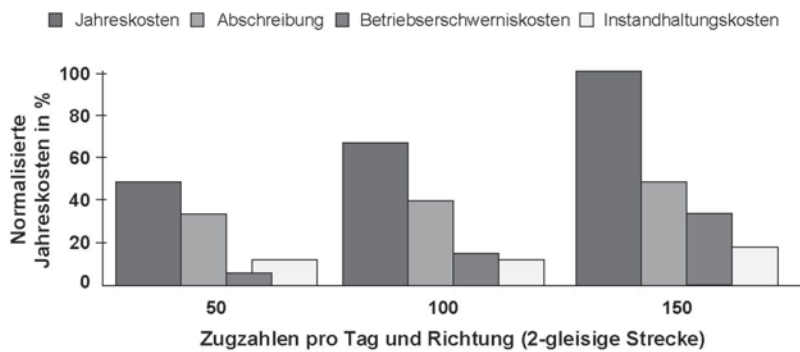
Insgesamt konnten für den Oberbau Gleise Abweichungen für das Gesamtnetz von wenigen Prozent bezogen auf den kritischen Wert der Arbeitsumfänge erreicht werden, wobei die Genauigkeit der Daten mit der Verkehrsbelastung steigt. Fragen nach Instandsetzungsintensität für eine Strecke mit 150 Zügen täglich je Gleis sind wesentlich exakter zu beantworten als für Strecken mit 10 Zügen pro Tag. Da die Verifikation der Arbeitszyklen auf Hochrechnungen von Standardelementen beruht, müssen auch bei den schlussendlich bestätigten Arbeitszyklen bei realen Fällen Abweichungen in gewissen Bandbreiten auftreten. Die Notwendigkeit von Sensitivitätsanalysen der damit noch immer „unsicheren“ Eingangsdaten bleibt damit trotz der Verifikation der Daten der Standardkilometer zur Beantwortung der Frage der Übertragbarkeit bzw. der Grenzen der Übertragbarkeit der Ergebnisse auf reale Abschnitte unbeeinflusst.

Am Schluss dieser Überprüfungen und Adaptionen liegen damit Daten vor, die das aktuelle Anlagenmanagement für die untersuchten Standardelemente gut beschreiben, die jedoch noch keine Antwort auf die Frage gegeben können, ob ein wirtschaftlich günstigeres Anlagenmanagement möglich wäre. Dennoch werden, vor der Diskussion alternativer Arbeitszyklen und damit neuer Fahrwegstrategien diese Ist-Daten einer Analyse und auch einer vergleichenden Bewertung unterzogen.

21.3.1.5 Auswertung der Ist-Daten

Ziel der Auswertung der Ist-Daten ist das Identifizieren der wesentlichen Kostentreiber, um im Zuge der Erarbeitung alternativer Arbeitszyklen

Abb. 21.7 Zusammensetzung der normalisierten Arbeitskosten



und damit Fahrwegstrategien „an den richtigen Schrauben zu drehen“. Da erste Vergleiche die immense Bedeutung der Unterbauqualität für die Lebenszykluskosten zeigen, werden die Analyse der Ist-Daten vorerst für Standardkilometer auf gutem Unterbau durchgeführt und die Frage des Unterbaus später gesondert untersucht. Bereits die Ergebnisse dieser Analyse erlaubten sehr konkrete Aussagen und führten zu sofortigen netzweiten Maßnahmen.

Die erste Auswertung und gleichzeitig einzige statische Auswertung betrifft die Verteilung der Lebenszykluskosten in Form ihrer normalisierten Jahreskosten (Abb. 21.7) für Gleise auf gutem Unterbau.

Die Abbildung zeigt die durchschnittlichen Jahreskosten des Oberbaus für verschieden belastete Standardkilometer. Die Jahreskosten setzen sich aus der kalkulatorischen Abschreibung, der durchschnittlichen jährlichen Instandsetzung sowie den durch die Arbeiten verursachten Betriebserschwerungskosten zusammensetzen. Eine analoge Auswertung für Weichen ergibt, bei größeren Streuungen, grundsätzlich dieselben Aussagen. Die Kosten des Oberbaus sinken erwartungsgemäß mit sinkender Verkehrsbelastung. Interessanter ist jedoch die Aufteilung der einzelnen Kostenpositionen. Dabei zeichnet die Kostenposition kalkulatorische Abschreibung – Kapitalbindungskosten sind in dieser statischen Auswertung nicht erfasst – für den dominanten Teil der Kosten verantwortlich.

Die Dominanz der Abschreibung bedeutet eine wesentliche Weichenstellung für die Zielrichtung aller folgenden Strategieüberlegungen. Die Gesamtkosten des Oberbaus lassen sich durch eine Verlängerung der Liegedauer signifikant senken. Die technische Voraussetzung zur Verlängerung

der Liegedauer ist wiederum eine hohe Ausgangsqualität, die sich damit bereits sehr früh als der Schlüssel für erfolgreiche Fahrwegstrategien herausstellt. Neben der Ausgangsqualität ist auch auf die Qualität der Instandsetzung zu achten, weil nur eine adäquate Instandsetzung in der Lage ist, hohe Ausgangsqualitäten tatsächlich in hohe Nutzungsdauern zu übersetzen. Gleichzeitig zeigt die Auswertung, dass eine Reduktion der Instandsetzung nur geringe Einsparungspotentiale erwarten lässt und immer die Gefahr besteht, bei einer zu starken Reduktion der Instandsetzung die Liegedauer negativ zu beeinflussen und damit die Gesamtkosten wesentlich zu erhöhen.

Groß ist auch die Bedeutung der Betriebserschwerungskosten, die bei sehr stark belasteten Strecken dieselbe Größenordnung wie die gesamte Instandsetzung erreichen.

Diese Auswertung war Beweggrund zur kritischen Hinterfragung von oberbaubedingten Dauerlangsamfahrstellen. Eine entsprechende Auswertung zeigte die Unwirtschaftlichkeit von Dauerlangsamfahrstellen im gesamten Kern- und Ergänzungsnetz der ÖBB, da die sich dabei ergebenden Betriebserschwerungskosten die erzielbaren Einsparungen durch Verschieben von Instandsetzungsmaßnahmen bei weitem übertreffen. Dieses Ergebnis führte zu einem Programm zur Beseitigung von Langsamfahrstellen, im Zuge dessen zwischen 1996 und 1999 rund die Hälfte der Dauerlangsamfahrstellen beseitigt werden konnten. In einzelnen Fällen haben sich diese Maßnahmen in weniger als zwei Jahren amortisiert. Betriebserschwerungskosten stellen sich damit für das Anlagenmanagement als entscheidungsrelevant heraus und dürfen daher im Sinn der Zielsetzung der Systemoptimierung keineswegs außer Acht gelassen werden. Dass

der Anteil der Betriebserschwerungskosten mit sinkender Verkehrsbelastung stark abfällt und bei Nebenbahnen tatsächlich vernachlässigbare Größenordnungen erreichen, liegt in der Natur der Sache.

Mittels Gegenüberstellungen verschiedener Arbeitszyklen lassen sich auch die wesentlichen Kostentreiber identifizieren. Es sind dies, in der Reihenfolge ihrer Bedeutung

- Unterbauqualität (Tragfähigkeit des Bodens und Zustand der Entwässerung),
- Ausgangsqualität,
- Weichendichte,
- Bauabschnittslängen,
- Trassierungsradien,
- Betriebserschwerungskosten,
- Verkehrsbelastung und
- Qualität des Rollenden Materials [12].

Der Längsneigung der Strecken kommt bei den im Eisenbahnwesen generell geringen zulässigen Werten relativ geringe Bedeutung zu. Bei Bergstrecken sind in Österreich i. d. R. die Krümmungsverhältnisse, also die Trassierungsradien, trotz Neigungen von rund 25 % und mehr für die Oberbaukosten kritischer als die Längsneigung.

Unterbauqualität

Gegenüberstellungen von Standardkilometern auf verschiedenen Unterbauqualitäten zeigen eine immense Bedeutung der Unterbauqualität (wie bereits beschrieben, werden darunter nicht nur Bodenkennwerte verstanden, sondern auch der Frage einer geregelten Wasserableitung besondere Gewichtung zugesprochen). Die beiden Eckwerte der Vergleiche liefern zum einen Standardkilometer schwach belasteter Nebenbahnen (Gleisbelastung 2.000 GesBt/Tag), zum anderen Standardkilometer einer stark belasteten Hauptstrecke (Gleisbelastung 80.000 GesBt/Tag). In beiden Fällen liegen Standardkilometer für alle Unterbauqualitäten vor. Für schwach belastete Standardkilometer zeigt der Vergleich für den Standardkilometer auf sehr schlechtem Unterbau die 2,3 fachen Lebenszykluskosten jenes auf gutem Unterbau. Dieser Wert ist umso bemerkenswerter, als er sich nicht auf die Instandsetzungskosten, sondern die gesamten Lebenszykluskosten, also inklusive Investition, bezieht. Dennoch wird dieser Wert beim analogen Ver-

gleich innerhalb stark belasteter Standardkilometern noch bei weitem übertroffen: der stark belastete Standardkilometer führt auf sehr schlechtem Unterbau im Vergleich zum selben Standardkilometer bei derselben Belastung aber auf gutem Unterbau zu maximal den 9 (!) fachen Lebenszykluskosten.

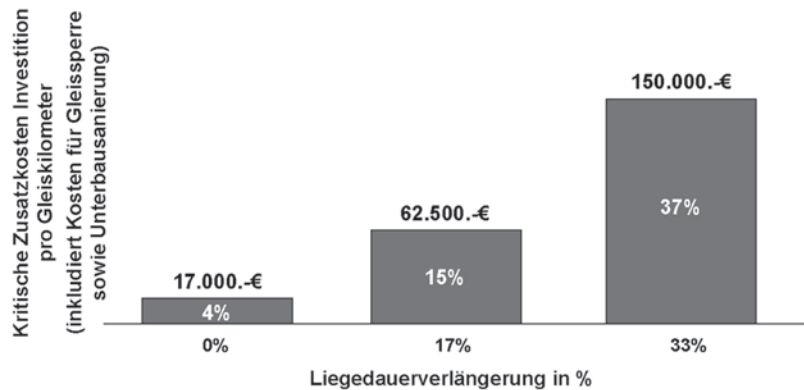
Da Weichen in ihrer Lagegenauigkeit kritischer als freie Streckengleise sind, ist der Einfluss der Unterbauqualität bei Weichen sogar noch etwas höher als bei Gleisen.

Diese dramatischen Ergebnisse erzwingen detaillierte Untersuchungen der Wirtschaftlichkeit von Unterbausanierungen. Dazu werden die Arbeitszyklen von Standardkilometern auf Unterbau verschiedenen Qualitätsniveaus gegenübergestellt. Da der gute Unterbau jedoch erst erstellt werden muss, wird im Arbeitszyklus des Standardkilometers auf gutem Unterbau eine Unterbausanierung eingeführt. Anschließend werden sämtliche Arbeiten der Zyklen inklusive der durch sie verursachten Betriebserschwerisse sowie der Mängelbehebung in ihren Kosten ausgedrückt und damit der Arbeitszyklus in Zahlungsströme übergeführt und anschließend die Differenz der Zahlungsströme der beiden zu vergleichenden Standardkilometer gebildet.

Die Ergebnisse für Weichen und Gleise liefern dieselben Aussagen: unzureichende Unterbauqualitäten sind im Zuge der nächsten Re-Investitionsmaßnahme zu sanieren. Dies ist wirtschaftlich sinnvoll, erfordert jedoch neben dem Einbau einer Tragschicht auch das Herstellen und Warten einer entsprechenden Entwässerung. Liegt eine unzureichende Entwässerung vor, ist in einem ersten Schritt diese zu sanieren. Stabilisiert sich danach das Gleislageverhalten, kann auf weitere Maßnahmen verzichtet werden. Stabilisiert sich das Gleislageverhalten trotz der sanierten Entwässerung jedoch nicht bzw. nur in geringem Maß, ist bei der nächsten Re-Investition der Unterbau zu sanieren. Die Konsequenz dieser Analysen war eine Intensivierung der Unterbausanierungen im Zuge von Re-Investitionen beginnend mit dem Ende der 1990er Jahre.

Die Eindeutigkeit der Ergebnisse führt auch zu einer weiteren wesentlichen Grundsatzentscheidung: Für Strecken auf nicht zufrieden stellendem Unterbau werden keine Instandsetzungs-

Abb. 21.8 Kritische Zusatzkosten für Oberbauinvestition



strategien erarbeitet, da diese keinesfalls geeignet sein können, die durch schlechten Unterbau resultierenden Mehrkosten auszugleichen, allerdings die Gefahr in sich bergen würden, wirtschaftlich sinnvolle Unterbausanierungen zu konterkarieren. Aus diesem Grund beziehen sich alle weiteren Aussagen betreffend Fahrwegstrategien auf Strecken auf gutem Unterbau. Ist dieser nicht vorhanden, so ist er im Zuge der nächsten planmäßigen Re-Investition herzustellen. In besonderen Fällen (sehr schlechter Unterbau und Entwässerungszustand bei gleichzeitig starker Verkehrsbelastung) ist es anzustreben, die Re-Investition mit gleichzeitiger Unterbausanierung vorzuziehen.

Es ist in diesem Zusammenhang nochmals auf die Definition der Unterbauqualitäten hinzuweisen, die das Gesamtverhalten des Unterbaus als Basis hat, und damit zu einem gewichtigen Teil die Aspekte der Wasserableitung im Bahnkörper inkludiert. Die obigen Aussagen zeigen damit, dass Instandsetzungsarbeiten wie Pflege der Entwässerung, also Maßnahmen, die einer geordnete Wasserableitung dienen, eine sehr hohe Bedeutung beigemessen werden sollte, da ein Vernachlässigen dieser Arbeiten zu schlechten Unterbauverhältnissen führt und bei längerfristigen Vernachlässigen diese Verschlechterung des Unterbaus irreversibel ist, d. h. durch eine spätere Drainagepflege nicht saniert werden kann.

Ausgangsqualität

Der bereits erläuterte strikte Zusammenhang zwischen Ausgangsqualität und Instandsetzungsintensität sowie Liegedauer kann sowohl durch die Standardkilometer als auch durch die Daten

des Gleismesswagens bestätigt werden. Damit liegt ein weiteres sehr starkes Indiz für ein Anlagenmanagement vor, das die technisch wirtschaftliche Optimierung durch hohe Qualitätsniveaus zu erreichen versucht. Vergleiche von Standardkilometern mit schwererem oder innovativem Oberbau zeigen, dass ein nennenswerter wirtschaftlicher Spielraum für derartige Oberbauformen besteht. Die entsprechenden Grenzwerte, die kritischen Investitionskosten, sind in Abb. 21.8 in Abhängigkeit der erreichbaren Verlängerungen der Liegedauer dargestellt. Es zeigt sich, dass qualitativere Oberbauformen höhere Investitionskosten rechtfertigen, wenn ihr Einsatz zu einer Verlängerung der Liegedauer führt.

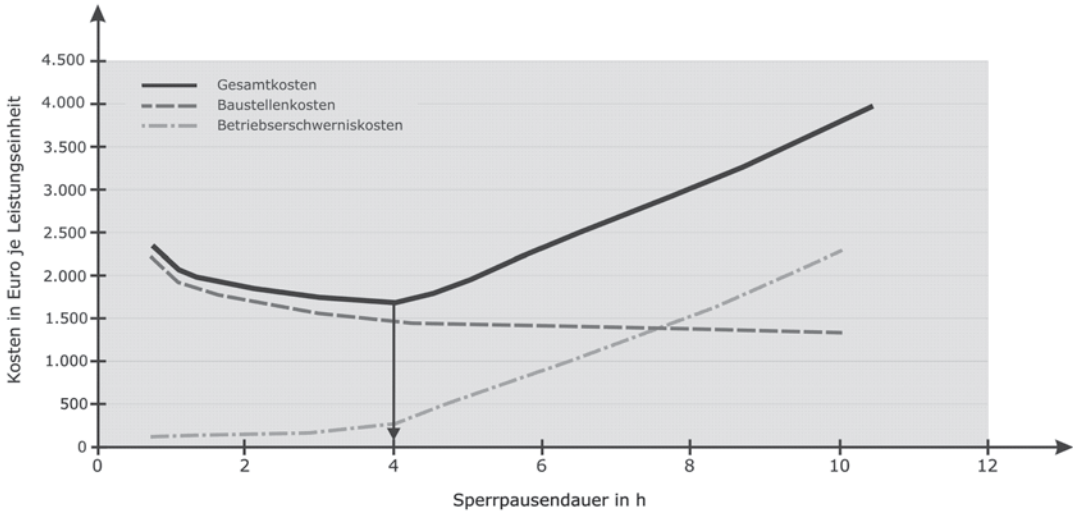
Die Auswertung der kritischen Zusatzkosten für den Oberbau in Abhängigkeit der dadurch zu erwartenden Liegedauerverlängerung bestätigt die vorigen Aussagen. Gelingt es nicht, die Liegedauer zu verlängern, sondern nur Instandsetzungskosten zu reduzieren, bleibt der wirtschaftliche Spielraum mit 4% gering. Andererseits steigen die kritischen Werte mit steigender Liegedauerverlängerung überproportional. Auf zwei reale Auswirkungen dieser Erkenntnisse wird in Stufe 2 näher eingegangen.

Weichendichte

Weichen sind teuer – eine Aussage ohne Neuigkeitswert; die Schärfe der Daten allerdings doch: 1 m Weiche im durchgehenden Hauptgleis verursacht dieselben durchschnittlichen jährlichen Lebenszykluskosten wie 11 m Gleis. Dieser Wert basiert auf Standardweichen in der Geraden, wobei er mit dem Abzweigradius der Weiche leicht variiert. Generell gilt, je größer die Wei-

Tab. 21.3 Vergleich der Lebenszykluskosten Gleis-Weiche

| Weiche | Entspricht auf Basis LCC m Gleis (m) | Länge im Hauptgleis (m) | Faktor |
|-----------------|--------------------------------------|-------------------------|--------|
| EW 190, 1:9 | 340 | 27 | 12,6 |
| EW 300, 1:9 | 380 | 34 | 11,2 |
| EW 500, 1:12 | 450 | 42 | 10,7 |
| EW 1200, 1:18,5 | 650 | 66 | 9,8 |

**Abb. 21.9** Bestimmung der optimalen Bauabschnittslänge

che desto günstiger im Vergleich. Diese Vergleichszahlen sind von Standardkilometer und damit Streckenbelastung weitgehend unabhängig (Tab. 21.3).

Bauabschnittslänge

Die Realisierungskosten von (Re-)Investitions- und Instandsetzungsmaßnahmen hängen in bedeutendem Umfang von der Bauabschnittslänge, und damit der zur Verfügung stehenden Sperrpause ab [13]. Damit ergeben sich zwei gegenläufige Trends: die Laufmeterkosten der Gleisbaumaßnahmen sinken mit steigender Bauabschnittslänge, während die Betriebserschwerternkosten mit steigender Bauabschnittslänge wegen der erforderlichen längeren Sperrpausen steigen. Nachdem zur Bestimmung der Betriebserschwerternkosten ein Kalkulationsmodell vorliegt, kann der Gesamtkostenverlauf bestimmt werden und somit das Gesamtkostenminimum identifiziert werden (Abb. 21.9).

Die Analyse für Österreich zeigt, dass die Sperrpausen trotz Berücksichtigung der Betriebserschwerternkosten generell zu kurz sind. Dies gilt umso mehr, je mehr Großmaschinen im Einsatz sind. Es ist zwar nachvollziehbar, dass immer schnellere Maschinen wegen der kürzeren Sperrpausen eingesetzt werden müssen, ihre Wirtschaftlichkeit könnte jedoch in weit höherem Maß genutzt werden, wenn sie auch entsprechend lange Sperrpausen vorfinden würden. Bei Gleisneulagen wäre ein Umbau von Bahnhof bis Bahnhof anzustreben (Abb. 21.10). Generell könnten beim Umsetzen der optimalen Bauabschnittslängen mit denselben Mitteln rund 20% mehr Bauleistung realisiert werden. In dieser Auswertung ist die Tatsache, dass ein Bauabschnittsanfang- bzw. -ende zumindest einen potentiellen Einzelfehler darstellt, ein stark fragmentiertes Netz daher eine schlechtere Qualität aufweist, noch nicht einmal berücksichtigt.

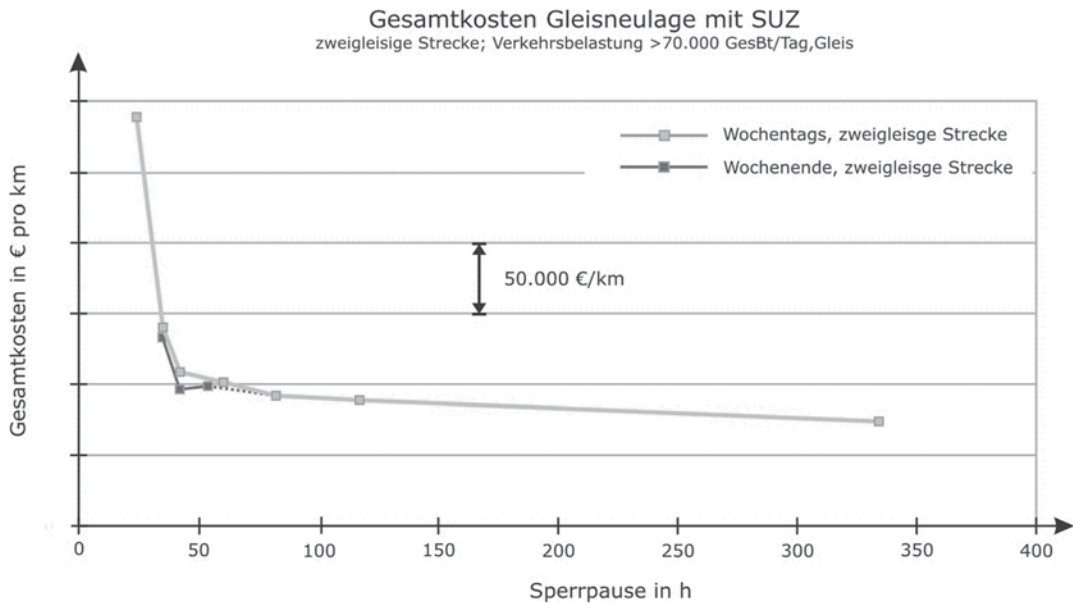


Abb. 21.10 Anzustrebende Baulänge bei Gleisneulage

Dies führt mittelfristig auch zum Absenken der insgesamt benötigten Gleissperren. Die Umsetzung ist jedoch als langfristige Zielsetzung zu verstehen, da durch die gegenwärtig vorhandenen kurzen Sperrungen und damit kurzen Bearbeitungslängen ein sehr stark fragmentiertes Netz vorliegt, das ohne verlorenen Aufwand erst schrittweise wieder zu längeren homogenen Abschnitten geführt werden kann.

Trassierungsradius

Durch die Unterteilung der Standardkilometer in Radienklassen, kann der Zusammenhang zwischen dem Verhalten des Oberbaus und dem Trassierungsparameter Radius dargestellt werden.

Allein die Arbeitszyklen (Abb. 21.11) zeigen die Abhängigkeit der Liegedauer des Oberbaus, der erforderlichen Instandsetzungsintensität für die Gleislagekorrektur und Schienenschleifen von den Krümmungsverhältnissen, bei engen Radien die Notwendigkeit zusätzlichen Schienenwechsels und Zwischenlagenwechsels sowie bei sehr engen Radien die sich wegen des Stoßlückengleises ergebenden spezifischen Instandsetzungserfordernisse.

Diese Abhängigkeiten spiegeln sich in den Kostenzusammenhängen (Abb. 21.12) wider, wobei sich der Radienbereich von 300 m bis 400 m als jener Grenzbereich herausstellt, bei dessen Unterschreiten die Kosten massiv ansteigen, während größere Radien als 600 m ohne Berücksichtigung der RCF-Problematik praktische keine Auswirkungen auf das Kostenbild haben.

Das relativ neue Phänomen der Oberflächenschäden (Head Checks), mit einer Häufung bei Radien von rund 1.500 m, führte im Jahr 2009 [14] zu einer Aktualisierung der Gleisstrategien.

Betrieberschwerniskosten

Da, wie bereits diskutiert, die Betriebserschwerungskosten bei hohen Streckenbelastungen bedeutend sind, sind sie als relevanter Kostentreiber in der Baustellenplanung und der Strategiefindung zu berücksichtigen.

Verkehrsbelastung

Die Oberbaukosten steigen mit der Verkehrsbelastung an, der Anstieg ist jedoch moderat, wie bereits Abb. 21.12 zeigt. Erst bei kleine-

| Südbahn 2 | | R=600m | 2-gleisig | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|--------------|--------|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| GesBIT/Tag,Gleis | Profil | Güte | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 55.000 | 60E1 | 260 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Instandhaltungsarbeit | ND in Jahren | 30 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 |
| Neulage | | 1,0 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Stopfen | alle x Jahre | 3,0 | | | | 1 | | | 1 | | | 1 | | | 1 | | | 1 | | | 1 | | | 1 | | | 1 | | | 1 | | |
| Zusätzlich Teilwechsel | Anzahl in ND | 1,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Schleifen | Anzahl in ND | 1,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Schienenwechsel | Anzahl in ND | 0,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Stosspflege | Anzahl in ND | 0,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Zwischenlagenwechsel | Anzahl in ND | 0,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mängelbehebung | Anzahl in ND | 30,0 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | |

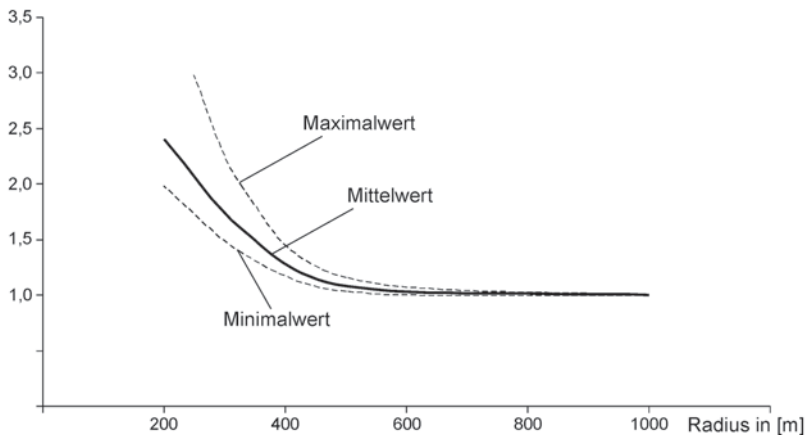
| Südbahn 2 | | 400m<R<600m | 2-gleisig | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|--------------|-------------|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| GesBIT/Tag,Gleis | Profil | Güte | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 55.000 | 60E1 | 260 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Instandhaltungsarbeit | ND in Jahren | 28 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 |
| Neulage | | 1,0 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Stopfen | alle x Jahre | 3,1 | | | | 1 | | | 1 | | | 1 | | | 1 | | | 1 | | | 1 | | | 1 | | | 1 | | | 1 |
| Zusätzlich Teilwechsel | Anzahl in ND | 0,8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Schleifen | Anzahl in ND | 3,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Schienenwechsel | Anzahl in ND | 0,2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Stosspflege | Anzahl in ND | 0,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Zwischenlagenwechsel | Anzahl in ND | 0,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mängelbehebung | Anzahl in ND | 28,0 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |

| Südbahn 2 | | 250m<R<400m | 2-gleisig | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|--------------|-------------|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| GesBIT/Tag,Gleis | Profil | Güte | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 55.000 | 60E1 | 260 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Instandhaltungsarbeit | ND in Jahren | 25 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| Neulage | | 1,0 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Stopfen | alle x Jahre | 2,5 | | | | 1 | | | 1 | | | 1 | | | 1 | | | 1 | | | 1 | | | 1 | | | 1 |
| Zusätzlich Teilwechsel | Anzahl in ND | 1,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Schleifen | Anzahl in ND | 14,0 | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | | | 1 | 1 | 1 | | | 1 | 1 | 1 | 1 | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Schienenwechsel | Anzahl in ND | 2,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Stosspflege | Anzahl in ND | 0,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Zwischenlagenwechsel | Anzahl in ND | 9,0 | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | | | 1 | 1 | 1 | | | 1 | 1 | 1 | 1 | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Mängelbehebung | Anzahl in ND | 25,0 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |

| Südbahn 2 | | R<250m | 2-gleisig | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|--------------|--------|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| GesBIT/Tag,Gleis | Profil | Güte | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 55.000 | 60E1 | 260 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Instandhaltungsarbeit | ND in Jahren | 23 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 |
| Neulage | | 1,0 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Stopfen | alle x Jahre | 1,5 | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Zusätzlich Teilwechsel | Anzahl in ND | 2,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Schleifen | Anzahl in ND | 13,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Schienenwechsel | Anzahl in ND | 6,5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Stosspflege | Anzahl in ND | 23,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Zwischenlagenwechsel | Anzahl in ND | 0,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mängelbehebung | Anzahl in ND | 23,0 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |

Abb. 21.11 Arbeitszyklen Oberbau in Abhängigkeit der Trassierungsradien

Abb. 21.12 Lebenszykluskosten Oberbau in Abhängigkeit der Trassierungsradien



ren Radien gewinnt die Verkehrsbelastung an Bedeutung.

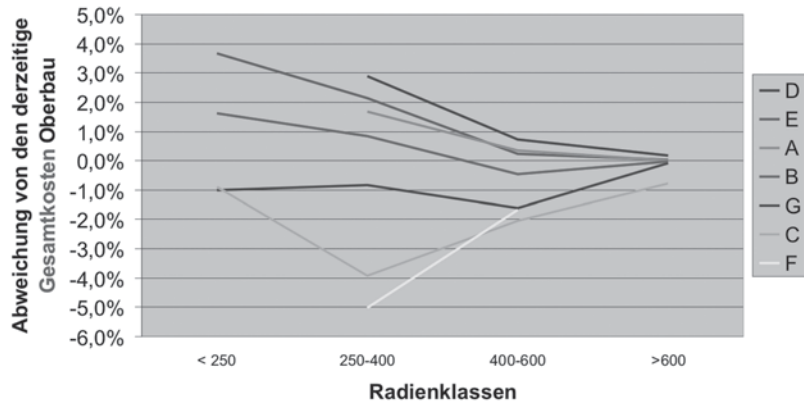
Dieser Zusammenhang setzt jedoch voraus, dass der vorliegende Oberbau für die steigende Verkehrsbelastung grundsätzlich technisch geeignet ist; andernfalls ergeben sich sprunghafte Kosten zufolge einer erforderlichen Re-Investi-

tion, die bestenfalls durch hohe Instandsetzungsintensität auf der Zeitachse verschoben werden kann.

Qualität des rollenden Materials

Untersuchungen zur Kostenrelevanz unterschiedlicher Konstruktionsprinzipien von Trieb-

Abb. 21.13 Lebenszykluskosten Oberbau in Abhängigkeit verschiedener Triebfahrzeuge



fahrzeugen bestätigen mit einem Einfluss der Lebenszykluskosten von $\pm 5\%$ die Bedeutung der Qualität des Rollenden Materials für die Kosten des Oberbaus. In Abb. 21.13 sind die Abweichungen bezogen auf das Triebfahrzeug E1044 der ÖBB dargestellt. Dieser Einfluss ist umso bemerkenswerter, als hier nur unterschiedliche Qualitätsniveaus von neuen Triebfahrzeugen bewertet wurden und damit Zusatzbelastungen beispielsweise durch Flachstellen noch gar nicht in die Beurteilung eingehen.

Dieser Zusammenhang hat mit 01.01.2005 Eingang in das Infrastrukturbenutzungsentgelt der ÖBB gefunden, das in Abhängigkeit von den Rad-Schiene Kräfte von Triebfahrzeugen im Neuzustand die Triebfahrzeuge klassifiziert und im Rahmen eines aufwandsneutralen Bonus-Malus-Systems für Triebfahrzeuge mit günstigen Laufeigenschaften (geringe Achslast aber auch geringe ungefederte Massen und damit geringere dynamische Belastung des Oberbaus, Qualität der Radialeinstellbarkeit der Achsen in Kurven und damit gute Kurvenauffähigkeit) die Benützungsbüher reduziert, für Fahrzeuge mit ungünstigen Laufeigenschaften jedoch erhöht [12].

21.3.1.6 Erarbeitung von Fahrwegstrategien

Die Ergebnisse der Analyse der Kostentreiber können für Gleise und Weichen in sehr einfacher Weise zusammengefasst werden:

- **Eine hohe Ausgangsqualität des Ober- und Unterbaus ist der Schlüssel zum Erfolg.**
- **Fahrwegstrategien sollten auf eine Verlängerung der Liegedauer abzielen.**

Damit ist Qualitätssteigerung als die wirtschaftlich Erfolg versprechende Stoßrichtung von Fahrwegstrategien identifiziert.

Im Rahmen der wirtschaftlichen Bewertungen wurden diese noch sehr generellen Aussagen für verschiedene Standardkilometer und Standardweichen sowohl im Bereich Investition als auch Instandsetzung spezifiziert. Dazu wurden die Arbeitszyklen der Standardkilometer für verschiedene Oberbauvarianten, wie Schienenprofile (Abb. 21.14), Schienenstahlgüten und Schwellenarten erarbeitet und wirtschaftlich gegenüber gestellt.

Die Bestimmung der Annuitäten kann auf Basis der sich aus den Zyklen ergebenden Zahlungsströme direkt erfolgen. Für die Berechnung des Internen Zinssatzes der Zusatzinvestition ist der kürzere Zyklus durch Ansetzen einer weiteren Neulage und Berücksichtigung des Restwerts auf die größere Liegedauer auszudehnen. Die beiden dargestellten Arbeitszyklen wurden für einen Standardkilometer erarbeitet, der durch folgende Angaben charakterisiert werden kann: es handelt sich um eine 2-gleisige Strecke mit Radien zwischen 400 und 600 m und einer täglichen Gleisbelastung von 80.000 GesBt, wobei in einem Fall Schienen des Profils 60E1, im anderen Schienen des Profils 49E1 eingebaut sind. Dieser Unterschied wirkt sich in unterschiedlichem Stopfbedarf und abweichender Liegedauer aus, zudem ist wegen Erreichen der Grenzwerte der Dauerfestigkeit der Schiene 49E1 ein zusätzlicher Schienenwechsel einzuplanen.

Die Gegenüberstellung der verschiedenen Optionen für die verschiedenen Standardkilometer

| Westbahn 2 | | 400m<R<600m | 2-gleisig | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|--------------|-------------|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|---|---|----|-----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| GesBT/Tag,Gleis | Profil | Güte | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 80.000 | 60E1 | 260 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Instandhaltungsarbeit | ND in Jahren | 23 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 |
| Neulage | | 1,0 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Stopfen | alle x Jahre | 2,1 | 1 | 1 | | 1 | | 1 | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | |
| Zusätzlich Teilwechsel | Anzahl in ND | 2,0 | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | 1 | | | | |
| Schleifen | Anzahl in ND | 4,0 | | | | | 1 | | | | 1 | | | | | | | | | | 1 | | | 1 | |
| Schienenwechsel | Anzahl in ND | 0,3 | | | | | | | | | | | | 0,3 | | | | | | | | | | | |
| Stosspflege | Anzahl in ND | 0,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Zwischenlagenwechsel | Anzahl in ND | 0,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mängelbehebung | Anzahl in ND | 23,0 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | |

| Westbahn 2 | | 400m<R<600m | 2-gleisig | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|--------------|-------------|-----------|-----|-----|-----|-----|---|---|---|---|---|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| GesBT/Tag,Gleis | Profil | Güte | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 80.000 | 49E1 | 260 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Instandhaltungsarbeit | ND in Jahren | 18 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Neulage | | 1,0 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | |
| Stopfen | alle x Jahre | 2,1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Zusätzlich Teilwechsel | Anzahl in ND | 2,0 | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | 1 | | | | |
| Schleifen | Anzahl in ND | 4,0 | | | | | | | 1 | | | | | | | 1 | | | | 1 | | | | | |
| Schienenwechsel | Anzahl in ND | 0,3 | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | |
| Stosspflege | Anzahl in ND | 0,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Zwischenlagenwechsel | Anzahl in ND | 0,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mängelbehebung | Anzahl in ND | 23,0 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |

Abb. 21.14 Arbeitszyklen Oberbau für verschiedene Schienenprofile

bzw. Standardweichen erlaubt die Bestimmung der für die verschiedenen Randbedingungen günstigsten Option, womit die Investitionsstrategie formuliert werden kann.

Dass sowohl im Zug der Investitionsstrategien als auch der Instandsetzungsstrategien in keinem Fall sicherheitskritische Strategien in die Untersuchung Eingang gefunden haben, sei als Selbstverständlichkeit nur am Rande erwähnt.

Auf einen Widerspruch der Arbeitszyklen, sei noch hingewiesen. Nach Aussagen der Instandsetzungsverantwortlichen werden Gleise und Weichen zuständigkeitsabhängig gewartet. Gleichzeitig ist das nicht lineare Qualitätsverhalten unumstritten. Diese beiden Aussagen müssten zu sich stetig verkürzenden Eingriffsintervallen führen, die Analysen zeigen jedoch generell oder zumindest über weite Zeiträume konstante Zeitabstände zwischen Instandsetzungsmaßnahmen gleicher Art. Damit muss die effektive Zustandsabhängigkeit der gegenwärtig praktizierten Instandsetzung angezweifelt werden. Diese Zweifel konnten die erst im Rahmen der Arbeiten zur Analyse des Verhaltens der Gleislagequalität über der Zeit ausgeräumt werden konnten.

Ergebnisse: grundlegende Investitionsstrategien

Die Ergebnisse der Analysen führten im Jahr 2000 für Gleise und 2001 für Weichen zur Formulierung einer grundsätzlichen Oberbaustrategie (Tab. 21.4). Diese umfasst Investition und Instandsetzung, da sie nur unter Berücksichtigung der Lebenszykluskosten bestimmt werden kann. Im Folgenden wird jedoch das Teilergebnis Investitionsstrategie und Instandsetzungsstrategie gesondert diskutiert.

Die auf den beschriebenen LCC-Analysen basierende Investitionsstrategie ist im Jahr 2001 in Kraft getreten: Im Hauptnetz (Gleisbelastungen >6,5 Mio. Jahrestonnen) bei Radien größer 250 m sprechen alle Ergebnisse für den Einsatz eines Oberbaus mit durchgehend verschweißten Schienen des Profils 60E1 auf Betonschwellen. Für Radien kleiner 250 m sprechen die Ergebnisse tendenziell für den Einsatz eines Oberbaus mit leichteren Schienen der Profile 54E2 oder 49E1 auf Holzschwellen.

Bei Radien unter 500 m bzw. Abschnitten mit massivem Seitenverschleiß und/oder Oberflächenschäden kommen kopfgehärtete Schienen zum Einsatz. Die Strategien im Ergänzungsnetz entsprechen bei Verkehrsbelastungen über 10 Mio. Jahrestonnen jenen den Hauptnetzes, bei Gleisbelastungen zwischen 3 und 10 Mio. Jahrestonnen erfolgt der Übergang auf altbrauchbare Schienen aber neue Schwellen, bei Gleisbelastungen unter 3 Mio. Jahrestonnen werden altbrauchbare Schienen und altbrauchbare Betonschwellen oder neue Holzschwellen eingebaut.

Bei Nebenbahnen ist das Ziel durch Ausbau und Austausch exotischer Formen als Standard

Tab. 21.4 Investitionsstrategie ÖBB [15]

| Kernnetz | Ergänzungsnetz | Nebenbahnen |
|---|---|--------------------------------|
| <i>Gleisränge a und b</i> | <i>Gleisränge a und b</i> | <i>Gleisränge a, b und c</i> |
| <i>Schwellenabstand 600 mm</i> | <i>Schwellenabstand 600 mm</i> | <i>Schwellenabstand 650 mm</i> |
| Neustoffe | | Altstoffe |
| R \geq 250 m | Belastung > 10 Mio. Jahrestonnen analog Kernnetz | Schienen 49E1 (54E2) |
| Schiene 60E1 auf Betonschwellen | Belastung zwischen 3 und 10 Mio. Jahrestonnen | Weichen analog |
| Weichen 60E1 auf Betonschwellen | Schiene 60E1 vorzugsweise altbrauchbar auf | |
| bei V > 200 km/h mit beweglichem Herz | Betonschwellen oder Schiene 54E2 bzw. 49E1 neu | |
| R < 250 m | Weichen analog | |
| Schiene 54E2, (49E1) auf Holzschwellen für Radien < 350 m und Bereiche mit massivem Seitenverschleiß und/oder Oberflächenschäden kopfgehärtete Schienen | Belastung < 3 Mio. Jahrestonnen Schiene 54E2 (49E1) alt, Schwellen Beton alt oder Holz neu | |
| | Weichen analog | |
| <i>Gleisrang c</i> | <i>Gleisrang c</i> | |
| <i>Schwellenabstand 650 mm</i> | <i>Schwellenabstand 650 mm</i> | |
| Altstoffe | Altstoffe | |
| Schiene 54E2, (49E1) | Schiene 54E2, (49E1) | |
| Weichen analog | Weichen analog | |
| Ergänzung 2009 für Gleisrang a | | |
| Schwellenbesohlung bei: tägliche Gleisbelastung > 30.000 GesBt. und/oder V > 160 km/h oder R < 600 m | | |
| Ist der Streckenabschnitt besohlt, werden auch die Weichen besohlt | | |

Altstoffe einzubauen, wobei primär Schienen der Form 49E1 zum Einsatz kommen.

Weichen werden grundsätzlich in den analogen Schienenformen und jedenfalls auf den entsprechenden Schwellen verlegt, wobei bei neuen Weichen generell Mangangussherzstücke (Ausnahme Weichen mit Schienen der Form 49E1) und kopfgehärtete Zungenvorrichtungen eingesetzt werden.

Die Ergebnisse hängen weder vom Niveau der Lohnkosten oder der Betriebserschwerungskosten, noch vom realen kalkulatorischen Zinssatz ab und sind daher auf Bahnen mit gleichen technischen Randbedingungen auch bei unterschiedlichen Kostenstrukturen übertragbar. Die weitgehende Unabhängigkeit vom Lohnkostenniveau wurde durch die Variation der Lohnkosten von 15 %

des österreichischen Niveaus auf 200 % nachgewiesen, die Unabhängigkeit von den angesetzten Betriebserschwerungskosten wurde sogar für eine Variationsbreite von 0 % bis 500 % überprüft. Für die kalkulatorischen Zinssätze wurde die Stabilität der Ergebnisse bei einem Zinssatz von 0 % nachgewiesen, der kritische Wert für hohe Zinssätze mit real 20 % als irrelevant identifiziert. Die Unabhängigkeit von Lohnkosten, Betriebserschwerungskosten und kalkulatorischen Zinssätzen gilt für den Vergleich verschiedener Arbeitszyklen untereinander und damit für die Auswahl der anzuwendenden Strategie, d. h. in diesem Fall der einzusetzenden Stoffe. Bei der Bestimmung optimierter Arbeitszyklen wirken sich die angesprochenen Einflussgrößen natürlich aus: die Lohnkosten in Bezug auf den anzustrebenden

Grad an Mechanisierung der Oberbauarbeiten, die Betriebserschwerungskosten auf die Leistungsfähigkeit der einzusetzenden Maschinen und die kalkulatorischen Zinsen vor allem auf die akzeptablen Kosten der Gleisneulage, das alles jedoch ohne die aus wirtschaftlicher Sicht zu bevorzughenden Stoffe zu beeinflussen.

Der Forderung nach hoher Ausgangsqualität wird bei Strecken mit hoher Verkehrsbelastung (Kern- und Ergänzungsnetz) erforderlichenfalls durch eine schienengebunden durchgeführte Unterbausanierung sowie grundsätzlich den Einsatz von kontinuierlich arbeitenden Gleisumbaumaschinen, den standardisierten Einsatz des Dynamischen Gleisstabilisators nach dem Stopfen, dem Verschweißen und Schleifen der Neuschienen als Teil der Neulage, sowie einem nach einem halben Jahr bis einem Jahr nach Neulage durchgeführten Stabilisierungsstopfen. Beim bei geringeren Verkehrsbelastungen vorgesehenen Einsatz von Schienen und Schwellen in Zweitlage wird die hohe Ausgangsqualität durch eine zentrale Qualitätskontrolle der altbrauchbaren Stoffe sichergestellt.

Bei Weichen wird dem Unterbau eine noch verstärkte Bedeutung beigemessen, indem bei Weichenneulagen Unterbausanierungen grundsätzlich vorzusehen sind, außer sie sind nachweislich nicht erforderlich.

Eine banal klingende, aber durch Betriebsbedingungen nicht immer einfach umsetzbare Strategie ist es, nur Streckenabschnitte, in denen die Arbeiten zur Gänze abgeschlossen sind, in Betrieb zu nehmen und damit Provisorien auf Zeit zu verhindern. An Messschrieben kann eindrücklich gezeigt werden, dass eine grundsätzlich hohe erreichbare Ausgangsqualität durch das in Betrieb nehmen der Strecke mit verlaschten Schienen und erst späterem Verschweißen eine deutlich reduzierte Ausgangsqualität zur Folge hat, die sich über die gesamte Liegedauer in immer wieder auftretenden Einzelfehlern an den Schweißstellen äußert.

Im Jahr 2009 wurden die Oberbaustrategien zufolge massiver Kostensteigerungen der Einheitskosten aller Gleisarbeiten und aktueller Entwicklungen und Innovationen aktualisiert [14]. Dabei zeigte sich, dass die Kostenänderungen keine Änderungen der Strategien ergaben. Zu-

folge neuer Phänomene, Erkenntnisse und Innovationen ergaben sich jedoch Änderungen der Strategie:

- Der Einsatzbereich höherer Schienenstahlgüten (350HT) wurde maßgeblich erweitert. Wurden kopfgehärtete Schienen davor ausschließlich zur Reduktion des Seitenverschleißes eingesetzt und damit auf Radienbereiche unter 500 m limitiert, erweiterte sich ihr Einsatzbereich bei hohen Gleisbelastungen zufolge des reduzierten Risswachstums von Head Checks bei höheren Schienenstahlgüten auf Radien von 3.000 m. Bei kleinen Belastungen trat keine Änderung ein.
- Zuzufolge der positiven Erfahrungen mit Schwellenbesohlungen sowohl in technischer als auch wirtschaftlicher Hinsicht sind Schwellenbesohlungen seit 2009 im Zuge von (Re-) Investitionen bei täglichen Gleisbelastungen über 30.000 GesBt grundsätzlich vorzusehen, ebenso bei mit mehr als 160 km/h befahrenen Streckenabschnitten oder bei Radien unter 600 m. Wird ein Streckenabschnitt mit besohlenen Gleisschwellen ausgestattet, werden die Weichen dieses Streckenabschnittes ebenso besohlt. Derzeit (2012) sind rund 700 km Gleis und über 500 Weichen im Netz der ÖBB besohlt. Für 2013 ist geplant, den Einsatzbereich durch eine Reduktion der erforderlichen Gleisbelastung weiter auszudehnen.
- Zuzufolge der in der Dissertation von Auer [16] ausgearbeiteten Erkenntnisse wird im engen Bogen ein schwerer Oberbau mit geänderter Schienenbefestigung und Zwischenlage sowie Schwellenbesohlung vorgesehen.

Ergebnisse: grundlegende Instandsetzungsstrategien

Vor Definition neuer Instandsetzungsstrategien sind die bei der Erarbeitung der Zyklen angesetzten Arbeitshypothesen zu überprüfen.

Zur Überprüfung der Philosophie einer Gleisneulage mit anschließender Instandsetzung im Gegensatz zu einem permanenten Einzelteilewechsel werden diese beiden Strategieansätze miteinander verglichen. Da für stark belastete Strecken zufolge der erreichbaren Qualitäten permanenter Teilewechsel nicht in Frage kommt, wurde der Vergleich für eine schwach belastete

ingleisige Nebenbahn mit nur 2.000 GesBt täglicher Gleisbelastung durchgeführt. Trotz dieser geringen Belastung stellt sich eine zyklische Instandsetzung als die wirtschaftlichere Option heraus, mit der einen Einschränkung, dass sich die Gleisneulage von den untersuchten Standardkilometern abhängig erst nach 15 bis 20 Jahren amortisiert, eine Dauer, die aber deutlich kürzer ist als die Liegedauer des Oberbaus in derartigen Standardkilometern. Dennoch birgt dieses Ergebnis eine Unsicherheit, nämlich die Frage, ob die Nebenbahn in 20 Jahren überhaupt noch existent sein wird. Aus dieser Überlegung ergibt sich als einziger Anwendungsbereich für die Strategie des permanenten Einzelteilewechsels das Überbrücken einer Zeitspanne bis zur endgültigen Einstellung des betrachteten Streckenabschnitts. Damit kann jedoch gleichzeitig die grundlegende Strategie einer auf Investition und anschließender Instandsetzung basierenden Fahrwegstrategie bestätigt werden.

Die zweite zu überprüfende Hypothese besagte, dass die wirtschaftliche Liegedauer bei Strecken auf gutem Unterbau durch das Schotterbett bestimmt wird, falls nicht einzelne Komponenten versagen. Zur Überprüfung dieser Hypothese werden Zyklen diskutiert, bei denen am Ende der so definierten Liegedauer eine Schotterbettreinigung vorgesehen ist, wodurch eine Verlängerung der Liegedauer erreicht werden kann. Die Frage ist nun, ob die Verlängerung der Liegedauer ausreicht, um die Schotterbettreinigung wirtschaftlich zu rechtfertigen. Die Abschätzung der Fachleute, wonach durch eine Schotterbettreinigung mit einer Verlängerung der Liegedauer des Oberbaus um 25 % zu rechnen sei, stellt sich als nicht ausreichend heraus, die Kosten einer Schotterbettreinigung zu rechtfertigen. Daher wurde im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse mittels der Methode der kritischen Werte jene Liegedauerverlängerung bestimmt, die zu einem wirtschaftlich stabil positiven Ergebnis (Basis: IRR=5%) führt. Diese zu fordernde Verlängerung der Liegedauer beträgt 40 % bis 50 %, ein Wert der als nicht realistisch angesehen wird und oft gleichzeitig einen zusätzlichen Schienenwechsel erfordern würde, der den kritischen Wert über die 50 % hinaus anwachsen ließe. Für Weichen ergab die Überprüfung dieser Hypothese zwar geringere

erforderliche, auf die Schotterbettreinigung zurückzuführende Verlängerungen der Liegedauer, die jedoch ebenfalls als unrealistisch eingestuft werden müssen. Damit kann sowohl für Gleise als auch für Weichen die Hypothese der Limitierung der Liegedauer durch das Schotterbett beim Einsatz guter Schotterqualitäten und für Strecken auf gutem Unterbau bestätigt werden.

Diese Auswertung führte zu zwei Konsequenzen: Zum einen wurde die Schotterbettreinigung auf Ausnahmefälle, wie Abschnitte mit Unterbauproblemen oder Sonderfälle (z. B. erhöhte Verschmutzung des Schotterbetts durch Windfracht) reduziert, ohne jedoch die Schotterbettreinigung als integralen Bestandteil der Gleis- bzw. Weichenneulage in Frage zu stellen. Zum anderen wurden die Forschungsaktivitäten zur Entwicklung von Schotterbett schonenden Oberbautypen verstärkt.

Ein neuer Aspekt ergibt sich bei Strecken, die mit Geschwindigkeiten über 200 km/h befahren werden. Durch die in diesem Fall strengeren Anforderungen an die Ebenheit der Gleise (reduzierte Standardabweichung vertikal) ist das Stopfen als Lagekorrektur öfter erforderlich. Diese häufigeren Instandsetzungsmaßnahmen sind einerseits erforderlich, reduzieren in einem Standardgleis (d. h. einem Gleis ohne Schwellenbesohlung) die Nutzungsdauer des Oberbaus, da es nach jeder Durcharbeitung zu gewissen Anfangssetzungen und damit verbundenem Schotterbruch kommt. Aus diesem Grund ist die Schotterbettreinigung die seitens der Instandsetzung mögliche Reaktion auf gesteigerte Geschwindigkeiten.

Für schwach belastete Strecken wurde untersucht, ob ein konzentrierter Einzelschwellenwechsel zur Verlängerung der Liegedauer geeignet sein kann. Für diesen Ansatz konnte ein Einsatzbereich bei Strecken mit einer Verkehrsbelastung unter 5.000 Tonnen pro Tag identifiziert werden, wenn bei derartigen Strecken beispielsweise die Schwellen nur in engen Bögen getauscht werden, um damit die Liegedauer des Oberbaus in größeren Abschnitten zu verlängern. Für stärker belastete Strecken sollte Einzelschwellenwechsel ein auf Einzelfälle beschränktes Übel bleiben (falls eine Neulage zu dem erforderlichen Zeitpunkt nicht umsetzbar ist) und keineswegs eine Strategie darstellen.

Für Weichen in stark belasteten Strecken kann der Wechsel des Schwellensatzes nicht vorge schlagen werden, da die Fahrbahn der Weiche bei starker Verkehrsbelastung zu dem Zeitpunkt, zu dem ein Wechsel des Schwellensatzes erforderlich wird, keine ausreichenden Verschleißreserven mehr aufweist. Bei Weichen in schwach belasteten Strecken auf Holzschwellen stehen diese Verschleißreserven jedoch zur Verfügung, womit sich der Wechsel des Schwellensatzes in diesen Fällen als eine die Liegedauer verlängernde und damit wirtschaftliche Maßnahme herausstellt.

Das grundsätzliche Ziel, von längeren zusammenhängend zu bearbeitenden Abschnitten folgt allein aus der damit erreichbaren Effizienzsteigerung des Maschineneinsatzes, wobei das monetäre Bewerten von Betriebserschwerungskosten hier eine streckenspezifische Optimierung erlaubt.

Als Negativszenario wurde auch das Szenario einer deutlichen Instandsetzungsreduktion, sowohl für Weichen als auch für Gleise, untersucht. Beide Fälle stellen sich als extrem unwirtschaftlich dar, da die Reaktion des Oberbaus bzw. der Weiche auf eine unzureichende Instandsetzung nur eine Reduktion der Liegedauer sein kann. Wenn die Alarmsignale, wie eine deutlich beschleunigte Verfallskurve nach den Instandsetzungsmaßnahmen erkannt werden, ist es jedoch meist nicht mehr möglich, die Liegedauerreduktion durch dann wieder intensivierte Instandsetzungsmaßnahmen zu verhindern. In den einfach erzielbaren Einsparungen und dem langsamen, anfangs kaum merkbaren Reagieren des Oberbaus auf unzureichende Instandsetzung gleichzeitig aber dem unwiderruflichen Verlust an Liegedauer („Gedächtnis des Gleises“), liegt die Gefahr der Strategie der Reduktion der Instandsetzung. Das Herantasten an die gerade noch akzeptable Reduktion der Instandsetzung in der Praxis, und damit das Identifizieren der eigentlich nicht erforderlichen Instandsetzung, die bei Wegfall nicht automatisch zu einer Verkürzung der Liegedauer führt, ist auch ohne Unterschreiten erforderlicher Sicherheitsstandards, mit einem hohem wirtschaftlichem Risiko verbunden und kann daher nicht empfohlen werden.

Verschiedene Analysen und Diskussionen erlaubten bereits in der Stufe 1 die Formulierung

grundsätzlicher Fahrwegstrategien, zeigen aber gleichzeitig die Grenzen dieser Methodik auf. So zeigt der Vergleich verschiedener Handlungsalternativen, dass das Instandhalten eines Gleises nahe den sicherheitsrelevanten Grenzwerten zu häufigen, schwer abstimmbaren Instandsetzungsmaßnahmen sowie Störungen führt, und allein aus diesen Gründen nicht wirtschaftlich ist. Die Eingriffsschwelle stellt damit offensichtlich eine für eine weitergehende Optimierung von Fahrwegstrategien bedeutende Stellschraube dar. Diese kann jedoch durch Auswertungen der Erfahrung allein nicht exakt genug gefasst werden.

Durch den Vergleich der Instandsetzungsintensitäten verschiedener Standardkilometer konnten die Stopfintervalle in Teilen des Netzes reduziert werden, ohne Gefahr zu laufen, die Liegedauer zu verkürzen, jene für das Schienenschleifen aber zu erhöhen. Ein optimaler Stopfzyklus oder Schleifzyklus kann jedoch auf Basis der Vergleiche verschiedener Zyklen nicht eruiert werden.

Die Identifikation nicht der wirtschaftlicheren sondern der wirtschaftlichen Instandsetzungszyklen ist der maßgebliche Grund für den Versuch einer mathematischen Beschreibung und damit Prognose des Gleisverhaltens, die praktisch zeitgleich mit der Stufe 1 des Projekts Strategie Fahrweg gestartet wurde.

21.3.2 Forschungen zum Qualitätsverhalten des Oberbaus

Forschungen zum Qualitätsverhalten stehen am Anfang vor der Frage, was eigentlich wirklich unter Qualität des Oberbaus zu verstehen und welches Qualitätsniveau genau anzustreben sei.

Aus Kundensicht sind der Fahrkomfort und damit die Gleislagequalität das wesentliche Qualitätskriterium, aus Sicht der Verantwortlichen ist die Einhaltung von sicherheitsrelevanten Grenzwerten, wie denen für Verwindung und Spurweite, oberstes Gebot.

Die Arbeiten zur Optimierung der Fahrwegstrategien beschäftigen sich grundsätzlich nicht mit sicherheitsrelevanten Grenzwerten, da bei deren Überschreiten nicht Strategien sondern das rasche Setzen von Maßnahmen erforderlich

ist. Da das Bekämpfen von kritischen Zuständen allein wegen der geringen Planbarkeit der Maßnahmen nicht das Ziel der Optimierung von Fahrwegstrategien sein kann, sondern alle bisherigen Auswertungen die Bedeutung eines stabilen hohen Qualitätsniveaus unterstreichen, schließt eine ideale Anwendung optimierter Fahrwegstrategien das Überschreiten von sicherheitsrelevanten Zuständen aus. Da Idealzustände aber die unangenehme Eigenschaft haben, zumindest nicht zur Gänze real zu sein, darf die Implementierung von verbesserten Fahrwegstrategien keinen negativen Einfluss auf die Messung und Auswertung sicherheitsrelevanter Gleisdaten haben.

Für die Beschäftigung mit Fahrwegstrategien bleibt damit die Gleislagequalität der relevante Qualitätsbegriff.

21.3.2.1 Gleislagequalität

Die Identifikation der Gleislagequalität als wesentlicher Einflussgröße muss sofort die Frage nach dem Messen der Gleislagequalität nach sich ziehen, und diese wiederum die Frage nach der Analyse der Messdaten und deren sinnvoller Aufbereitung.

Fehler in der Gleislage werden nicht in jedem Fall als störend empfunden, z. B. wenn das Gleis parallel zu einer Solllage liegt. Sie werden erst empfunden, wenn das Fahrzeug waagrechte, senkrechte oder drehende Lageveränderungen mitmachen muss, wobei diese in einem schnell fahrenden Fahrzeug stärker empfunden werden als in einem langsam fahrenden, weil im ersteren die Lageveränderungen rascher vor sich gehen, die Beschleunigungen daher größer sind. Die Beschleunigungen selbst sind dennoch als Maß zur Beschreibung der Qualität nicht verwendbar, da auch im idealen Gleis im Bogen Beschleunigungen zufolge des Überhöhungsfehlbetrags auftreten, ohne dass es sich dabei um einen Lagefehler im Bogen handelt. Aus diesem Grund wird die Differenz der Beschleunigungen als Bewertungsgröße herangezogen. Diese ursprünglich bei den ÖBB verwendete MDZ-Ziffer ist eine Qualitätsziffer, die den Forschungen zugrunde gelegt wird. Das Gleisanalysesystem verfolgt dazu die räumlichen Beschleunigungsdifferenzen am Fahrzeugschwerpunkt, wobei ein weitgehend verein-

fachtes Fahrzeugmodell verwendet wird. Aus der berührungslos vermessenen Gleisgeometrie wird mathematisch durch Einbeziehung der Fahrgeschwindigkeit in Form der zulässigen Streckenhöchstgeschwindigkeit ein Beschleunigungsgeschehen dargestellt, wobei der Messpunktabstand zur Bestimmung der Gleisgeometrie 25 cm beträgt. Berechnungen aus Eigenschaften von Federn und Dämpfern zeigen einen unterproportionalen Einfluss der Geschwindigkeit der Funktion $(V_2/V_1)^{0,65}$ [17]. Weitere Berechnungen auf Basis von Leistungsdichtespektren der Gleislage bestätigten diesen Zusammenhang [17]. Die Beschleunigungsdifferenzen werden räumlich, d. h. vektoriell für eine bestimmte Gleislänge in Form eines Mittelwerts, des MDZ-Wertes beschrieben. Traditionell wurde als Länge dabei 500 m gewählt.

Die Größe „Beschleunigungsdifferenzen“ zur Beschreibung der Gleislagequalität zeigt auch deutlich, dass die Kontinuität der Gleislage ein wesentliches Qualitätskriterium ist, auf dessen Realisierung schon in der (Re-)Investition Bedacht genommen werden soll, indem Unstetigkeitsstellen (z. B. in den Steifigkeiten) möglichst verhindert oder über eine gewisse Länge ausgeglichen werden sollten (z. B. Brückenwiderlager, Übergang von Schotteroberbau auf Feste Fahrbahn, Übergang Tunnel–Erddamm), da diese Punkte anderenfalls potenzielle Einzelfehler mit erhöhtem Instandsetzungsbedarf darstellen. Der Bedeutung der Gleismäßigkeit wird zusätzlich durch den Einsatz kontinuierlich arbeitender Maschinen im Zuge der (Re-)Investition wie auch der Instandsetzung Rechnung getragen.

Eine wesentliche Anforderung an Qualitätsmesswerte ist die Wiederholgenauigkeit, die neben dem Messsystem selbst stark von der Genauigkeit der Positionsbestimmung abhängt. Der Messwagen EM250 der ÖBB verfügt über ein dGPS (differential Global Positioning System), ein Satellitennavigationssystem, das eine hohe Positionierungsgenauigkeit erlaubt, womit aus Sicht der Genauigkeit eine Verkürzung des betrachteten Gleisabschnittes von 500 m möglich wird.

Die Vorteile der Qualitätsziffer „MDZ“ sind damit:

- Die Qualitätsziffer beschreibt die Änderungen der Beschleunigungen im Fahrzeugschwerpunkt, womit die Anteile der Höhenfehler, Lagefehler und Verwindungsfehler auf physikalischer Basis zu einer Auswirkung, der räumlichen Änderung der Beschleunigungen zusammengefasst werden. Eine Gewichtung verschiedener Gleislagefehler ist daher nicht erforderlich.
- Die zulässige Geschwindigkeit ist integraler Bestandteil der Auswertung. Identische Gleislagefehler auf Strecken mit unterschiedlichen Streckenhöchstgeschwindigkeiten führen zu unterschiedlichen Beschleunigungen, damit zu unterschiedlichen Beschleunigungsdifferenzen und unterschiedlichen MDZ-Werten. Damit berücksichtigt die MDZ-Ziffer durch Berücksichtigung der Streckenhöchstgeschwindigkeit die Tatsache, dass ein langsam befahrener Gleislagefehler für den Komfort unkritisch, in einer Strecke mit einer hohen zulässigen Geschwindigkeit jedoch bereits inakzeptabel sein kann.
- Durch den funktionalen Eingang der Geschwindigkeit in der Form $(V_2/V_1)^{0,65}$ ist die Messgeschwindigkeit nicht relevant, da alle Messergebnisse für verschiedene Geschwindigkeiten umgerechnet werden können. Dies ist eine Voraussetzung für den wirtschaftlichen Einsatz des Messwagens, der damit in Züge mit unterschiedlichen Fahrgeschwindigkeiten eingeordnet werden kann.
- Die Möglichkeit die Qualitätsziffer für beliebige Geschwindigkeitsniveaus umrechnen zu können, kann auch dazu verwendet werden, zur Frage etwaiger Erhöhungen der Streckenhöchstgeschwindigkeit aus Sicht der Gleislagequalität Stellung zu nehmen oder bei unzureichenden Qualitätsniveaus jene Geschwindigkeit zu bestimmen, mit der der entsprechende Streckenabschnitt mit ausreichendem Fahrkomfort befahren werden kann.

Der MDZ-Wert Null beschreibt eine Situation ohne im Fahrzeug wirksam werdende Beschleunigungsdifferenzen und damit ein fehlerfreies ideales Gleis. Reale Gleise werden durch MDZ-Werte größer Null charakterisiert, wobei ein

MDZ-Wert von 5 bis 7 Qualitäten einer exzellenten Gleisneulage beschreibt.

Entsprechend den Europäischen Bestimmungen gewann die Standardabweichung vertikal an Bedeutung, da diese Qualitätsziffer eine internationale Vergleichbarkeit sicherstellen soll. Aus diesem Grund werden die Analysen zur Gleislagequalität am Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrswirtschaft der Technischen Universität Graz grundsätzlich auf Basis von MDZ-Werten und der Standardabweichung vertikal durchgeführt.

21.3.2.2 Entwicklung der Gleislagequalität

Die Gleislagequalität sowie alle anderen das Gleis betreffenden Daten können jedoch keine ausreichende Entscheidungsgrundlage darstellen. Nur das Verhalten des Oberbaus über der Zeit erlaubt es den wirtschaftlich optimalen Eingriffszeitpunkt zu identifizieren, sei es für eine Re-Investition oder jede Instandsetzungsmaßnahme. Das Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrswirtschaft der Technischen Universität Graz hat in enger Zusammenarbeit mit den Österreichischen Bundesbahnen eine Datenbank erarbeitet, die neben sämtlichen Daten des Gleismesswagens auch Informationen über den vorhandenen Oberbautyp, das Einbaujahr, die Verkehrsbelastung und Geschwindigkeit sowie sonstige Zusatzinformationen (z. B. geotechnisches Streckenband, Existenz von Lärmschutzwänden, Streckenfotos) zusammenführt. Diese Datenbank liegt nun in einer Zeitreihe mit Daten seit dem Jahr 2000 vor und stellt das Rückgrat der Forschungen dar (Abb. 21.15).

Ziel der Forschungen im Bereich Gleislagequalität ist die Prognostizierbarkeit der Entwicklung der Gleislagequalität unter Betriebsbedingungen, wobei die Erfahrung einen Verlauf der Form

$$Q = Q_0 \times e^{b \times t} \quad (21.5)$$

mit:

Q aktuelle Qualität

Q_0 Qualität zum Zeitpunkt $t=0$ (entspricht der Ausgangsqualität)

b Verschlechterungsrate

t Zeit

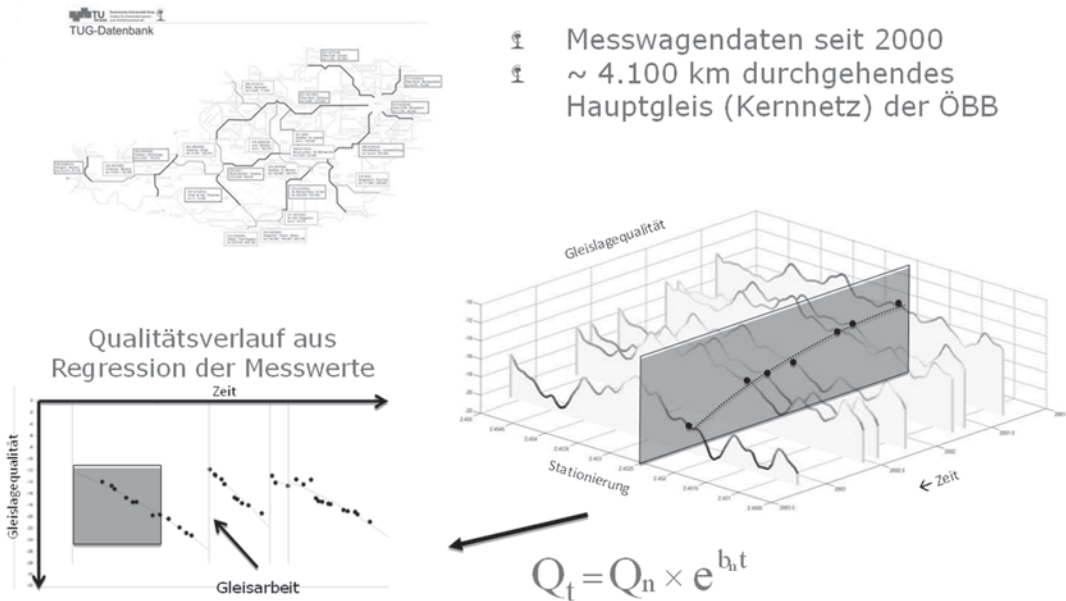


Abb. 21.15 Von der Datenbank zu Zeitreihen der Gleislagequalität

erwarten lässt. Eine Analyse dieser Qualitätsziffern für das Netz der ÖBB für die Jahre 1992 bis 1999 [18] bestätigt den theoretischen Ansatz von Klaus Rießberger, wonach die Abnahme der Gleislagequalität der aktuellen Qualität proportional ist. Es ist jedoch zu beobachten, dass die Verschlechterungsrate „b“ sehr starken Schwankungen unterliegt. Bei sehr guten Gleisen nimmt „b“ derart geringe Werte an, dass der Verlauf der Verschlechterung anfangs durch eine lineare Verschlechterung angenähert werden kann.

Es konnte trotz der Vielzahl der untersuchten Daten kein ein einziges Mal beobachtet werden, dass durch eine Instandsetzungsmaßnahme die Ausgangsqualität Q_0 überschritten werden konnte. Dies zeigt, dass auch durch Instandsetzungsmaßnahmen dieser Zusammenhang nicht aufgelöst werden kann und bestätigt damit die zwingende Notwendigkeit der Berücksichtigung der gesamten Liegedauer. Das Herausschneiden von Zeitscheiben mit anschließender singulärer wirtschaftlicher Bewertung ist dagegen nicht möglich.

Gleichzeitig haben sich aber auch die, einer tiefer gehenden Analyse noch im Jahr 2000 im Wege stehenden, Probleme der zur Verfügung

stehenden Qualitäts- und sonstigen Daten gezeigt. So

- erscheint die Betrachtungslänge von 500 m oft zu groß,
- erlaubt die Mittelwertbildung keine getrennte Analyse von Einzelfehlern und der generellen Gleislagequalität,
- ergibt die Mittelwertbildung der Beschleunigungsdifferenzen für einen gewissen Abschnitt einen diskreten Wert für den Abschnitt anstatt einen Verlauf,
- wird der Analyse der zeitlichen Veränderung der Messdaten zu geringe Bedeutung zugemessen; in einen aktuellen Messdatensatz konnten die entsprechenden Werte vergangener Messkampagnen nicht übernommen werden,
- wurde das Erstellen von Zeitreihen vom Datensystem nicht unterstützt,
- liefert die Datenbank des Gläsernen Fahrwegs mit den wesentlichen Statusdaten des Fahrwegs wie Art des Oberbaus, Einbaupunkt, Lage von Weichen, Bahnhöfen, Brücken und Durchlässen, zwar die Voraussetzungen für integrative Analysen; diese Daten werden

jedoch nicht automatisch in die Analyse der Messdaten übernommen,

- existierten Datensätze, die durchgeführten Instandsetzungsmaßnahmen betreffend, nur rudimentär und sind nicht automatisiert mit den Messdaten verknüpft,
- gibt es keine Datensätze, die Auskunft über das Maß der durch verschiedene Instandsetzungsmaßnahmen erzielten Verbesserungen der Gleislagequalität geben,
- können die Verbesserungen auch nicht mit den jeweils vorliegenden Randbedingungen verknüpft werden.

Im Zuge der von Florian Auer seit 2002 betriebenen Weiterentwicklung der Messdatenanalyse mit der Zielsetzung der Schaffung von Voraussetzungen zur Beschreibung des Gleislageverhaltens konnte die Mehrzahl der angesprochenen Probleme durch die Entwicklung des Analyse-tools NATAS gelöst werden.

Der wichtigste Unterschied der aktuellen Messdatenanalyse im Vergleich zur ursprünglichen ist der Umstieg von diskreten für 500 m Abschnitte gültigen Qualitätswerten auf einen Verlauf (Abb. 21.16).

Dies wurde dadurch erreicht, dass nicht mehr der Mittelwert der Beschleunigungsdifferenzen für eine bestimmte Abschnittslänge bestimmt wird, sondern der gleitende Mittelwert für eine bestimmte, frei wählbare Abschnittslänge [19].

Im Rahmen der diskutierten Anwendung ist heute ein gleitender Mittelwert auf Basis einer Auswertungslänge von 100 m und ein „Zoomen“ bis zu 10 m Auswertungslänge für Unstetigkeitsstellen bzw. Einzelfehler Standard (Abb. 21.17).

Der MDZ_{10} Verlauf weist bereits periodisch wiederkehrende Zacken auf, die sich als Schweißstöße herausgestellt haben. Dieser reale Messschrieb zeigt den Einfluss des Einzelfehlers bei km 281,1 und schafft auch die Voraussetzung in der Instandsetzung neue Wege zu gehen. Spezifische Einzelfehlerbehebungen, maschinenseitig möglich, können exakt geplant werden und lassen sich getrennt von den generellen, den gesamten Abschnitt betreffenden Durcharbeitungen, argumentieren. Gleichzeitig kann der Einsatz der mit dem mechanisierten Durcharbeitungszug zu bearbeitenden Streckenabschnitte

präziser festgelegt werden. Die Auswahl der adäquaten Instandsetzungsmaßnahme hängt damit nur mehr von der Dichte der Einzelfehler bzw. der grundsätzlichen Gleislagequalität ohne Berücksichtigung der Einzelfehler ab.

Für die Instandsetzungsplanung ist neben dem eigentlichen Messwert die zeitliche Entwicklung dieses Messwertes von überragender Bedeutung. Die Angabe einer Standardabweichung bzw. eines MDZ-Wertes als einzelne Zahl sagt nur aus, ob der Wert einen definierten Grenzwert überschreitet oder nicht. Liegt z. B. ein noch akzeptabler MDZ-Wert von 25 vor, ist für die Instandsetzungsplanung von wesentlicher Bedeutung, wie sich dieser Wert entwickelt hat. War der Vorjahreswert 24, verhält sich das Gleis moderat, eine Instandsetzungsnotwendigkeit liegt nicht vor. Betrug der Vorjahreswert jedoch 15, liegt ein sich sehr rasch verschlechternder Gleisabschnitt vor, der in kurzer Zeit die Grenzwerte überschreiten wird; Instandsetzungsbedarf ist gegeben. In den aktuellen Analysen lassen sich die Werte vergangener Messfahrten mit dem Datum der jeweiligen Messungen abrufen und werden als Entwicklung farblich dargestellt.

Da sich die Messpunkte des Messwagens in Abständen von nur 25 cm befinden, ist zur Erstellung von Zeitreihen eine Peak-to-Peak-Justierung der Messwerte erforderlich um sicherzustellen, dass immer dieselben Punkte im Gleis für die Zeitreihen herangezogen werden. Damit sind die Voraussetzungen zur funktionalen Analyse der Gleislageentwicklung erfüllt, da damit an jeder Stelle der Strecke die spezifische Verschlechterungsfunktion bestimmt werden kann (Abb. 21.18). Analog können Zeitreihen für alle anderen Messdaten erarbeitet und zur Analyse herangezogen werden.

Gleichzeitig bestätigen diese Analysen die Richtigkeit der nicht linearen, vom aktuellen Zustand abhängigen Verschlechterungsfunktion. Die massive Streuung der Verschlechterungsrate wird ebenfalls augenscheinlich. Die Auswertung der Messdaten zeigt das günstige Verhalten des Oberbaus bei hohen Ausgangsqualitäten von km 276,18 bis 276,88, während die anschließende geringere Ausgangsqualität ein deutlich schlechteres Gleislageverhalten zur Folge hat.

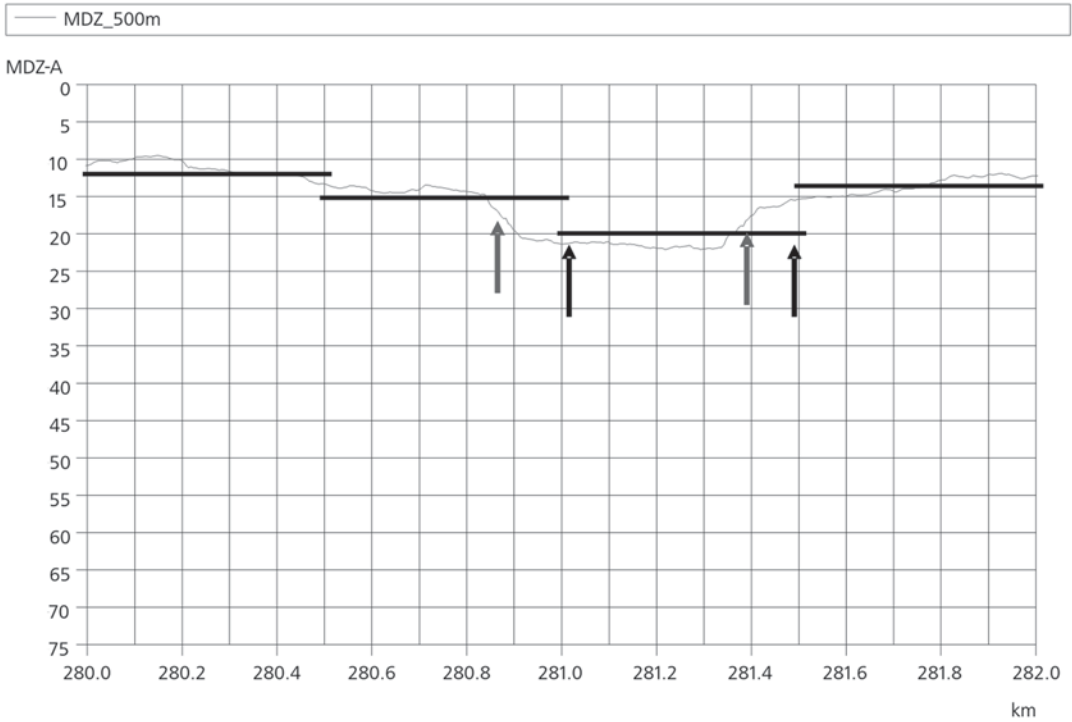


Abb. 21.16 Gleislagequalität – diskrete versus gleitende Werte Basis 500 m

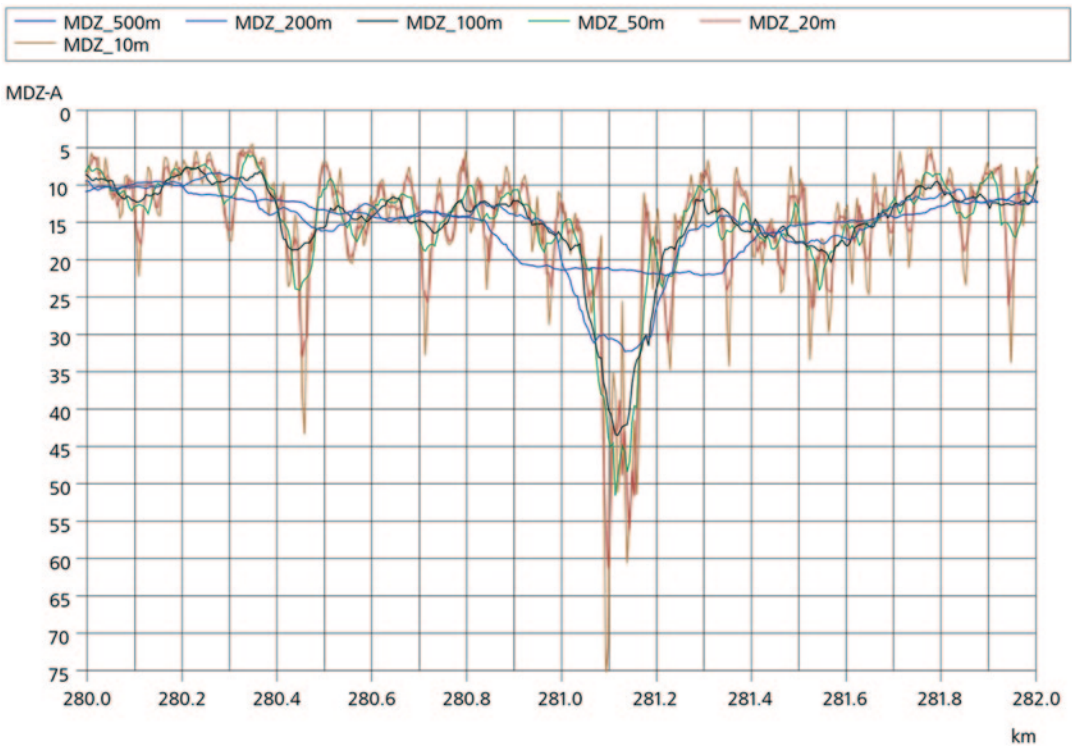


Abb. 21.17 Gleislagequalität – gleitende Werte mit verschiedener Basis [2]

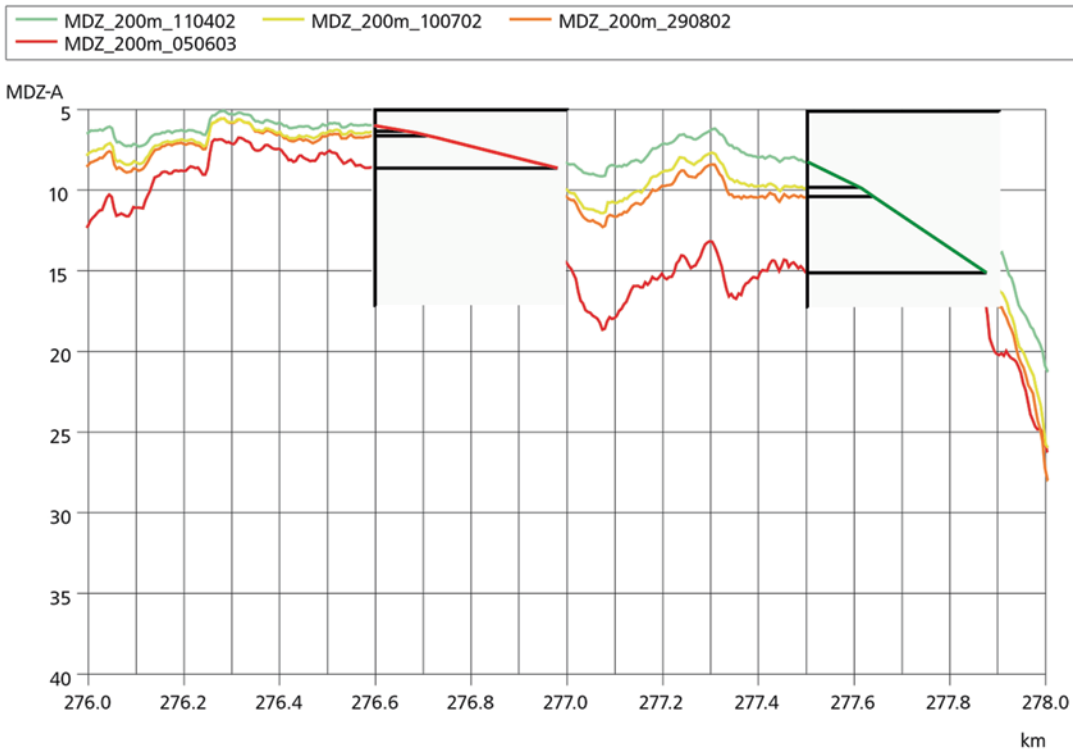


Abb. 21.18 Entwicklung der Gleislagequalität unter Betrieb

Abbildung 21.8 unterstreicht die Bedeutung der Ausgangsqualität, indem sie deren direkten Einfluss auf die Instandsetzungsintensität offenlegt. Es sei erwähnt, dass es sich bei den gezeigten Messdaten um einen Abschnitt der Westbahn (Verbindung Wien–München) handelt, wobei im gesamten Bereich von km 276,18 bis 277,80 zeitgleich eine Gleisneulage durchgeführt wurde und die Unterbauverhältnisse sich ebenfalls nicht unterscheiden.

Zur weiteren Analyse bedarf es nun der Erklärung der Streuungen der Verschlechterungsrate b . Die Verschlechterungsrate b hängt zumindest von jenen Parametern ab, die zur Definition der Standardkilometer herangezogen wurden, also dem Unterbauzustand und der Funktionalität der Entwässerung, dem Oberbautyp, der Verkehrsbelastung, dem Alter des Oberbaus und dem vorliegenden Radius. Zudem weisen Einzelfehler besonders hohe Verschlechterungsraten auf, so dass die Messdaten durch Informationen aus dem Gläsernen Fahrweg ergänzt werden müssen. Dies

ist möglich, da sämtliche Statusdaten des Gläsernen Fahrwegs [20] im Intranet der ÖBB abrufbar sind und somit zur Verfügung stehen.

Die damit möglich werdenden Analysen stellen den Kern der Forschungen dar, wobei diese Forschung von der Hoffnung getragen wird, dass nicht wesentlich mehr als die bisher bekannten Einflussgrößen zur Beschreibung der Verschlechterungsrate b herangezogen werden müssen. In analoger Weise werden die durch verschiedene Instandsetzungsmaßnahmen erzielbaren Verbesserungen untersucht [21, 22].

Auf diesen Auswertungen basierend, wird ein Prognosemodell zur Bestimmung künftiger Gleislagequalitäten entwickelt.

Das entsprechende theoretische Modell für das Gleislageverhalten bis zum Erreichen der ersten die Gleislage beeinflussenden Instandsetzungsmaßnahme ist dabei trivial, es handelt sich um eine e-Funktion, die durch die beiden Werte „Ausgangsqualität“ sowie „Verschlechterungsrate“ beschrieben wird. Dennoch lohnt es sich,

einige Gedanken über dieses Verhalten anzustellen und mit den bisherigen Ergebnissen zu überprüfen.

Da sich das Gleis immer entsprechend seiner aktuellen Qualität verhält, führt eine reduzierte Anfangsqualität Q_{0-2} zwar nicht zu einem notwendigerweise erhöhten Wert „b“, jedoch sehr wohl zu einer rascheren Verschlechterung. In der grafischen Darstellung verschiebt sich die Funktion der sich bei der Ausgangsqualität Q_{0-1} ergebenden Gleislagequalität nach links, bis die Kurve durch die neue Ausgangsqualität Q_{0-2} geht, womit sichergestellt wird, dass die erste Ableitung, also die aktuelle Verschlechterung, von der aktuellen Qualität abhängt. Durch dieses Verschieben wird jedoch eine Eingriffsschwelle rascher erreicht, die Instandsetzungsintensität nimmt zu.

Dieser einfache, in Abb. 21.19 gezeigte Zusammenhang erklärt damit die hohe Bedeutung der Ausgangsqualität.

Nach Erreichen einer – aus welchen Gründen auch immer – nicht mehr akzeptablen Qualität (=Eingriffsschwelle), erfolgt eine Instandsetzungsmaßnahme. Damit wird die Gleislagequalität verbessert. Die Analyse der Messdaten zeigt, dass es mit keiner Instandsetzungsmaßnahme gelingt, die Ausgangsqualität Q_0 wieder zu erreichen, geschweige denn zu übertreffen. Dies ist dadurch zu erklären, dass in die Betrachtungen immer nur Messungen nach Abklingen der Anfangssetzungen eingegangen sind. Instandsetzungsmaßnahmen können daher die aktuelle Gleislagequalität nach Abklingen der Anfangssetzungen immer nur mehr oder weniger in die Nähe der Ausgangsqualität heben.

Nach erfolgter Instandsetzungsmaßnahme beginnt von neuem eine gebrauchtsbedingte Verschlechterung der Gleislagequalität. Damit kann die Gesamtfunktion aus hintereinander durchlaufenen Basisfunktionen und Verbesserungen durch Instandsetzungsmaßnahmen zusammengesetzt werden. Der sich ergebende Verlauf ist wiederum nicht linear.

Entsprechend dem in Abb. 21.20 dargestellten Verlauf ist die technische Nutzungsdauer genau dann erreicht, wenn die Anfangssetzungen nach der Instandsetzungsmaßnahme die Verbesserung

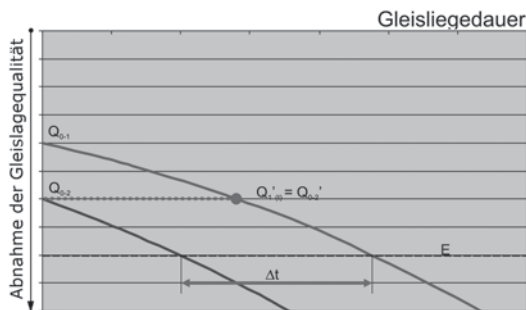


Abb. 21.19 Einfluss der Ausgangsqualität auf die Entwicklung der Gleislagequalität

durch die Instandsetzungsmaßnahme zur Gänze kompensieren. Praktisch bedeutet das, dass das Gleis nicht mehr in einen stabilen Zustand, der besser als die Eingriffsschwelle ist, gebracht werden kann.

Diese technische Nutzungsdauer ist die für ein definiertes Qualitätsniveau maximal erreichbare Liegedauer, und ist jedenfalls länger als die wirtschaftlich angestrebte Nutzungsdauer. Die aus wirtschaftlichen Gründen anzustrebende Nutzungsdauer kann durch Berechnungen des optimalen Ersatzzeitpunkts (Zeitpunkt der Re-Investition) bestimmt werden, in denen der immer geringer werdende positive Effekt der Verlängerung der Liegedauer durch weitere Instandsetzungsmaßnahmen den Kosten der Instandsetzungsmaßnahmen und der von ihr verursachten betrieblichen Zusatzkosten innerhalb einer dynamischen Wirtschaftlichkeitsrechnung gegenübergestellt werden (Annuitätenmonitoring).

Eine Analyse des Verhaltens des Gleises nach einer Instandsetzungsmaßnahme zeigt ein weites Spektrum an möglichem Verhalten (Abb. 21.21).

Die Auswertungen haben gemeinsam, dass sich die Verschlechterungsrate b nach jeder durchgeführten Instandsetzungsmaßnahme ändern kann. Für die Änderung der Verschlechterungsrate b existieren zwei Grenzwerte. Der eine positive theoretische Grenzwert basiert auf der Annahme, dass sich das Gleis nach der Instandsetzungsmaßnahme so verhält, wie es sich bei demselben Qualitätsniveau vor der Instandsetzungsmaßnahme verhalten hat. Die Ableitung der Qualitätsfunktion für die nach der Instandsetzung erreichte Qualität Q_1 ist identisch mit

Abb. 21.20 Gesamtqualitätsfunktion

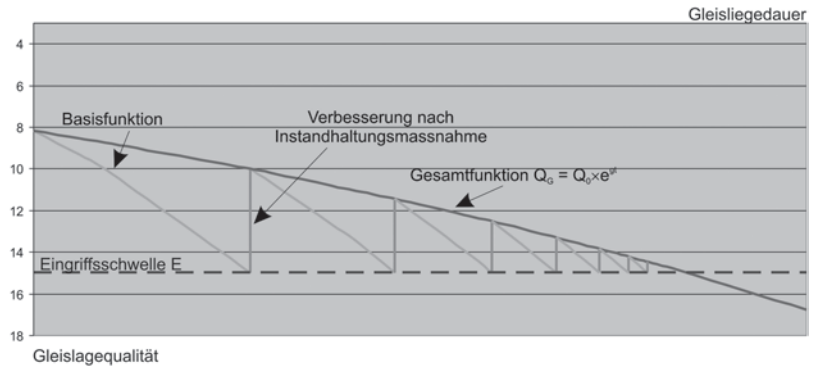
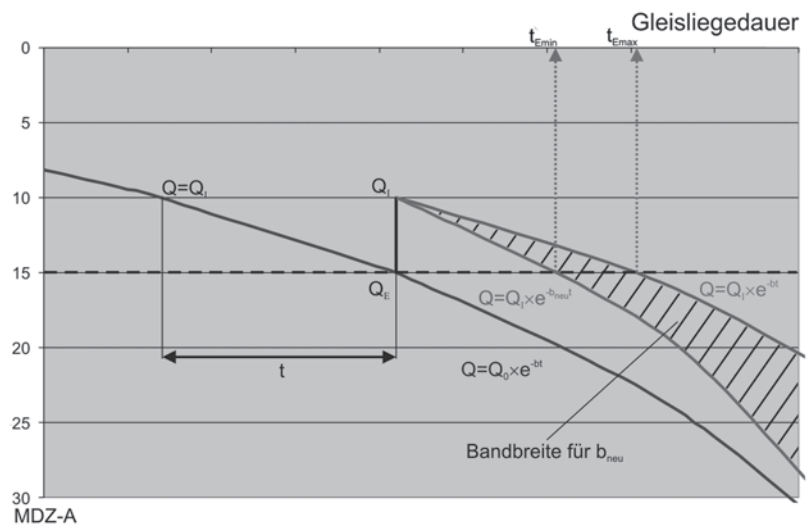


Abb. 21.21 Gleislageverhalten nach Instandsetzung



der Ableitung der Qualitätsfunktion an der Stelle $Q=Q_1$ im ursprünglichen Verlauf. Damit würde das Gleis um die Zeit t verjüngt, es würde einen Teil seiner Geschichte „vergessen“, die Verschlechterungsrate b der Basisfunktion würde die gesamte Liegedauer hindurch konstant bleiben. Dieser Situation entspricht das horizontale Verschieben der Basisfunktion, wobei dieser Fall nur ein theoretischer Grenzfall sein kann, der auch bei höchster Qualität der Instandsetzung wegen des unter Betrieb aber auch in geringem Maß durch die Instandsetzungsmaßnahme selbst auftretenden Verschleißes das Gleis nicht zur Gänze verjüngt werden kann. Das andere Extrem geht von der Annahme aus, dass sich das Gleis nach der Instandsetzung so verhält wie vorher, jedoch von einem höheren Qualitätsniveau ausgehend. In diesem Fall entspricht die Neigung der Tangente (1. Ableitung) im Punkt Q_1 jener in Q_E , was

zu eine Änderung der Verschlechterungsrate b führt, wobei gilt: $b_{neu} > b$.

Diese theoretischen Überlegungen zeigen die Bandbreite der Werte für b_{neu} auf und erlauben bei gegebener Eingriffsschwelle eine Abschätzung des am frühesten bzw. am spätesten möglichen Zeitpunkts des neuerlichen Erreichens dieses Interventionswerts.

In der Praxis finden sich leider beide Fälle, sowohl Abschnitte bei denen sich die Verschlechterungsfunktion fast horizontal verschiebt, als auch Fälle in denen sie sich fast vertikal verschiebt. Die Ursache für dieses Verhalten muss daher in der Instandsetzungsmaßnahme selbst liegen.

Bevor auf mögliche Ursachen eingegangen wird, soll jedoch nochmals auf diese Situation hingewiesen werden: Es existieren Gleise mit derselben Qualitätsziffer der Gleislage, jedoch komplett unterschiedlicher Entwicklung dieser

Qualität über der Zeit. Diese Tatsache zwingt zu einer Neuformulierung der Gleislagequalität. **Zur Beschreibung der Gleislagequalität ist die Angabe des aktuellen Zustands in Form einer Qualitätsziffer sowie das Verhalten dieser Qualitätsziffer über der Zeit erforderlich.**

Die Ursache für das Vorliegen der beiden Fälle muss in der Instandsetzungsarbeit und dem Schädigungsmechanismus, bzw. der Wechselwirkung der Instandsetzungsmaßnahme und dem Schädigungsmechanismus begründet sein. Wird durch eine Instandsetzungsmaßnahme das aufgetretene Qualitätsproblem zwar behoben, die Ursachen für das Auftreten des Qualitätsproblems jedoch nicht, führt die Instandsetzungsmaßnahme zwar zu einer Verbesserung der Qualitätsziffer, die Instandsetzungsmaßnahme verbessert die Qualität jedoch nicht nachhaltig. Als praktisch zu beobachtendes Beispiel sei das Stopfen von Spritzstößen erwähnt, das rasche Wiederkehren des Spritzstoßes, und zwar an derselben Stelle und noch dazu schneller als ursprünglich entstanden, ist ein für jeden Praktiker bekanntes Phänomen. Wird jedoch mit der Instandsetzungsmaßnahme die Ursache des Schadens eliminiert, ist die Instandsetzung nachhaltig. Auch hier kann das Stopfen als Beispiel dienen, und zwar das Stopfen eines Gleisabschnittes, der zufolge der Verkehrsbelastung und eben nicht zufolge von Unterbauproblemen in seiner Lage korrigiert werden muss. Diese Überlegungen erklären auch aus dieser Sicht die überwältigende Bedeutung eines guten Unterbaus für ein Gleis und zeigen, dass das Instandhalten eines Gleises auf einem schlechten Unterbau immer eine sehr teure und letztlich nur mäßig erfolgreiche Sisyphusarbeit bleiben muss.

Die Beobachtung der Zeitreihen erlaubt es, eine These zu formulieren, nämlich dass die Verschlechterungsrate b selbst ebenfalls einer nicht linearen Funktion gehorcht. Diese Theorie würde die Schotterschädigung durch das Stopfen gut beschreiben, ist jedoch auf Basis der bis heute (2012) vorliegenden Daten nicht beweisbar.

Weitere theoretische Überlegungen betreffen die mittels Instandsetzungsmaßnahmen erreichbaren Verbesserungen der Gleislagequalität.

Die Analysen der Zeitreihen zeigen (Abb. 21.22), dass die Ausgangsqualität Q_0 nie mehr erreicht werden kann ($\Delta Q_i > 0$). Dementsprechend muss die Verbesserung von einem höheren Qualitätsniveau ausgehend geringer sein als von einem niedrigeren ($I_1 < I_2$). Andererseits nähert sich die durch eine Instandsetzung erreichbare Qualität bei Durchführung der Instandsetzung bei einem höheren Qualitätswert der Ausgangsqualität Q_0 besser an als nach einer späteren und damit bei einem schlechteren Qualitätswert durchgeführten Instandsetzungsmaßnahme ($\Delta Q_1 < \Delta Q_2$).

Alle diese Zusammenhänge haben Einfluss auf die Gesamtfunktion, die für ein theoretisches Prognosemodell bedeutend ist. Nachdem die wesentlichen Einflussgrößen auf die Verschlechterungsrate bekannt sind, kann das Modell zur Bestimmung der maximalen technischen Nutzungsdauer verwendet werden. Die Bestimmung der wirtschaftlichen Nutzungsdauer erfordert, wie bereits erwähnt, eine zusätzliche wirtschaftliche Auswertung, d. h. eine Gegenüberstellung von Instandsetzungsoption und Re-Investition mit der Zielsetzung der Minimierung der Lebenszykluskosten. In den aktuellen Messschrieben sind damit bereits neben den Daten aus vergangenen Messungen auch Prognosedaten für die Zukunft eingetragen, um den Instandsetzungsverantwortlichen auf ein erwartbares Erreichen eines kritischen Wertes aufmerksam zu machen. Zur Vereinfachung dieser derzeit möglichen Prognose wird sie zwar auf Basis der aktuellen Qualität, aber mit linearer Trendrechnung durchgeführt. Damit wird derzeit die Tangente an die e-Funktion als Prognosefunktion [23] gewählt (Abb. 21.23).

Die Eingriffsschwelle selbst stellt sich bei näherer Betrachtung als wesentliche Stellschraube für die Optimierung dar. Diese große Bedeutung ergibt sich aus den erreichbaren Verbesserungen, die von der Vorschädigung abhängen.

Zwar sind bei schlechterem Ausgangsniveau, also größeren Schädigungen, größere absolute Verbesserungen zu erreichen, jedoch erreicht die Qualität nach der Instandsetzungsmaßnahme geringere Werte, als es bei einem früheren Eingreifen der Fall wäre. Das „Erinnerungsvermögen“,

Abb. 21.22 Einfluss der Eingriffsschwelle auf Gesamtqualitätsfunktion

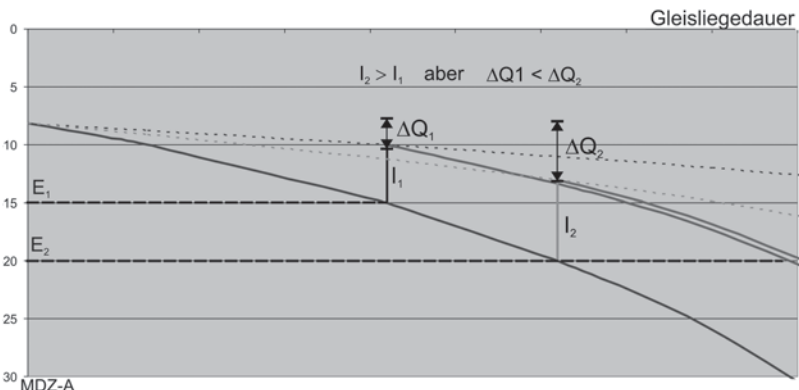
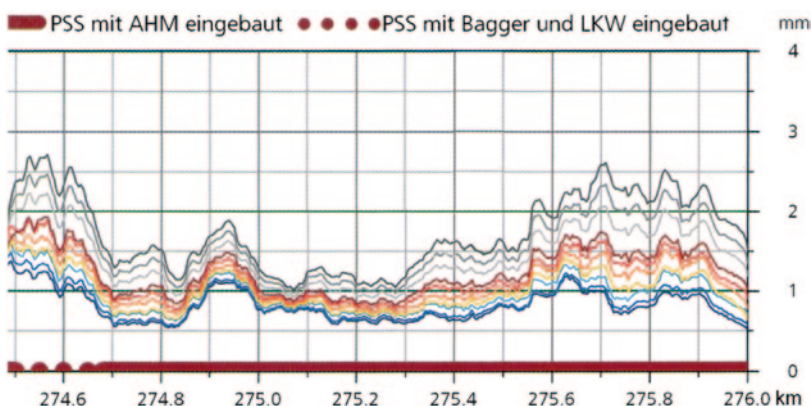


Abb. 21.23 Prognose der Gleislagequalität [2]

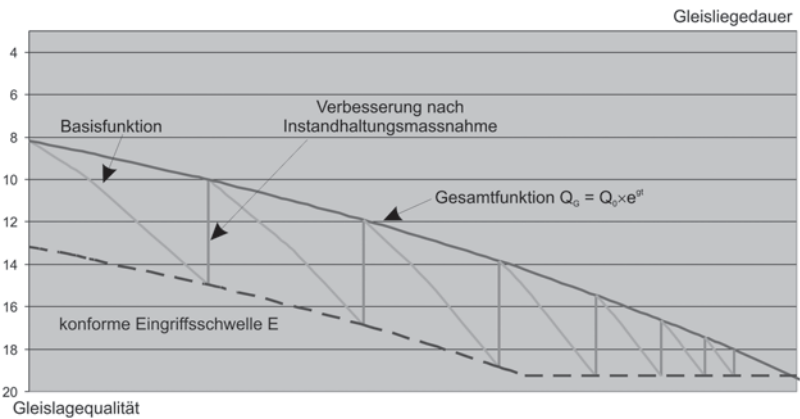


also Vorschädigungen des Gleises, führen zudem zu unterschiedlichen Verschlechterungsraten. Unabhängig davon führt eine möglichst nahe an die Ausgangsqualität herankommende Qualität nach einer Instandsetzungsmaßnahme zu einem flachen Gesamtverlauf, und damit einer hohen Liegedauer. Die Lage der Eingriffsschwelle wirkt dabei in zweierlei Hinsicht. Zum einen verlängert eine Eingriffsschwelle bei geringen Verschlechterungen tendenziell die Liegedauer, zum anderen erhöht sich durch das in diesem Fall raschere Erreichen der Eingriffsschwelle der Instandsetzungsbedarf. Damit ist die Eingriffsschwelle für die Feinabstimmung von Strategien gut geeignet, die Kenntnis der realen Verschlechterungsfunktion vorausgesetzt.

Die Wirkungsweise dieser Effekte kann durch eine vom Alter der Anlage abhängigen Festle-

gung der Eingriffsschwelle ausgenutzt werden. Die Idee ist, dass eine Eingriffsschwelle nicht notwendigerweise ein fixer Wert sein muss bzw. nicht sein sollte. Es ist anzustreben, dass die Eingriffsschwelle bei neuen Gleisen bei relativ guten Qualitätsniveaus angesetzt wird und mit dem Alter der Anlage sinkt, – natürlich nicht unter sicherheitsrelevante Grenzwerte. Mit einer derartigen konformen Eingriffsschwelle (konform zum Qualitätsniveau der Gesamtfunktion) wird erreicht, dass das Gleis vor den ersten Instandsetzungsmaßnahmen relativ geringe Vorschädigungen erreicht, die Verbesserung daher gute Ergebnisse zeigt, die sich positiv auf die Nutzungsdauer auswirken, während gegen Ende der Nutzungsdauer die qualitativen Anforderungen reduziert werden, um dadurch das Gleis noch länger befahren zu können [24].

Abb. 21.24 Konforme Eingriffsschwelle



Zur Überprüfung der konformen Eingriffsschwelle (Abb. 21.24) wurden Zyklen, basierend auf einer konformen bzw. einer konstanten Eingriffsschwelle, gegenübergestellt. Zyklen auf Basis von konstanten Eingriffsschwellen konnten bei Abschnitten für Geschwindigkeiten über 160 km/h gefunden werden, da bei diesen Geschwindigkeiten bei den ÖBB fixe Eingriffsschwellen vorgegeben waren. Erstaunlicher verlief die Suche nach Zyklen, die auf konformen Eingriffsschwellen basierten. Eine Analyse der Qualitätswerte vor der Instandsetzungsmaßnahme hat gezeigt, dass die Instandsetzungsverantwortlichen im Rahmen ihrer Verantwortung bei jungen Gleisen und Weichen verhältnismäßig früh eingriffen, bei älteren jedoch später. Dies erklärt auch den scheinbaren Widerspruch von zustandsabhängiger Instandsetzung bei nicht linearem Gleisverhalten und trotzdem konstanten Zeitintervallen zwischen den Instandsetzungsmaßnahmen. Dieser Fall tritt dann auf, wenn die Eingriffsschwelle annähernd parallel zur Gesamtfunktion liegt. Eine Verdichtung der Instandsetzungszyklen ergibt sich erst gegen Ende der Liegedauer, wenn aus Gründen absoluter Grenzwerte die Eingriffsschwelle wieder einen konstanten Wert annimmt.

Damit können für die verschiedenen Standardkilometer Zyklen für verschiedene Festlegungen der Eingriffsschwelle dargestellt und miteinander verglichen werden. Das Hauptergebnis war, dass die Verlängerung der Liegedauer bei konformer Eingriffsschwelle bestätigt werden konnte, womit sich die konforme Eingriffsschwelle als

unabhängig vom Standardkilometer und damit der Verkehrsbelastung als wirtschaftlicher darstellt als die konstante Eingriffsschwelle. Dieser Tatsache wurde durch eine erste, noch zaghafte Umsetzung Rechnung getragen, indem die Eingriffsschwelle für junge Gleise etwas strikter angesetzt wird als für ältere Abschnitte.

Gleichzeitig zeigt die Analyse auch, dass zwar ein günstiger Verlauf der Eingriffsschwelle allgemeingültig formuliert werden kann, der absolute Wert der Eingriffsschwelle am Beginn der Nutzungsdauer jedoch noch umfangreicher Auswertungen bedarf.

Die Bestimmung wirtschaftlich optimaler Eingriffsschwellen stellt damit ein wesentliches Etappenziel der aktuellen Forschungen dar. Abhängigkeiten von allen die Verschlechterungsrate b beeinflussenden Randbedingungen wie Unterbauzustand, Oberbautyp, Radienklasse und Verkehrsbelastung liegen auf der Hand und sind darstellbar. Informationen über sämtliche durchgeführte Instandsetzungsmaßnahmen sind essentiell. Inwieweit zusätzliche Parameter erforderlich sind, sowie die Zusammenhänge betreffend erreichbare Verbesserungen, sind Gegenstand aktueller Analysen.

Trotz dieser klaren Vorstellungen die nächsten Schritte betreffend, werden auch dabei Kompromisse erforderlich sein, Kompromisse zwischen erreichbaren Genauigkeiten und realen Umsetzungserfordernissen. Hohen erreichbaren Genauigkeiten steht eine große Zahl an zu berücksichtigenden Parametern gegenüber, die netzweit bekannt sein müssen. Eine hohe Anzahl an Para-

metern wiederum ergibt kurze Abschnitte mit gleichen Parametern, die konsequenterweise zu spezifischen Eingriffsschwellen und damit Instandsetzungsstrategien führen. Sind diese Abschnitte kurz, lassen sich aus wirtschaftlichen Gründen unterschiedliche Fahrwegstrategien nicht umsetzen. In diesem Fall wäre die hohe Genauigkeit zwar in der Lage den erforderlichen Aufwand in der Forschung und der Datenerhebung deutlich zu steigern, ohne jedoch zu umsetzbaren Ergebnissen zu führen. Die Festlegung der damit erforderlichen Abstriche bei der Prognosegenauigkeit wird, entsprechend der bisherigen Vorgangsweise, wiederum im engen Kontakt mit „der Praxis“ erfolgen.

Die bisher diskutierten Überlegungen betrafen im Wesentlichen Qualitätswerte des Oberbaus, konkret die MDZ-Ziffer sowie die Standardabweichung vertikal. Grundsätzlich sind diese Überlegungen und Analysen auch für alle anderen Gleisdaten in analoger Weise durchzuführen um auch Komponentenversagen frühzeitig identifizieren zu können und somit ein geschlossenes Prognosemodell erarbeiten zu können. Als Vision der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten steht damit ein Prognosemodell, dass auf Basis der Prognostizierbarkeit des Gleisverhaltens den derzeitig dominierenden Erfolgsfaktor „Erfahrung“ durch mathematisch formuliertes „Wissen“ ersetzen soll, womit in ferner Zukunft, der Messwagen nur mehr zur Überprüfung und zum rechtzeitigen Erkennen von Abweichungen der Realität von der Prognose dienen soll, um eine entsprechend rasche Korrektur der Instandsetzungsstrategie vornehmen zu können. Zu diesem Zeitpunkt müssen die dazu erforderlichen Schritte, wie Feststellen der Abweichung, Erarbeitung alternativer Zyklen, Bestimmung des optimalen Zeitpunkts der Setzung von Maßnahmen auf Basis eines einheitlichen EDV-Tools erfolgen können, wobei die Bearbeitung vom Abschnittsverantwortlichen, mit seinem spezifischen Wissen des entsprechenden Abschnitts vor Ort, erfolgen sollte.

Ein derartiges automatisiertes Tool wurde im Rahmen des Projekts Strategie Fahrweg noch nicht entwickelt, gleichzeitig wurden die bisherigen Forschungsergebnisse im Rahmen des Li-

fe-Cycle-Managements (LCM) bereits praktisch verwendet.

21.3.3 Strategie Fahrweg – Stufe 2

Die bisherigen Erkenntnisse aus der Stufe 1 des Projekts „Strategie Fahrweg“ sowie das wachsende Verstehen des Verhalten des Gleises erlaubt es durch gezielte Auswertung von Versuchen in Verbindung mit bekannten Trends weitere Optimierungsmaßnahmen umzusetzen.

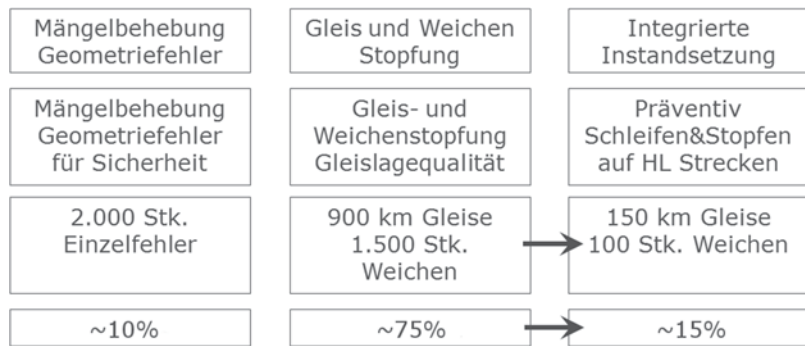
Vor allem der Zusammenhang zwischen Stopfintervall und Liegedauer und die verbesserte Analyse der Messwagendaten erlaubt Versuche bereits nach relativ kurzer Zeit, nämlich nach etwas mehr als einem Stopfintervall, auszuwerten und Schlüsse auf das Verhalten während der restlichen Nutzungsdauer zu ziehen.

Diese Möglichkeit wurde bisher in Untersuchungen zu folgenden aktuellen Entwicklungen genutzt, die mittels der beschriebenen Vorgangsweise analysiert und auch bereits umgesetzt werden konnten [25]:

- Design Tamping,
- Integrierte Instandsetzung und
- Schwellenbesohlung.

Während beim konventionellen Stopfen die Ausgangsgleislage nach der Instandsetzungsmaßnahme angestrebt wird, wird beim Design Tamping durch bewusstes Überheben des Gleislagefehlers die Zeit bis zur nächsten Instandsetzungsmaßnahme verlängert. Damit erreicht man ohne Zusatzkosten eine Reduktion der Instandsetzungsintensität von Einzelfehlern. Überheben ist daher beim Stopfen von Einzelfehlern eine Standardlösung bei den ÖBB.

Im Rahmen der Integrierten Instandsetzung wird Stopfen und Schleifen in kurzem zeitlichen Hintereinander ausgeführt. Auslösend ist dabei immer die Notwendigkeit des Stopfens des Gleises, das auch als erste Maßnahme umgesetzt wird. Anschließend wird der betroffene Gleisabschnitt auch geschliffen. Die Grundidee war dabei folgende: Durch das Stopfen werden Gleislagefehler größerer Wellenlänge entfernt, womit sich die Dynamik im Gleis und damit die Gleisbelastung reduziert. Wird dieser Abschnitt nun auch geschliffen, wird die durch kurzweilige Fehler

Abb. 21.25 Aktuelle Stopfstrategie ÖBB

entstehende Dynamik ebenso reduziert, womit insgesamt ein Gleis mit einer entsprechend reduzierten Verschlechterungsrate vorliegen muss. Auswertungen an Streckenabschnitten, bei denen die Integrierte Instandhaltung schon 2003 umgesetzt wurde, haben diese Hypothese und die Wirtschaftlichkeit der Integrierten Instandsetzung bestätigt [26]. Zudem steigt der Schleifbedarf durch die RCF-Problematik deutlich an, wodurch die Integrierte Instandsetzung einfacher – weil mit geringeren Zusatzkosten – umsetzbar wird. Sie stellt seit 2011 ein drittes Standbein der Stopfstrategie der ÖBB dar (Abb. 21.25) [27].

Die Schwellenbesohlung ist in Österreich bereits seit 2009 eine Standardlösung. Den Vorteilen von Betonschwellen, wie:

- Unempfindlichkeit gegen Witterungseinflüsse,
- exakte und einfache Formgebung,
- hohe Lebensdauer und
- gute Lagestabilität aufgrund der hohen Massen

stehen auch Nachteile gegenüber, wie:

- durch die große Masse ist eine händische Verlegung nicht möglich,
- empfindlich gegen Schläge und Stöße (daher bei Stoßlückengleis und in Rangierbahnhöfen Einbau von Holzschwellen),
- geringe Elastizität, daher hohe Schotterbeanspruchung und
- geringe Kontaktflächen mit dem Schotter, was zu großen und ungleichmäßigen Schotterpresungen führt.

Eine elastische Bettung von Betonschwellen erhöht die Nachgiebigkeit und Dämpfung, vergrößert die Kontaktflächen Schwellen–Schotter, womit die Spitzenbelastung des Schotters redu-

ziert und eine breitflächigere Abtragung der Lasten ermöglicht wird. Die Schwellenbesohlung entlastet somit vor allem das Schotterbett in seiner statischen und dynamischen Belastung, was wiederum zu geringerer Schotterzerstörung und damit höherer Lagestabilität des Gleises führt. Dies wiederum reduziert die erforderliche Instandsetzungsintensität, vor allem die des Stopfens. Die Besohlung von Betonschwellen kombiniert damit den größten Vorteil der Holzschwelle mit den Vorteilen der Betonschwelle. Analysen von 1500 besohlenen Querschnitten im Netz der ÖBB und der technisch wirtschaftliche Vergleich mit entsprechenden unbesohlenen Abschnitten zeigen ein deutlich verbessertes Gleislageverhalten (Abb. 21.26) [28].

So ergibt sich eine Erhöhung der Ausgangsqualität um 18% durch eine Reduzierung der Anfangssetzungen (Ausgangsqualität im konventionellen Betonschwellengleis rund 0,4 mm Standardabweichung vertikal, bei besohlenen Abschnitten rund 0,3 bis 0,35 mm). Gleichzeitig führt die Erhöhung der Kontaktflächen nach Stabilisieren von etwa 9% auf rund 30% zu einer massiven Vergleichmäßigung und damit Reduktion der Schotterbelastung. Dies drückt sich in einer Reduktion der Verschlechterungsrate b um etwa zwei Drittel aus, was wiederum den Stopfzyklus um das 2,75-fache verlängert (Median, Werte zwischen 2,00 und 3,00). Damit muss sich allen bisherigen Erkenntnissen zufolge auch die Liegedauer des Gleises deutlich verlängern. Wirtschaftlich ergibt sich statisch eine Reduktion der Lebenszykluskosten des Gleises um rund ein Drittel, bei Zusatzinvestitionen von derzeit (2012) 19 € pro Schwelle. Dynamisch gerechnet, entspricht dies einem Internen Zinssatz von bis zu 20% (Abb. 21.27).

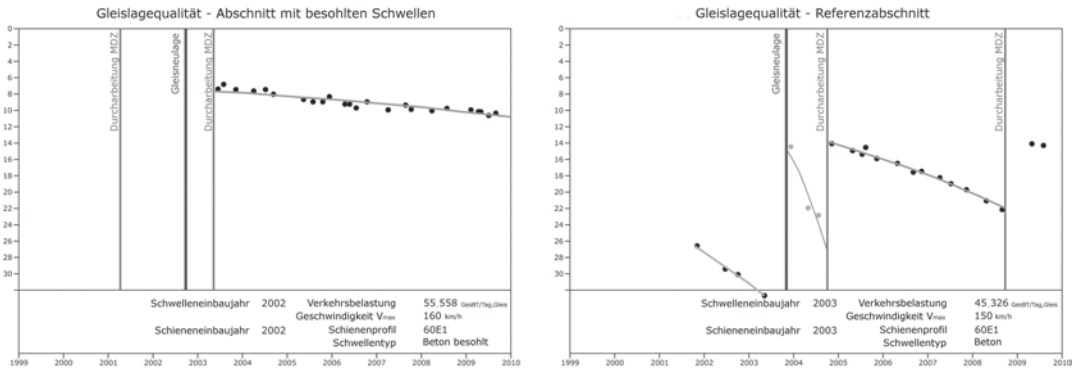
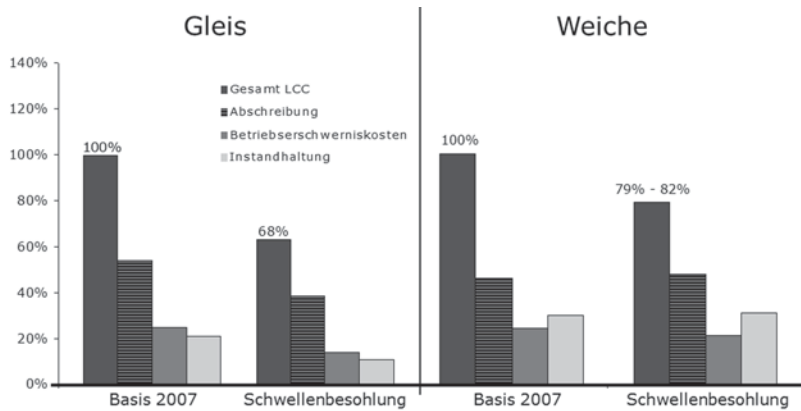


Abb. 21.26 Vergleich der Qualitätsentwicklung konventioneller Oberbau zu Oberbau mit besohlenen Schwellen

Abb. 21.27 Wirtschaftlichkeit besohlter Schwellen



Lediglich vier der angesprochenen 1500 Querschnitte zeigen ein deutlich schlechteres Verhalten. Eine Analyse dieser Querschnitte zeigte, dass es sich dabei um Stellen mit sehr geringer Tragfähigkeit des Unterbaus handelt. Schwellenbesohlungen können die Kräfte im Schotterbett besser verteilen, die Kräfte kommen aber am Unterbauplanum an. Schwellenbesohlungen sind damit keine Ersatzmaßnahme zur Unterbausanierung, sondern eine höchst wirtschaftliche Maßnahme zur Realisierung eines nachhaltigeren Oberbaus auf gutem Unterbau.

Bei Weichen ergeben sich bei geringeren statischen Einsparungen interne Zinssätze in derselben Höhe, da das Verhältnis der Zusatzkosten der Besohlung zu den Gesamtkosten der Weiche noch günstiger ist. Zudem kommen bei der Besohlung von Weichen Besohlungen verschiedener Steifigkeiten zum Einsatz, um die unterschiedlichen Setzungen bei Überfahrt einer Weiche zu vergleichmäßigen.

Aktuelle Analysen beschäftigen sich mit Rahmenschwellen und HDS Schwellen von Testabschnitten; ihre netzweite Implementierung ist trotz technisch und wirtschaftlich erfolgversprechender Ergebnisse noch nicht realisiert.

21.4 Life-Cycle-Management für den Fahrweg

Generelle Fahrwegstrategien basieren auf Standardelementen, also typischen Situationen, mit denen das Netz beschrieben werden kann. Durch die Erkenntnisse der Oberbauforschung können aus verkürzten Beobachtungen der Entwicklung der Gleislagequalität Rückschlüsse auf die sich bei Einsatz innovativer Komponenten ergebenden Effekte in technischer und wirtschaftlicher Hinsicht abgeleitet werden. Dennoch beruhen derartige generelle Auswertungen immer auf Standardelementen, also „typischen Situationen“

im Netz, wobei Standardelemente und das Verhalten des Gleises über der Zeit an einem Querschnitt kombiniert werden.

Diese Strategien sind als generelle Richtlinien zu verstehen. Einzelentscheidungen für bestimmte Stellen des Netzes sollen ebenfalls den generellen Strategien folgen und damit „strategiekonform“ sein. Andererseits können spezifische Situationen im Netz eine spezifische Adaption genereller Strategien erfordern.

Unter Life-Cycle Management (LCM) wird daher die ortsspezifische Umsetzung LCC-basierter Fahrwegstrategien verstanden [29]. Dazu sind ortsspezifische Daten zu verwenden und damit das ortsspezifische Verhalten des Gleises zu berücksichtigen und auf dieser Basis der optimale Zeitpunkt für eine Gleisarbeit sowie die im Einzelfall anzustrebende Bauabschnittslänge zu bestimmen. Damit sind folgende wesentliche Schritte erforderlich:

1. von Durchschnittswerten hin zu spezifischen Daten,
2. vom Einzelquerschnitt zu Streckenabschnitten,
3. vom Einzeldatum zur Entwicklung der Daten über die Zeit.

Diese Schritte wurden in den vorangegangenen Abschnitten beschrieben. In konsequenter Fortsetzung der langjährigen Kooperation zwischen ÖBB und TU Graz dient das Projekt LifeCycleManagement damit der Umsetzungsunterstützung der LCC-Strategien in der laufenden Maßnahmenplanung. Dabei ist ein Team in der ÖBB Infrastruktur AG tätig und eines am Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrswirtschaft der Technischen Universität Graz.

Im Rahmen des Projekts werden mehrere Aufgabenstellungen bearbeitet. Die Basisstrategien werden laufend aktualisiert und für weitere Fahrwegelemente erarbeitet. Ein entsprechender Informationsfluss wird durch Schulungen und ähnliche Veranstaltungen sichergestellt. Außerdem sollen die LCC-Überlegungen in Form von Strategiepapieren und zum Teil Vorschriften schriftlich verankert werden.

Ein zentraler Teil des Projekts ist jedoch das Life-Cycle-Management selbst, die Unterstützung strategiekonformer Maßnahmenplanung

in der Re-Investition, später vorgesehen auch in der Instandsetzung. Dabei werden von der LCM Gruppe die zentral vorhandenen Zustandsdaten (Messungen, Entwicklungen) an den Projektverantwortlichen in der Fläche weitergegeben. Diese erstellt unter Berücksichtigung des nur vor Ort vorhandenen Wissens Varianten für die Behebung gegebener oder sich entwickelnder Mängel. Das inkludiert Re-Investitionsvarianten ebenso wie alternativ zu setzende Instandsetzungsmaßnahmen mit der zugehörigen Abschätzung der dadurch realisierbaren Nutzungsdauerverlängerung. Die LCM-Gruppe berechnet nach technischer Prüfung der Maßnahmen auf Basis von Lebenszykluskosten die wirtschaftlich günstigste Variante und retourniert die Auswertung an den zuständigen Bearbeiter. Auf diese Weise kann bereits in einem sehr frühen Stadium der Maßnahmenplanung und -entwicklung eine Übereinstimmung der Arbeiten mit den strategischen Vorgaben sichergestellt werden.

Neben der Evaluierung der Varianten einzelner Projekte muss für die Gesamtheit der Maßnahmen im Netz gelten, dass jene Projekte prioritär umgesetzt werden, die im Sinne der Nachhaltigkeit den größten Nutzen bzw. verhinderten Schaden aufweisen.

Mit der geplanten, netzweiten Zustandsanalyse sollte zukünftig eine längerfristige Planung möglich werden, die auch helfen sollte, die Anzahl von Langsamfahrstellen im Hauptnetz der ÖBB zu reduzieren bzw. niedrig zu halten. Planungsstabilität ist dabei einer der wichtigsten Parameter, der sowohl Auswirkungen auf die Umsetzungskosten als auch auf das Zur-Verfügung-Stellen geeigneter Sperrpausen hat.

Der Kernprozess zur Sicherstellung der Nachhaltigkeit der Oberbaumaßnahmen sind dabei technisch-wirtschaftliche Analysen, die ortsspezifisch den optimalen Re-Investitionszeitpunkt sowie die anzustrebende Bauabschnittslänge bestimmen. Zur Bestimmung der wirtschaftlich anzustrebenden Bauabschnittslänge wird als erster Schritt das Verhalten des Gleises, welches in einzelnen Querschnitten vorliegt, über den geplanten Bauabschnitt analysiert. Ist das Verhalten ähnlich und wird eine Mindestlänge überschritten

ten, ist es technisch sinnvoll, diesen Abschnitt als Bauabschnitt festzulegen (Abb. 21.28).

Zur wirtschaftlichen Berechnung des anzustrebenden Re-Investitionszeitpunktes kommt dabei das im Folgenden kurz beschriebene Annuitätenmonitoring zur Anwendung [30]. Dabei wird zur Bestimmung des optimalen Re-Investitionszeitpunktes neben dem Re-Investitionsprojekt aus den Gleisdaten und ihrer Entwicklung als Alternativszenario eine Instandsetzungsvariante ermittelt. Generell liegen für den betrachteten Streckenabschnitt das Verhalten sowie sämtliche anderen Daten in Zeitreihen der Jahre 2000 bis heute vor. Davor ist lediglich das Einbaudatum bekannt. Eine Rekonstruktion der Vergangenheit vor dem Jahr 2000 ist daher ebenso erforderlich wie die Prognose in die Zukunft, um sowohl die Geschichte des Streckenabschnittes als auch sein noch vorhandenes Potenzial darzustellen. Nur so können die gesamten Lebenszykluskosten im Rahmen des Annuitätenmonitorings berücksichtigt werden. Dabei werden Lebenszykluskosten der Varianten und danach ihre Annuitäten ermittelt. Da die Bauabschnittslänge bekannt ist, kann mit den längenspezifischen Einheitskosten der Gleisarbeiten und den dazugehörigen Betriebserschwerungskosten kalkuliert werden. Diese Varianten werden dann gegenübergestellt, wobei der Umsetzungszeitpunkt der Re-Investitionsvariante schrittweise verschoben wird. Der sich dabei ergebende Annuitätenverlauf des bestehenden Gleisabschnitts ist das wesentliche Ergebnis, da der optimale Re-Investitionszeitpunkt dann erreicht ist, wenn die Annuitäten ein Minimum erreicht haben. Vor diesem optimalen Re-Investitionszeitpunkt sinken die Annuitäten, da die Nutzungsdauer noch nicht ausgereizt ist. Das nach dem anzustrebenden Ersatzzeitpunkt zu beobachtende Steigen der Annuitäten zeigt, dass die zusätzliche Nutzungsdauer mit zu hohen Kosten der Instandsetzung oder auch erforderlicher Dauerlangsamfahrstellen erkaufte wird (Abb. 21.29).

In Abb. 21.30 ist ein typischer Annuitätenverlauf dargestellt. Der optimale Re-Investitionszeitpunkt ergibt sich im Jahr nach dem Minimum, da die steigenden Instandsetzungskosten durch die Re-Investitionsmaßnahme nicht erforderlich werden.

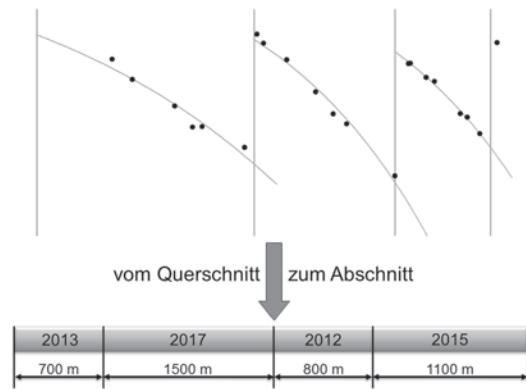
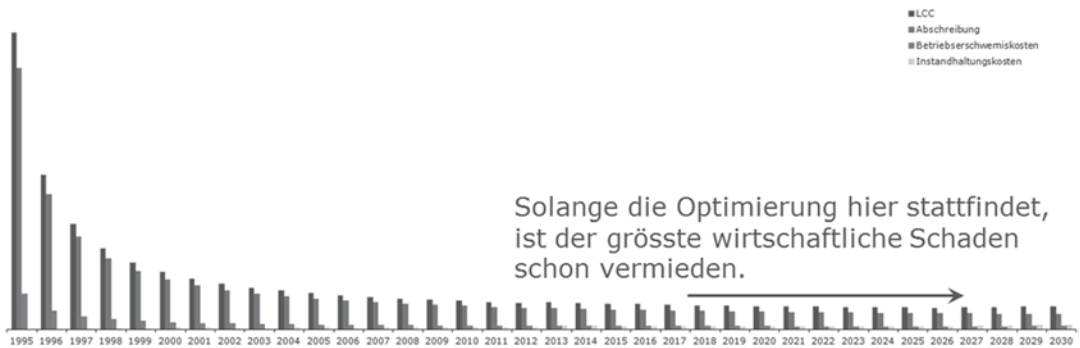


Abb. 21.28 Vom Querschnitt zur Bauabschnittslänge

Diese prinzipiell einfache Vorgangsweise bedarf des Erstellens spezifischer Arbeitszyklen. Das bedeutet, dass nicht nur die Nutzungsdauer, sondern sämtliche künftige Instandsetzungsmaßnahmen prognostiziert werden müssen. Dabei gelangt die bereits beschriebene Prognose für Nutzungsdauer und Stopfen zur Anwendung, um das bestehende Gleis in seinen Jahren vor 2000 und in Zukunft beschreiben zu können (Abb. 21.31).

Das Erfordernis anderer Arbeiten wird aus spezifischen Daten heraus abgeschätzt, wobei für die Jahre 2000 bis heute die realen Maßnahmen bekannt sind. So wird z. B. die Änderung der Schienenneigung zur Abschätzung des Bedarfs an Zwischenlagenwechsel herangezogen. Auch werden Wechselwirkungen zwischen den Instandsetzungsmaßnahmen berücksichtigt, da z. B. bei einem Schienenwechsel (Prognose des Bedarfs aus der Entwicklung des Schienenverschleißes und der Dauerfestigkeitsgrenzen) auch die Zwischenlagen gewechselt werden, was beim Bedarf an Zwischenlagenwechsel zu berücksichtigen ist.

Dieser Vorgang wird bei ähnlichem Gleisverhalten des Streckenabschnitts vor bzw. nach dem eigentlich betrachteten Abschnitt ebenfalls durchgeführt, falls eine Verlängerung der Bauabschnittslänge technisch möglich ist. Durch die Bestimmung der verschiedenen Re-Investitionszeitpunkte kann unter Berücksichtigung der sich bei Zusammenlagen der Abschnitte ergebenden reduzierten Einheitskosten der Gleisarbeiten die



Bei steigender Nutzungsdauer sinkt die Abschreibung, während bei höherem Alter die Instandhaltungskosten und Betriebserschwerungskosten ansteigen.

Abb. 21.29 Prinzip des Annuitätenmonitorings

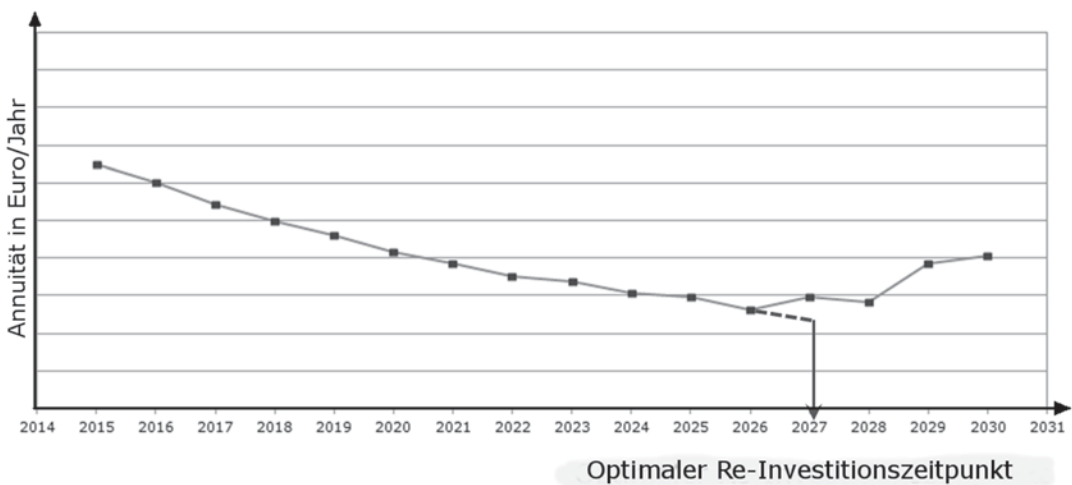


Abb. 21.30 Typischer Annuitätenverlauf

optimale Bauabschnittslänge bestimmt werden [31].

Das beschriebene LCM ist seit 2011 in Anwendung, vorerst nur für größere Projekte, da parallel zur Anwendung mit den sich ergebenden Anforderungen weiterentwickelt und geschärft wird. Ist dieses Modell aber tatsächlich einsatzfähig? Können die erforderlichen Prognosegenauigkeiten erreicht werden?

Beide Fragen sind mit einem „ja, aber“ zu beantworten. Der große Aufwand der Umsetzung liegt in der noch nicht realisierten EDV-Unterstützung des Gesamtmodells. Zwar stehen Zeitreihen aus der Datenbank weitgehend automati-

siert zur Verfügung; die Prognose der Arbeiten und Abstimmung untereinander und damit das Erstellen eines Arbeitszyklus bedarf jedoch Expertenwissens zur Analyse der einzelnen Signale. Ist der Arbeitszyklus bekannt, geschieht die wirtschaftliche Auswertung bereits heute weitgehend automatisiert. Der sich insgesamt ergebende manuelle Arbeitsaufwand limitiert jedoch die Anwendung der Methodik derzeit noch auf Großprojekte.

Prognosen aller Instandsetzungsmaßnahmen in die nächsten 15 bis 20 Jahren sind noch nicht ausreichend stabil. Diese Einschränkung ist für die praktische Anwendung jedoch irrelevant, da

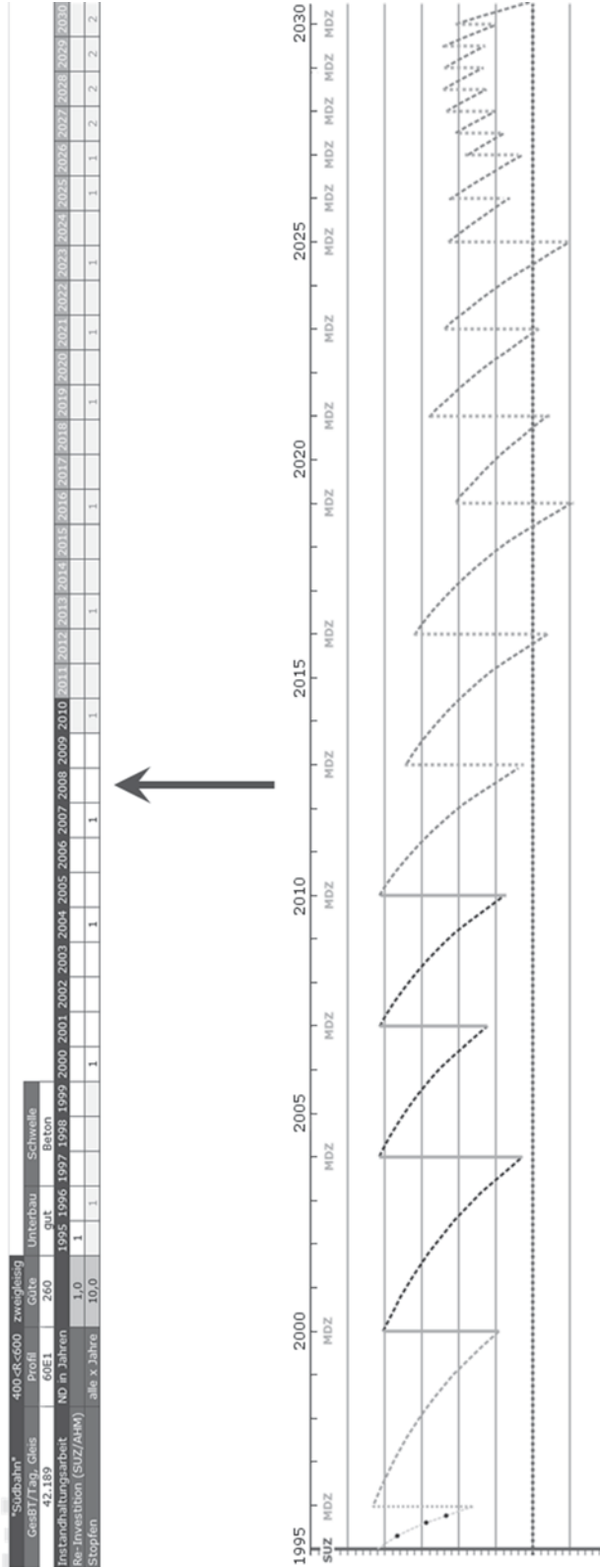


Abb. 21.31 Prognose des Stopfbedarfs

Re-Investitionszeitpunkt und Instandsetzungsbedarf im Rahmen der dazu vorgesehenen Prozessdauern prognostiziert werden müssen und nicht darüber hinaus. Diese Vorläufe belaufen sich auf maximal 6 Jahre – ein Prognosehorizont, der beherrschbar ist. Liegt der sich ergebende Re-Investitionszeitpunkt weiter in der Zukunft, ist diese Aussage relevant, und nicht das exakte Jahr.

Die größte Unsicherheit in der Prognose liegt aber gar nicht in der Prognose selbst. Die Umsetzung der prognostizierten Instandsetzungsmaßnahmen stellt heute die größte Unsicherheit dar, hat aber gleichzeitig einen nicht unwesentlichen Einfluss auf den errechneten Re-Investitionszeitpunkt. Dieser Unsicherheit kann nur durch rollierende Auswertungen, etwa im Rhythmus von zwei Jahren, begegnet werden.

21.5 Ausblick

Natürlich ist es das Ziel der Forschung, weitere Zusammenhänge des Fahrwegs zu verstehen und die Prognosegenauigkeit zu erhöhen.

Während zunächst die Re-Investition im Bereich Fahrweg im Mittelpunkt der Prozesse steht, soll in den nächsten Jahren auch die strategische Planung großer Instandsetzungstätigkeiten erfolgen, da nur die Abstimmung zwischen Erhaltung und Erneuerung letztlich einen optimierten Mitteleinsatz sicherstellen kann.

Dies ist grundsätzlich bereits heute möglich, scheitert jedoch an dem hohen Aufwand der Auswertungen. Zur Ausweitung des LCM Prozesses auf auch kleinere Re-Investitionsprojekte und auch Instandsetzungsprojekte ist zumindest eine schrittweise Automatisierung des LCM erforderlich.

In Zukunft ist jedoch noch eine Ausweitung des LCM-Prozesses auf weitere Komponenten des erweiterten Fahrwegs vorgesehen, d. h. eine Anwendung dieser Vorgangsweise nicht nur für den Oberbau (Gleise und Weichen). Grundsätzlich kann die Vorgangsweise zur Untersuchung anderer Fahrwegkomponenten ebenfalls angewendet werden; die dazu erforderliche Datenbasis in auswertbarer Form muss jedoch erst

erarbeitet werden. Für weitere Arbeiten von der Forschung bis zur Implementierung ist daher gesorgt, um sich dem Ziel einer noch nachhaltigeren Eisenbahn weiter annähern zu können.

Literatur

1. Lichtberger B (2003) Handbuch Gleis. Tetzlaff Verlag
2. Veit P (1998) Entwicklung von Oberbaustrategien A-Strecken. TU Graz
3. Veit P (1999) Entwicklung von Oberbaustrategien B- und C-Strecken. TU Graz
4. Veit P (2001) Projekt „Strategie Fahrweg“, Basisuntersuchung Weichen. TU Graz
5. Veit P (2001) Projekt „Strategie Fahrweg“, Basisuntersuchung Brücken. TU Graz
6. Veit P (2000) Projekt „Strategie Fahrweg“, Basisuntersuchung Eisenbahnkreuzungen. TU Graz
7. Veit P (2003) Projekt „Strategie Fahrweg“, Basisuntersuchung Bahnsteige. TU Graz
8. Veit P, Marschnig St (2005) Projekt Strategie Komponenten, Schienen. TU Graz
9. Veit P, Marschnig St (2005) Projekt Strategie Komponenten, Weichen. TU Graz
10. Girsch G, Veit P (2005) Rail profiles and steel grades. European Railway Review
11. Veit P, Marschnig St (2006) Projekt Strategie LCC 2006–Betriebserschwerniskosten. TU Graz
12. Veit P (2001) Projekt „Strategie Fahrweg“, Wechselwirkung Fahrzeug–Oberbau. TU Graz
13. Veit P, Marschnig St (2008) Projekt Baustellenlogistik. TU Graz
14. Veit P, Marschnig St (2010) Strategie Gleise Aktualisierung, TU Graz
15. Schilder R, Stelzer F (2001) Investitionsstrategie Oberbau. ÖBB
16. Auer F (2010) Zur Verschleißreduktion von Gleisen in engen Bögen. Dissertation, TU Graz
17. Rießberger K (1998) Gleisgeometrie und Wirtschaftlichkeit – oder – wie gut muss ein Gleis sein? ÖVG Spezial Bd. 41
18. Mlinarić T (2001) Long-term assessment of track geometry quality with the aim of maintenance demand identification. Dissertation, Zagreb
19. Auer F (2004) Gleislagequalitätsanalyse zur praktischen Instandsetzungsoptimierung. zevrail Sonderheft ÖVG
20. Presle G (2004) Der Weg zum gläsernen Fahrweg. zevrail Sonderheft ÖVG
21. Hummitzsch R (2009) Zur Prognostizierbarkeit des Qualitätsverhaltens von Gleisen – Statistische Analyse des Gleisverhaltens zur Erstellung eines Prognosemodells. Dissertation, TU Graz
22. Holzfeind J (2009) Zur Prognostizierbarkeit des Qualitätsverhaltens von Gleisen – Analyse des Gleisverhaltens am Einzelquerschnitt. Dissertation, TU Graz

23. Auer F (2003) Ein Prognosemodell zur Abschätzung der Nutzungsdauer des Oberbaus unter Berücksichtigung der Eingriffsschwelle. Diplomarbeit, TU Graz
24. Veit P (1999) Rechenmodell zur wirtschaftlichen Bewertung von Strategien im Bereich Fahrweg. Habilitation, TU Graz
25. Veit P, Marschnig St (2004) Projekt „Neubau“. TU Graz
26. Hansmann F (2011) Auswertung Integrierte Instandsetzung. TU Graz
27. Wogowitsch M (2011) LifeCycleManagement – ÖBB Stopfstrategien. Vortrag, Wien
28. Marschnig St, Berghold A (2011) Besohlte Schwellen im netzweiten Einsatz. Eisenbahntechnische Rundschau, Darmstadt
29. Veit P (2012) Auf dem Weg zur Nachhaltigkeit – Life Cycle Management der ÖBB-Infrastruktur AG. Vortrag, Wien
30. Veit P, Marschnig St (2012) Life Cycle Management in der Realität. zevrail, Berlin
31. Enzi M (2011) Optimaler Re-Investitionszeitpunkt für den Oberbau von Streckenabschnitten. Dissertation, TU Graz

Ulrich Erdmann

22.1 Anforderungen

Modernes Anlagenmanagement ist ohne geeignete Datenverarbeitungssysteme heute nicht mehr denkbar. In diesem Zusammenhang findet man auch häufig den Begriff „Infrastruktur-Managementsystem“. Die Aufgabenstellung geht jedoch weit über das Verwalten von Anlagedaten und die Überwachung des Zustandes hinaus. Zielstellung ist es, letztendlich eine vom DV-System gestützte optimierte Instandhaltungsstrategie zu realisieren. Grundvoraussetzung dafür ist es, den Fahrweg als komplexes Ganzes zu betrachten. Es ist erforderlich, das gesamte Spektrum aller Inspektions- und Stammdaten in einem einzigen System zu speichern, und dies über einen historisch gesehen möglichst langen Zeitraum.

Die Praxis zeigt, dass gerade die Verwaltung von Massendaten im Bereich Eisenbahninfrastruktur ein häufig unterschätztes Problem darstellt. Die Grenzen sind nicht durch fehlende Speicher- oder Rechnerkapazität gegeben, sondern vielmehr fehlt es an geeigneten Datenbankmodellen und Softwarelösungen, die die Spezifika der Eisenbahninfrastruktur berücksichtigen. Das „System Bahn“ ist ein sehr komplexes Gebilde.

Ziel der Softwareindustrie ist es naturgemäß, Standardlösungen für Infrastruktur-Managementsysteme bereitzustellen, die für einen brei-

ten Anwenderkreis nutzbar sind und somit auch einen großen Absatzmarkt sichern.

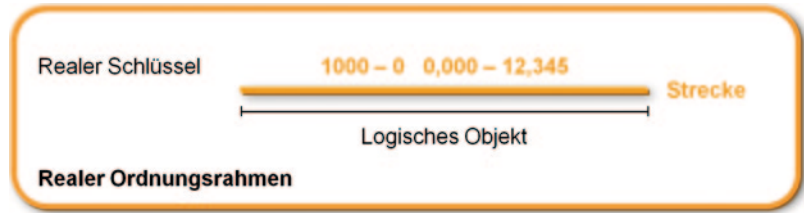
Der Versuch, diese Standardlösungen an die Gegebenheiten der Eisenbahninfrastruktur anzupassen, scheitert spätestens dann, wenn Inspektionsdaten zu linearen Objekten, wie Gleise, Oberleitungen, Weichen, zu verwalten sind.

Diese Situation führte Mitte der 90er Jahre dazu, dass sich eine Reihe von Bahnverwaltungen dazu entschlossen hat, teure Eigenentwicklungen zu realisieren. Eine Bündelung der Entwicklungskapazitäten blieb aus. Hinzu kommt, dass jede Bahnverwaltung ihre eigenen „Gesetze“ hat, welche natürlich in diesen Entwicklungen ihren Niederschlag fanden. Eine Wiederverwendbarkeit war damit nahezu ausgeschlossen.

Diese Situation wurde durch die Softwareindustrie Anfang 2000 erkannt. Es war zwingend erforderlich ein Standardsystem zu entwickeln, welches die Spezifika der Eisenbahninfrastruktur berücksichtigt. Seit Anfang des Jahres 2003 ist eine erste Standardsoftware am Markt verfügbar. Das System **IRISSYS**[®] (International Railway Services System) verfügt über geeignete Modelle und Verfahren, um eine schnelle Adaptierbarkeit auf jede Bahnverwaltung zu ermöglichen. Darüber hinaus können die Systeme unter Einhaltung von konfigurierbaren Sicherheitsmechanismen miteinander verbunden werden und würden somit einen Überblick über ganze Korridore ermöglichen. Eine internationale Zusammenarbeit und der Austausch von Forschungsergebnissen wäre ein unschätzbare Effekt, der zukünftig genutzt werden sollte.

U. Erdmann (✉)
Erdmann-Softwaregesellschaft mbH, 02829 Schöpstal,
02826 Görlitz, Deutschland
E-Mail: info@erdmannsoftware.com

Abb. 22.1 Einfaches Modell des Fahrweges



22.1.1 Systemarchitektur

Um eine Standardlösung für diesen Bereich entwickeln zu können, sind für die Softwareindustrie umfangreiche Kenntnisse über den Aufbau und das Verhalten des Fahrwegs zwingend erforderlich. Im Gegenzug ist es für den Eisenbahningenieur wichtig, grundlegende Kenntnisse über die Architektur eines Infrastruktur-Management-systems zu besitzen. Dies ist eine Voraussetzung, um auch die Möglichkeiten zu erkennen, die diese Systeme bieten. Nachfolgend sind einige grundlegende Zusammenhänge dargestellt.

22.1.1.1 Logische und physikalische Objekte des Fahrweges

Das System Fahrweg besteht aus verschiedenen Objekten (Gleis, Weiche, Oberleitung, Tunnel, Bahnübergang usw.), die darüber hinaus noch in einem räumlichen und inhaltlichen Zusammenhang stehen. Art und Umfang dieser Objekte und der zu speichernden Daten sind von Bahnverwaltung zu Bahnverwaltung unterschiedlich. Das System muss flexibel genug sein, um beliebige Objekttypen verwalten zu können.

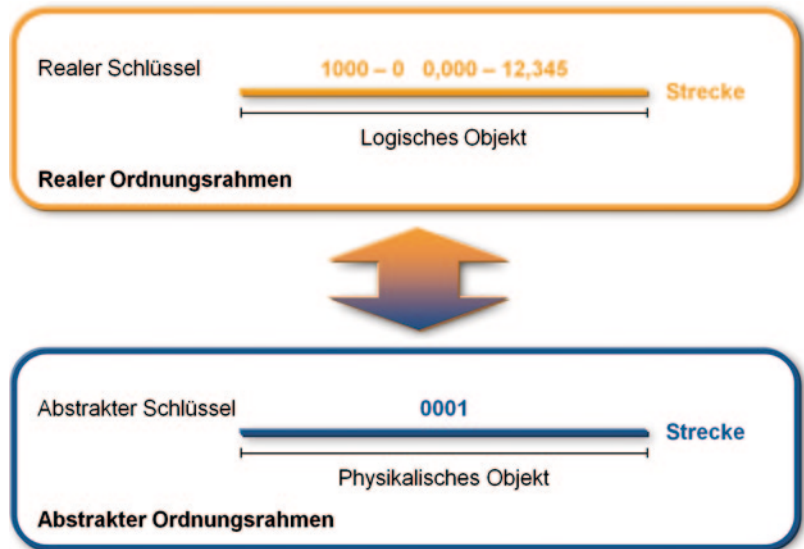
Grundsätzlich wird unterschieden zwischen Objekten, die eine Längenausprägung besitzen und Punktobjekten. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die eindeutige Bezeichnung der Objekte. Die Vorgaben zur Einteilung und Strukturierung dieser Objekte ist die grundlegende Basis um einen eindeutigen Zugriff zu realisieren. Man spricht in diesem Zusammenhang von einem Ordnungsrahmen. Beispielsweise muss das gesamte Streckennetz eindeutig beschrieben sein. Dazu werden Streckenbezeichnungen bzw. Streckennummerierungen festgelegt und Richtlinien für die Kilometrierung. Dieser Ordnungsrahmen ist in Europa nicht standardisiert. Jede Bahnverwaltung hat eigene Vorschriften und Regeln für

diesen Ordnungsrahmen entwickelt. Mitunter werden sogar verschiedene Ordnungsrahmen für ein und dasselbe Objekt verwendet. Das sind gegebene Tatsachen, auf die ein System reagieren muss. Datenverarbeitungssysteme benötigen für jedes Objekt eine eindeutige Bezeichnung (Primärschlüssel). Unter diesem Primärschlüssel werden die Informationen zu dem Objekt in der Datenbank gespeichert. Es bietet sich somit an, den durch die Bahnverwaltung vorgegebenen Ordnungsrahmen als Primärschlüssel zu verwenden. Somit ist sichergestellt, dass der entsprechende Streckenabschnitt auch in der Datenbank eindeutig identifiziert werden kann.

Eine Änderung der Struktur des Ordnungsrahmens würde jedoch ein neues Datenbankmodell erfordern. Aufgrund der Tatsache, dass diese Objektbezeichnungen von Bahnverwaltung zu Bahnverwaltung unterschiedlich sind, wäre eine Adaptierbarkeit nicht mehr gegeben. Es ist erforderlich, eine klare Trennung zwischen dem physikalischen Objekt und der Bezeichnung vorzunehmen. Jedes Fahrwegobjekt erhält einen eindeutigen Schlüssel, der vom System automatisch generiert wird. Das ist das eigentliche physikalische Objekt. Auf dieses Objekt können verschiedene Bezeichnungen (logisches Objekt) angewendet werden. Die Physik ist überall gleich! Nur die Logik, sprich die Beschreibung, ist unterschiedlich. Es muss also zwischen einem physikalischen und einem logischen Modell unterschieden werden. Ein einfaches Modell ist in Abb. 22.1 aufgeführt.

Wie in Abb. 22.2 dargestellt, ist die Grundlage ein physikalisches Objekt mit einem eigenen internen abstrakten Schlüssel, welcher die Grundlage für die gesamte Speicherung der Daten zu diesem Objekt bildet. Dieser Schlüssel muss darüber hinaus weltweit eindeutig sein. Dies

Abb. 22.2 Logisch physikalisches Modell des Fahrweges



gestattet später eine Kopplung verschiedener Systeme.

Bei der Abbildung der physikalischen Objekte im Datenbanksystem ist ein weiterer Aspekt zu berücksichtigen. Bestimmte physikalische Objekte stehen in einer räumlichen oder logischen Beziehung. Es muss also möglich sein, diese Beziehungen abbilden zu können. Ein klassischer Fall ist z. B. der Zusammenhang zwischen Oberleitung und Gleis. Dies wird als Ortsbeziehung bezeichnet.

Dieses Modell gestattet nun aus verschiedenen Sichten eine integrierte Betrachtung des Fahrweges. Beispielsweise können aus der Sicht der Oberleitungssegmente auch Daten zum Oberbau abgerufen werden. Das System stellt diese automatisch über die Ortsbeziehung zur Verfügung, Abb. 22.3.

22.1.1.2 Flexible Datenstrukturen

Um Daten speichern zu können, ist es erforderlich die Struktur dieser Daten zu beschreiben. Diese Struktur bezeichnet man als Datensatz, und die Bestandteile eines Datensatzes sind Attribute. Ein einfaches Beispiel dafür ist eine Tabelle. Jede Zeile repräsentiert einen Datensatz und jede Spalte ein Attribut. Der Aufbau der Tabelle muss festgelegt werden und wird in einem Datenbankschema implementiert. Diese vom Grundsatz her übliche Verfahrensweise hat zur Konsequenz,

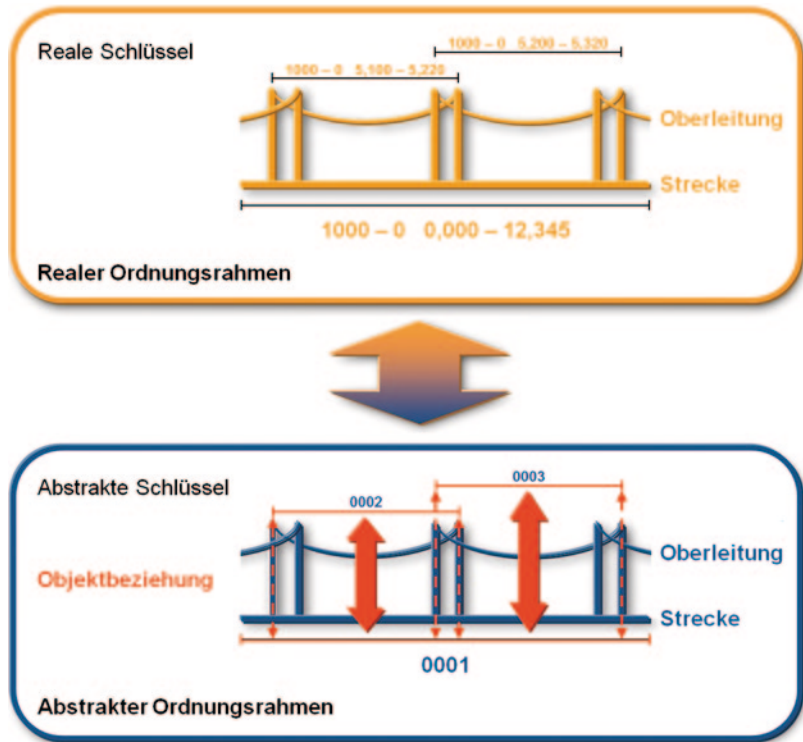
dass bei neuen Datenstrukturen auch ein neues Datenbankschema erforderlich ist und dies somit Softwareänderungen nach sich zieht.

Eingangs wurde darauf hingewiesen, dass gerade im Bereich Eisenbahninfrastruktur die Anforderungen von Bahn zu Bahn sehr unterschiedlich sein können. Das liegt schon in der Tatsache begründet, dass unterschiedliche Messtechnik zum Einsatz kommt und somit Art und Detaillierungsgrad der gewonnenen Daten unterschiedlich sind. Der Lösungsweg sind generische Datenbankmodelle. Der wesentliche Unterschied besteht darin, dass ohne Softwareänderungen die Struktur der Daten vom Anwender verändert bzw. neu definiert werden kann. Er besitzt quasi einen Baukasten verschiedener Attribute, aus denen er jederzeit eine neue Struktur erstellen kann.

22.1.2 Datenimport/Schnittstellen

In den beiden vorangegangenen Abschnitten wurde erläutert, wie die Struktur des Datenbanksystems entsteht. Im nächsten Schritt müssen die technischen Voraussetzungen geschaffen werden, die den Datenaustausch zwischen verschiedenen Messsystemen und anderen Datenbanksystemen ermöglichen. Die grundsätzliche Verfahrensweise besteht darin, dass eine Schnittstelle definiert werden muss. Auf Basis dieser Schnittstellen-

Abb. 22.3 Komplettes Modell des Fahrweges



definition muss das Importprogramm des Infrastruktur-Managementsystems angepasst werden. Wie häufig in der Vergangenheit anzutreffen, wurden auf Grundlage dieser Schnittstellendefinitionen spezielle Importprogramme entwickelt. Tatsache ist jedoch, dass eine Vielzahl verschiedener Messsysteme und Datenquellen existiert und somit diese Technologie nicht mehr vertretbar ist. Aktuell gibt es Bemühungen im Bereich Eisenbahn Schnittstellen zu standardisieren. Mit der Initiative RailML wurde ein Schema entwickelt, auf dessen Basis Daten zwischen verschiedenen Systemen ausgetauscht werden könnten. Der Standard ist nicht verbindlich und basiert auf der freiwilligen Mitwirkung. Diese Initiative ist grundsätzlich zu begrüßen, jedoch wird es auch auf lange Sicht nicht möglich sein, alle Systeme diesem Standard anzupassen.

Es ist erforderlich ein flexibles System bereitzustellen, das ohne Programmierung den Datenimport beliebiger Quellen gestattet. Das Prinzip beruht darauf, dass mit Hilfe eines Interfacdesigners der Aufbau einer externen Datenquelle beschrieben werden kann und das Importpro-

gramm auf Basis dieser Informationen automatisch angepasst wird, Abb. 22.4. Somit entfallen aufwändige Programmierarbeiten.

Ein weiterer wesentlicher Aspekt ist die ortsgenaue Speicherung der Daten. Die Ortsgenauigkeit der gewonnenen Messdaten ist je nach System heutzutage noch recht unterschiedlich. Spitzenwerte liegen bei einer Genauigkeit von 0,5 m. Die Praxis zeigt aber auch, dass Abweichungen von 100 m und mehr keine Seltenheit sind. Für einen möglichst ortsgenauen Datenimport bietet das System Referenzdaten an. Dies können GPS-Informationen sein, aber auch Daten aus vorangegangenen Messungen. Mit diesen Referenzdaten können die zu importierenden Daten verglichen und über geeignete Korrelationsverfahren automatisch korrigiert werden, Abb. 22.5.

22.1.3 Das Analysesystem

Letztendlich entscheidend für den Anwender sind die Möglichkeiten, den vorhandenen Datenbestand auszuwerten zu können und in geeigneter

Abb. 22.4 Interfacedesigner

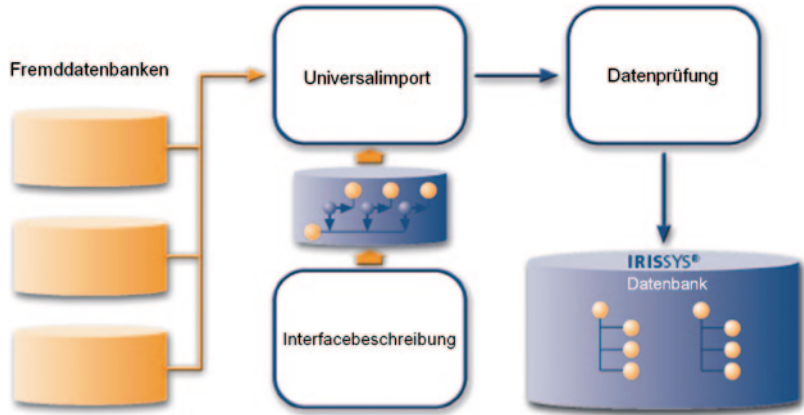
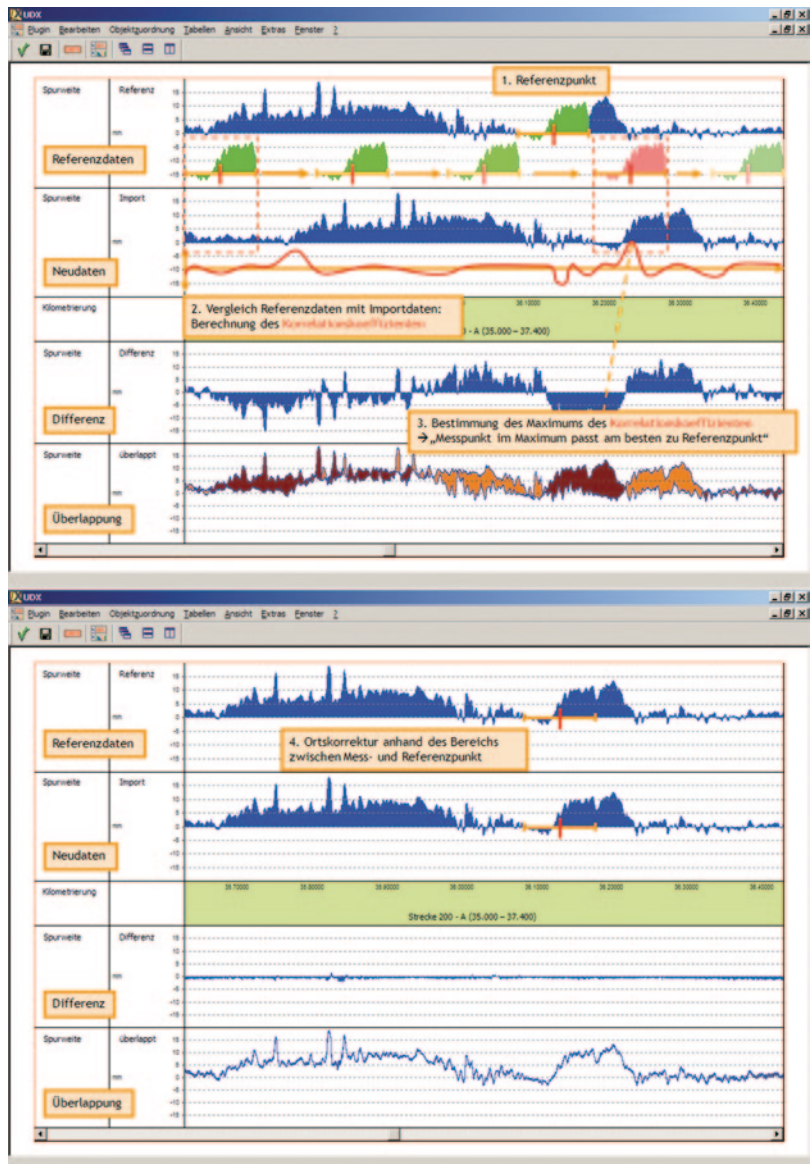


Abb. 22.5 Korrelationsverfahren



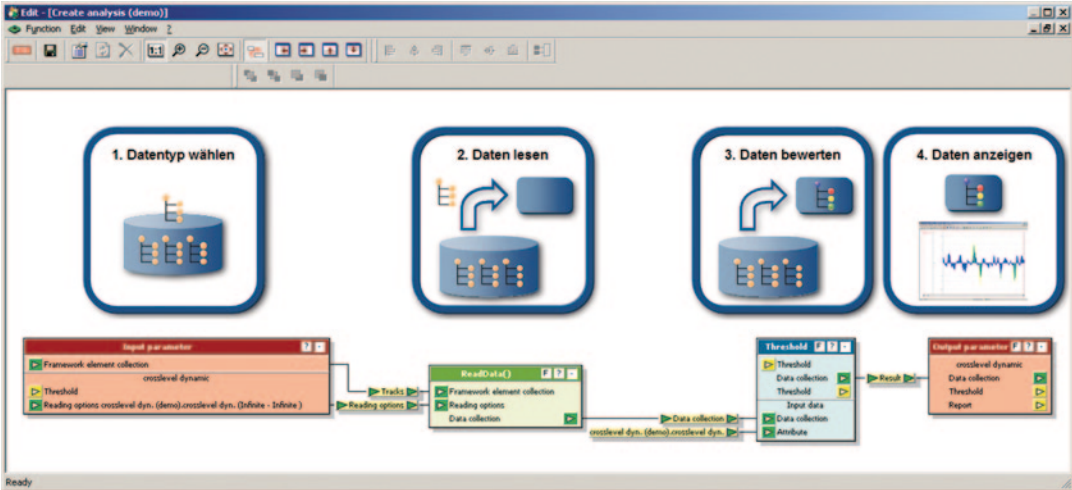


Abb. 22.6 Grafische Operatoren

Form zu präsentieren. Berücksichtigt man allein die verschiedenen Vorschriften in Europa, nach denen die Werte der Gleisgeometrie ausgewertet werden, und das gesamte Regelwerk der Eisenbahnverwaltungen, so ergibt sich eine unüberschaubare Anzahl von möglichen Recherchen, Berechnungen und Auswertungen. Natürlich ist es unmöglich, diese im Vorfeld zu programmieren. Demzufolge muss ein modernes Infrastruktur-Managementsystem Werkzeuge bereitstellen, mit dem diese Analysen flexibel und möglichst einfach erstellt werden können. Eine komplette Analyse besteht aus folgenden drei Funktionalitäten:

- Formulierung der Lese-, Recherchefunktion,
- Berechnungsfunktionen,
- Präsentation der Ergebnisse.

Dabei muss das Gesamtsystem für den Eisenbahningenieur beherrschbar bleiben. Lösungsansätze, wie eine spezielle Programmiersprache für den Bereich Eisenbahn, haben sich nicht bewährt, vielmehr dagegen grafische Benutzeroberflächen. Es besteht dort die Möglichkeit, verschiedene Operatoren zuzuordnen und diese miteinander zu verknüpfen, Abb. 22.6. So bleibt der logische Informationsfluss auch visuell erhalten.

Das System **IRISSYS**[®] verfügt über ein universelles Programmierinterface, das es gestattet, externe Tools anzubinden, Abb. 22.7. Es ist unter

anderem möglich, so leistungsfähige Standardwerkzeuge wie LabVIEW[®] zu verwenden. LabVIEW[®] verfügt im Bereich der Datenanalyse über einen Funktionsumfang von ca. 450 Analysefunktionen. Diese umspannen unter anderem die Fachbereiche Lineare Algebra, Statistik, Optimierung, Interpolation, Extrapolation, Regression, Korrelation, Fensterung, Digitale Filter, Signalvermessung, Signalaufbereitung und Signalgenerierung. Durch Erweiterungskomponenten lässt sich der Funktionsumfang von LabVIEW[®] noch um einige Funktionen erweitern.

Darüber hinaus ist eine Anbindung des Konstruktionsprogramms Autodesk Map[®] möglich. Dies ist gerade in dem Bereich nützlich, wo Auswertungen an grafischen Objekten wie Weichen, Computerkarten oder anderen Bauwerken dargestellt werden sollen. Die Grafiken können mit Autodesk Map[®] auch aus Fremdformaten importiert oder direkt in Autodesk Map[®] erstellt werden. In einem zweiten Schritt werden sie mit den physikalischen Objekten in der Datenbank verbunden.

Des Weiteren steht die Anbindung von NeuroSolutions[®] zur Verfügung. Das ist eine leistungsfähige Entwicklungsumgebung zum grafischen Design von Künstlichen Neuronalen Netzen (KNN). Dieses Werkzeug umfasst elf verschiedene Netzwerktopologien, acht verschiedene Transferfunktionen und fünf verschiedene Lern-

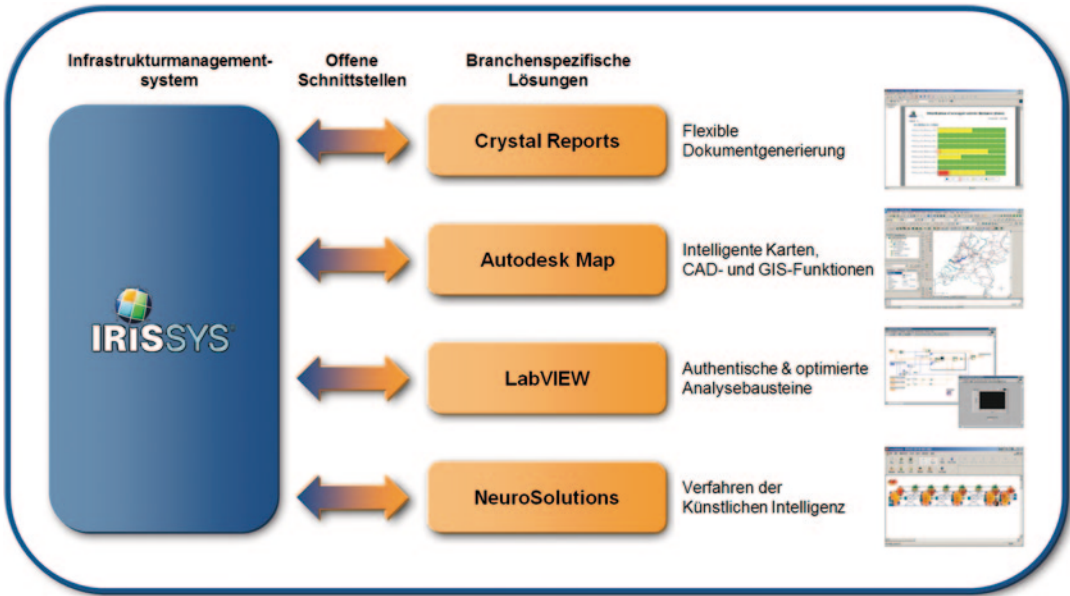


Abb. 22.7 Kopplung externer Tools

verfahren. Mit diesen Bausteinen lassen sich Anwendungen für nahezu alle möglichen Einsatzgebiete für KNN realisieren.

Es ist grundsätzlich möglich, weitere Werkzeuge an das System anzuschließen. Das hat den großen Vorteil, dass bereits entwickelte Lösungen nicht noch einmal nachempfunden werden müssen und bringt einen erheblichen Effektivitätsgewinn.

22.1.4 Anforderungen und Grundformen der Darstellung

Eine wesentliche Anforderung an die Datendarstellung in Infrastruktur-Managementsystemen ist die Skalierbarkeit. Abhängig von der durchzuführenden Analyse muss die Betrachtung von Einzelmesswerten über die Ansicht von Streckenabschnitten bis hin zur komprimierten Darstellung des gesamten Streckennetzes möglich sein. In jedem Detaillierungsgrad der Anzeige ist dabei auf eine ortsgenaue Datendarstellung zu achten. Weiterhin spielt die zeitlich historische Orientierung eine wichtige Rolle. Sie bildet die Grundlage für die Darstellung von Zustandshis-

torien bzw. Entwicklungstendenzen. Somit ist der Anwender in der Lage, Trendanalysen durchzuführen.

Es gelten generelle Grundsätze für die Datendarstellung in Infrastruktur-Managementsystemen. Dazu gehören unter anderem:

- Übersichtlichkeit und hoher Informationsgehalt,
- Benutzerfreundlichkeit und Ergonomie,
- Anpassbarkeit an Nutzeranforderungen,
- geringe Wartezeiten.

Ein weiterer wichtiger Bestandteil der Datendarstellung ist die Speicherung bzw. Ausgabemöglichkeit von Ansichten in beliebige Fremdformate. Darunter fällt im einfachsten Fall der Ausdruck einer Ansicht. Viel bedeutender ist jedoch, dass Darstellungen in Formate anderer DV-Systeme überführt werden können.

Nachfolgend sollen konkrete Darstellungsformen betrachtet werden, die sich in der Praxis bewährt haben. Der Begriff der Darstellungsform kennzeichnet die Art und Weise, wie Daten in einem System visualisiert werden.

Die wohl wichtigste Darstellungsform ist die zweidimensionale Ansicht. Sie ist durch einen hohen Informationsgehalt, Übersichtlichkeit und

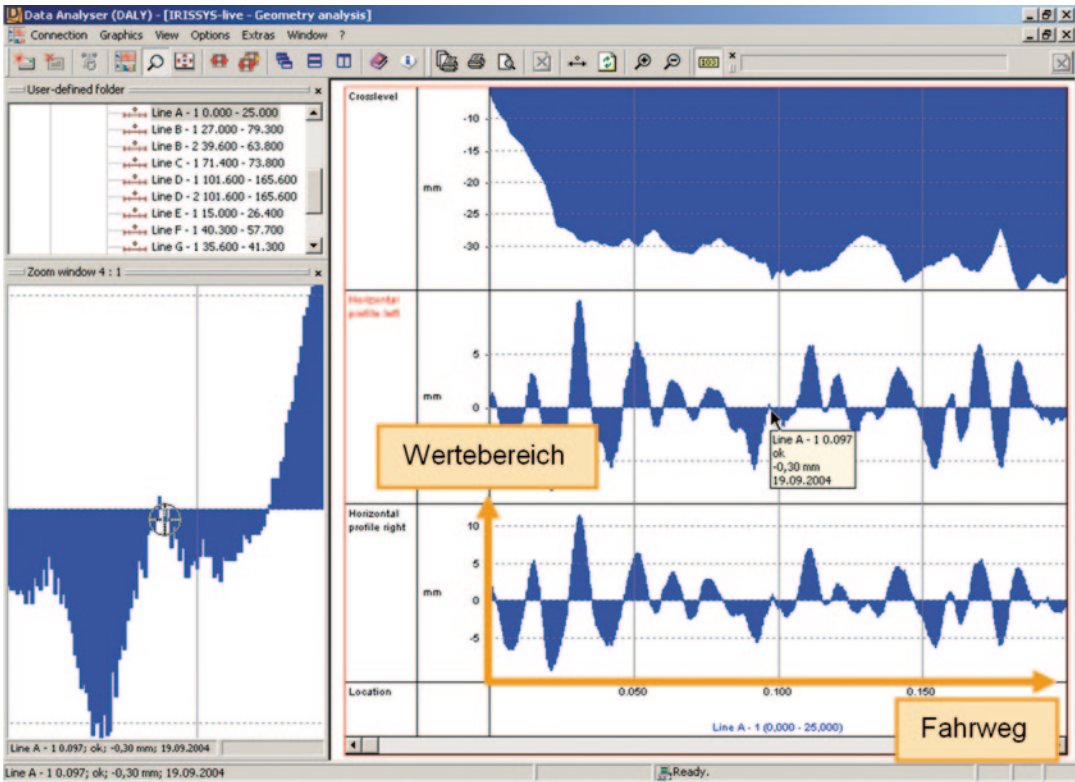


Abb. 22.8 Die zweidimensionale Darstellungsform

gute Skalierbarkeit gekennzeichnet. In einer Dimension wird dabei die Ausdehnung des Fahrwegs bzw. die Kilometrierung dargestellt. Die zweite Dimension bildet den Wertebereich der anzuzeigenden Daten ab. Den prinzipiellen Aufbau soll die Abb. 22.8 näher verdeutlichen. Üblicherweise werden in der Praxis mehrere zweidimensionale Ansichten miteinander kombiniert, um alle wesentlichen Zustandsparameter im Blickfeld zu haben.

Die zweidimensionale Darstellungsform eignet sich aufgrund ihrer Eigenschaften vor allem für die detaillierte Analyse von Einzelmesswerten bis hin zur Auswertung einzelner Streckenabschnitte bzw. ganzer Strecken.

Eine Erweiterung der zweidimensionalen Ansicht stellt die dreidimensionale Form dar, Abb. 22.9. Sie bietet einen ähnlichen Informationsgehalt wie die vorhergehende Variante. Im Gegensatz dazu werden der Wertebereich und der Fahrwegverlauf in den dreidimensionalen Raum

verlegt. Zusätzlich werden Objekte, wie Elemente des Oberbaus, Brücken oder Übergänge, abgebildet. Dadurch entsteht eine weniger abstrakte und realitätsnahe Darstellung. Zwar wirkt die dreidimensionale Ansicht optisch deutlich ansprechender, jedoch verringert der modellhafte Charakter die Menge der darstellbaren Informationen. Hinzu kommt, dass derzeit keine Auswertungen existieren, die sich durch die Anwendung dreidimensionaler Darstellungen effizienter gestalten lassen. Aus diesen Gründen ist die dreidimensionale Darstellungsform für die Praxis nicht relevant.

Für einen netzweiten Überblick bietet sich die Kartenform an, Abb. 22.10. Dazu wird das zu analysierende Streckennetz digital abgebildet. Entlang der gezeichneten Strecken erfolgt die Datendarstellung. Der Informationsgehalt ist im Vergleich zur zwei- oder dreidimensionalen Darstellung deutlich geringer, da die Kartendarstellung nur die Anzeige weniger Informationen zu-

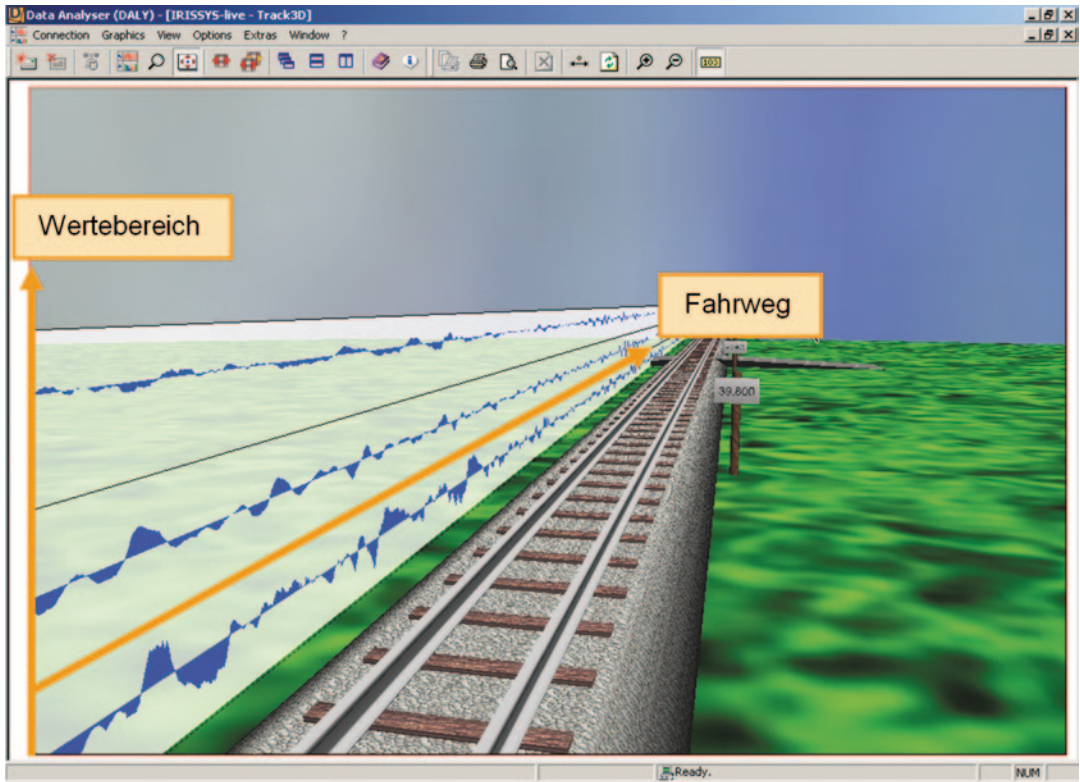


Abb. 22.9 Die dreidimensionale Darstellungsform

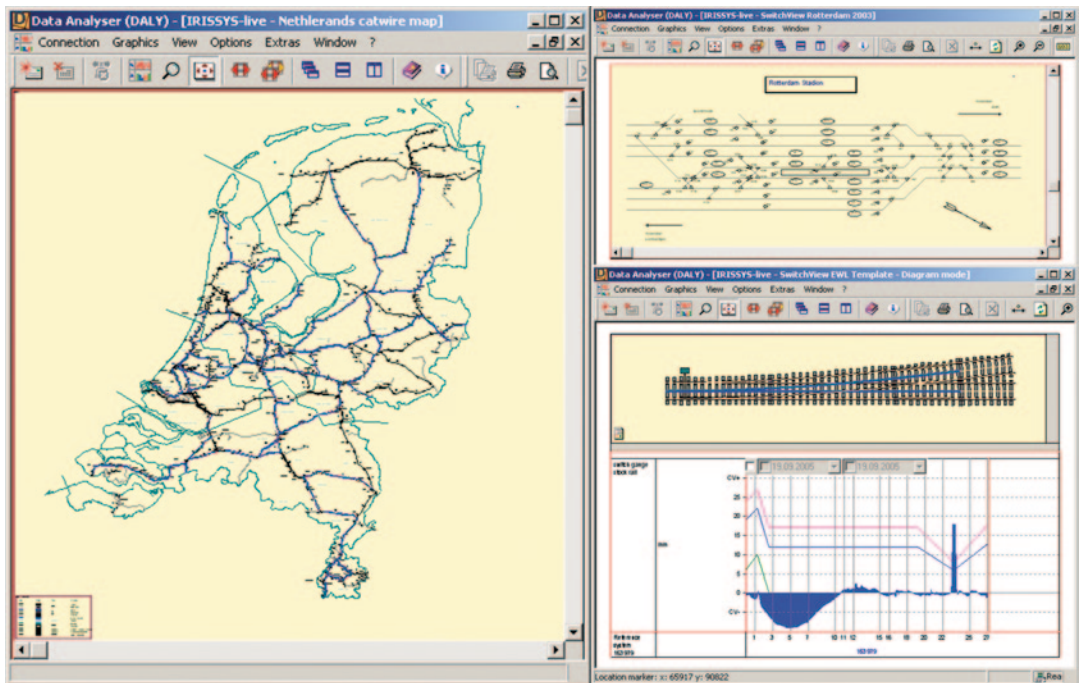


Abb. 22.10 Formen der Kartendarstellung

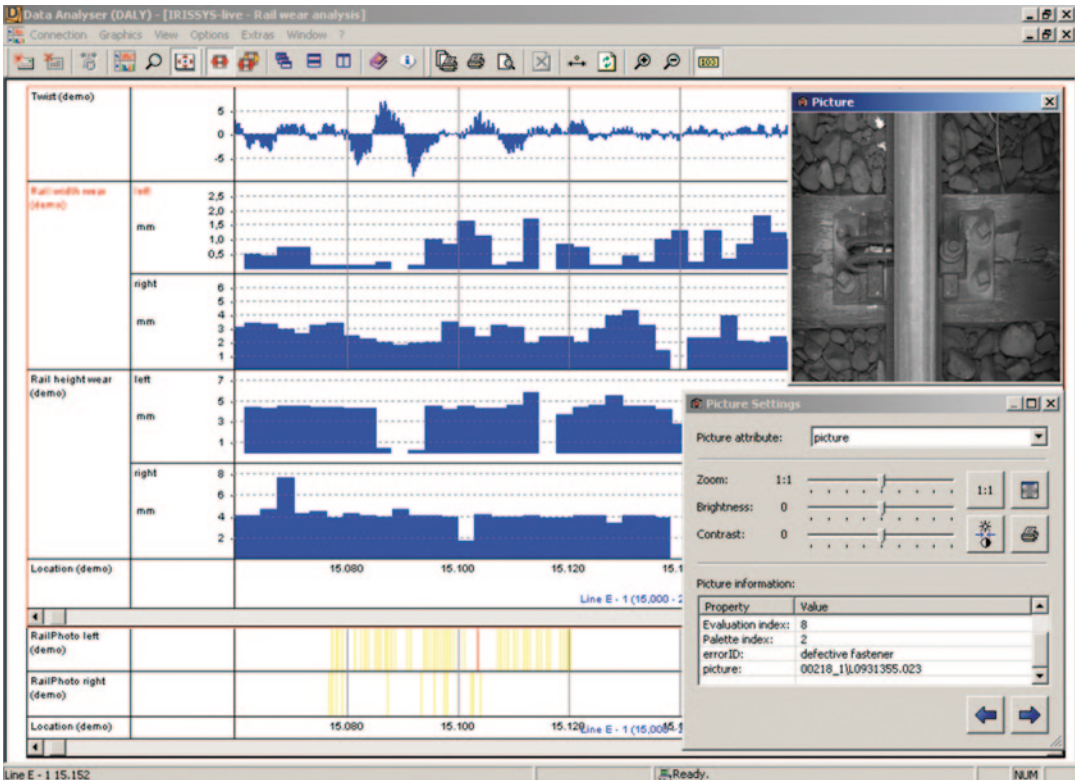


Abb. 22.11 Integration der Bildanzeige in die Zustandsanalyse

lässt. Doch durch die Möglichkeit, komprimiert Informationen zum gesamten Streckennetz anzuzeigen, hat sich diese Darstellungsform im praktischen Einsatz bewährt. Eine besondere Form der Karten stellt die Abbildung von Weichen und Bahnhofsplänen dar.

Die drei beschriebenen Darstellungsformen bilden die grundlegenden Visualisierungsmöglichkeiten im Bereich der Zustandsanalyse, Abb. 22.11. Darüber hinaus werden in der Praxis Bild- und Videoaufnahmen angeboten. Sie haben nach derzeitigem Stand der Technik lediglich einen ergänzenden Charakter. Ein wesentlich höherer Informationsgehalt könnte gewonnen werden, wenn digitale Bildbearbeitungssysteme eine zuverlässige automatische Fehlerklassifizierung dieser Aufnahmen durchführen würden. Es existieren bereits solche Lösungen. Aufgrund ihrer aktuellen Funktionalität sind sie jedoch für die Zustandsdiagnose nicht von Bedeutung.

Ein weiteres Format der Datendarstellung stellen sog. „Reports“ (Berichte) dar. Dabei handelt es sich um dynamisch generierbare Dokumente. Sie können äußerst vielfältig angewandt werden. Beginnend von tabellarischen Übersichten ausgewählter Zustandsgrößen über Protokolle geplanter und ausgeführter Instandsetzungsmaßnahmen bis hin zur Abbildung von Übersichtskarten oder Graphen. Reports bieten damit die Möglichkeit, sowohl komprimierte Informationen als auch zusammenfassende Statistiken wiederzugeben, Abb. 22.12.

Ein Infrastruktur-Managementsystem sollte dem Anwender nicht nur die einzelnen Darstellungsformen bereitstellen. Stattdessen muss es diese miteinander kombinieren, um einen möglichst effizienten Arbeitsablauf bei der Datenanalyse zu gewährleisten. Das bedeutet einerseits, dass alle Darstellungsformen und Medien gleichzeitig betrachtet werden können. Andererseits muss eine einfache Navigation von komprimier-

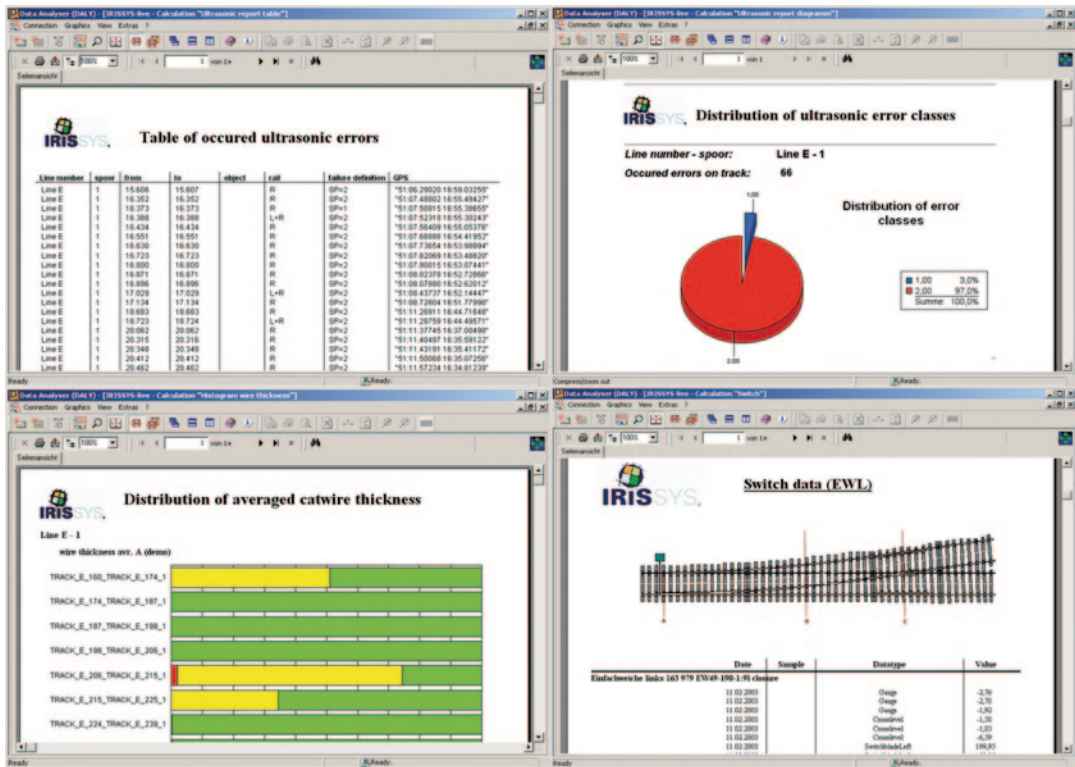


Abb. 22.12 Beispiele für Reports

ten Informationen wie Kartendarstellungen bis hin zu detaillierten Ansichten garantiert sein.

22.1.5 Mobile Lösungen

Zunehmend gewinnen mobile Lösungen an Bedeutung. Tablett-PC oder auch Smartphone stellen eine geeignete Hardwareplattform dar. Hier bieten sich webbasierte Anwendungen geradezu an. Sie arbeiten unabhängig von der verwendeten Hardware und es sind keine weiteren Installationen am Endgerät notwendig. Es ist lediglich ein Browser erforderlich.

Der Vorteil liegt auf der Hand. Der Eisenbahningenieur hat die erforderlichen Informationen vor Ort zur Verfügung. Er kann jederzeit zusätzlich benötigte Daten abrufen. Dies erleichtert ihm, vor Ort Entscheidungen über notwendige Instandsetzungsmaßnahmen zu treffen. Darüber hinaus kann er vor Ort festgestellte Mängel so-

fort erfassen. Diese Systeme sind i. d. R. noch mit GPS Empfängern ausgestattet, so dass die entsprechenden Ortskoordinaten automatisch mit übertragen werden können. In Abb. 22.13 ist eine webbasierte Benutzeroberfläche dargestellt. Diese unterscheidet sich nicht wesentlich von der klassischen Desktop-Applikation und gestattet eine intuitive Bedienung.

22.1.6 Fachübergreifende Grundlagen für weitergehende Analysen

In diesem Abschnitt sollen kurz theoretische Grundlagen erläutert werden, die über das Gebiet der Fahrweginstandhaltung hinausgehen. Im Mittelpunkt steht die einführende Darstellung wesentlicher praxiserprobter Techniken und Verfahren der Mathematik und Informatik, die über gegenwärtig angewandte Analysemethoden hinausgehen. Um zukünftig für den Umgang mit

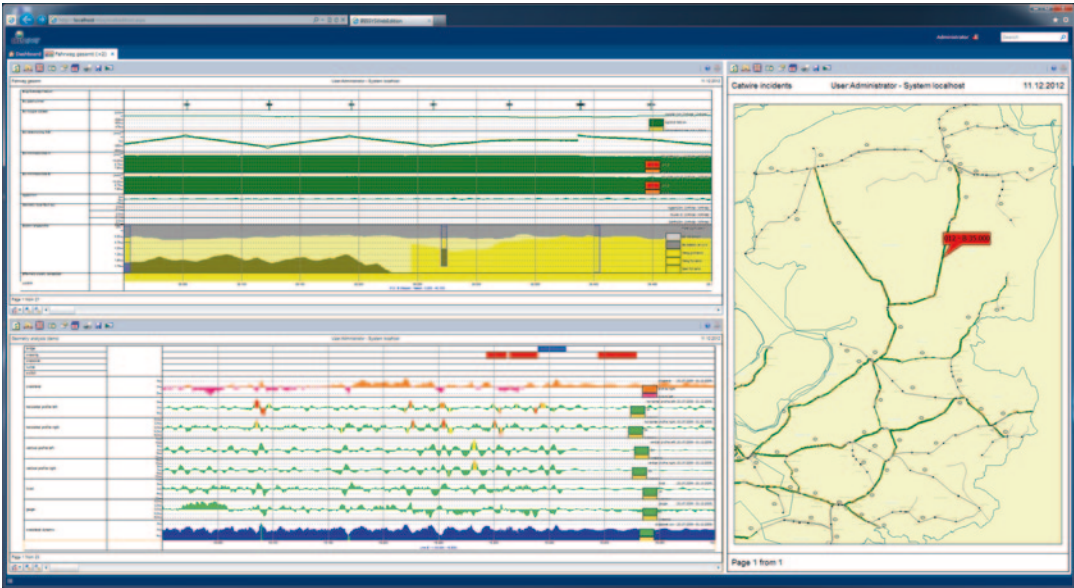


Abb. 22.13 Webbasierte Benutzeroberfläche

solchen Verfahren vorbereitet zu sein, ist es für den Eisenbahningenieur wichtig, die Grundlagen dieser Ansätze zu verstehen.

22.1.6.1 Digitale Signalverarbeitung

Die Digitale Signalverarbeitung, kurz DSV, beschäftigt sich mit der Verarbeitung von diskreten Signalen, d. h. Folgen digitaler Daten, mit Hilfe digitaler Systeme. Diese Folge von Daten entsteht im Bereich der Instandhaltung durch die Erfassung mit Hilfe von Messzügen und Handmessgeräten in einem zeit- bzw. ortsperiodischen Messprozess. Die Bearbeitung digitaler Signale erfolgt durch sog. Signalprozessoren, die i. d. R. aus programmierbaren Universalprozessoren, wie der CPU eines Computers, bestehen. Während viele Verfahren der digitalen Signalverarbeitung mit analogen Systemen nicht umsetzbar wären, ist mit Hilfe von DSV-Verfahren praktisch alles realisierbar, was sich mathematisch beschreiben lässt. Das theoretische Modell des digitalen Systems wird auch als Algorithmus bezeichnet. Die DSV bietet unter anderem Algorithmen zur Signalgenerierung, Fensterung, Filterung, Diskreten Fourier-Transformation, PID-Regelung sowie für die Datenverarbeitung im Bereich der Kurvenanpassung, Statistik und

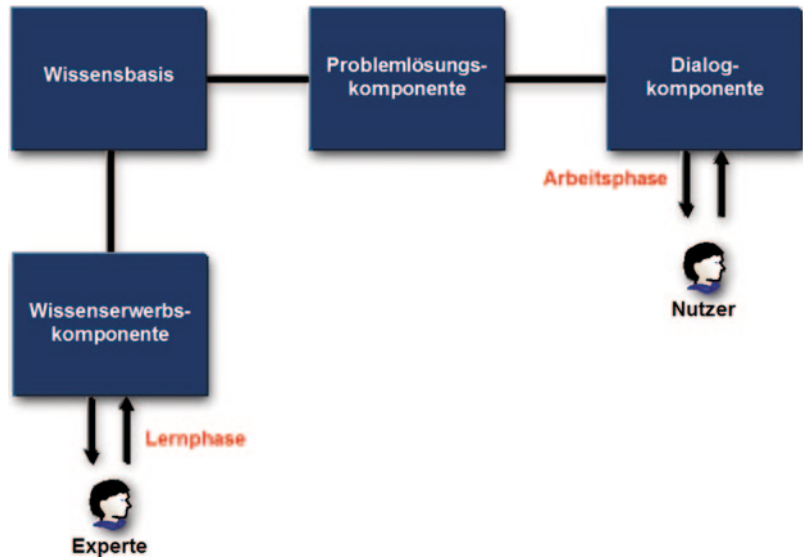
linearen Algebra. Praktische Anwendung findet die DSV im Bereich der Verarbeitung und Analyse von Daten für die Instandhaltung des Fahrweges Eisenbahn. Hier reicht der Einsatz der DSV von einfachen Verfahren aus der Statistik bis hin zu komplexen Verfahren wie der reaktionsbezogenen Bewertung des Fahrweges, mit der es möglich ist, die Fahrzeugreaktion bei gegebener Gleisgeometrie zu berechnen.

22.1.6.2 Künstliche Intelligenz

Mit dem Begriff „Künstliche Intelligenz“ wird ein fachübergreifender Bereich der Informatik bezeichnet. Neben der Kerninformatik fließen unter anderem die Gebiete der Mathematik, Logik, Neurologie, Kommunikationswissenschaften, Philosophie und Psychologie in Ergebnisse dieses Fachgebiets ein. Die primäre Zielstellung besteht in der Lösung komplexer Anwendungsprobleme. Mit Mitteln der Informatik und Mathematik wird dazu intelligentes Verhalten simuliert.

Expertensysteme Expertensysteme werden erfolgreich in den Bereichen der medizinischen Diagnose, in der Technik und für Beratungsfragen

Abb. 22.14 Aufbau eines Expertensystems



gen eingesetzt. Es existieren zudem Ansätze für die Anwendung in der Fahrweginstandhaltung.

Diese Klasse der Software-Systeme verwendet menschliches Expertenwissen, um gegebene Problemstellungen zu lösen oder zu bewerten, Abb. 22.14. Zunächst wird dabei versucht, vorhandenes Wissen über die sog. „Wissenserwerbskomponente“ zu formalisieren und abzubilden. Die Speicherung des formalisierten Wissens erfolgt in der „Wissensbasis“. Die „Problemlösungskomponente“ verarbeitet unter Anwendung von Ableitungsregeln das gespeicherte Wissen. Dabei wird nicht nur das bestehende Wissen wiedergegeben, sondern das System kann auch zu neuen Schlussfolgerungen kommen. Die „Dialogkomponente“ dient dem Anwender als Benutzerschnittstelle zur Ein- und Ausgabe von Informationen. Sie beinhaltet Funktionen, die jede Regelanwendung protokolliert und dem Anwender erklärt.

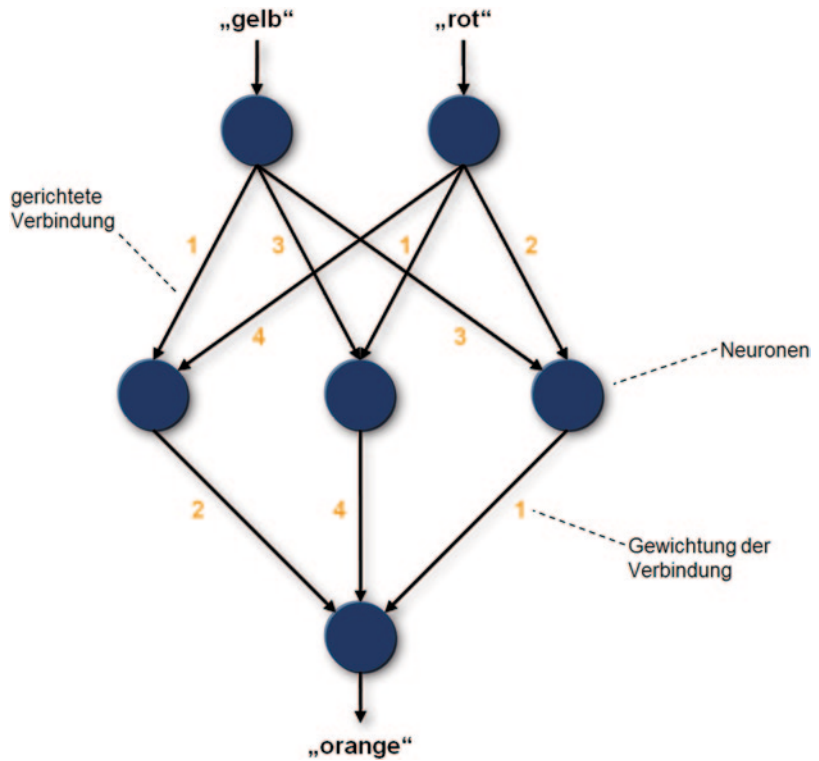
Der Einsatz von Expertensystemen in der Fahrweginstandhaltung ist problematisch, da sich die Wissensakquisition für diesen Bereich sehr schwierig gestaltet. Zwar existieren genügend Instandhaltungsexperten, die über umfangreiches Wissen verfügen, jedoch ist die Formalisierung der komplexen Zusammenhänge, die bei der Abnutzung des Fahrwegs auftreten, fast unmöglich. Erschwerend kommt hinzu, dass ein Großteil des Wissens nur in Fallbeispielen oder in unpräziser

Form vorhanden ist. Die Bildung einer Wissensbasis setzt jedoch klare Fakten voraus. Weiterhin sind nicht alle Gesetzmäßigkeiten der Fahrwegabnutzung vollständig erforscht.

Künstliche Neuronale Netzwerke Künstliche Neuronale Netze, kurz KNN, sind dem Aufbau und der Funktionsweise des menschlichen Gehirns nachempfunden. Wie das menschliche Gehirn besteht ein KNN aus einer Vielzahl informationsverarbeitender Einheiten, den Neuronen. Die Neuronen sind über gerichtete Verbindungen miteinander verknüpft. Sie sind meist schichtweise angeordnet. Im Gegensatz zum menschlichen Gehirn werden, statt elektrochemischer Reize, digitale Signale verarbeitet. Neben den Verbindungen zwischen den Neuronen gibt es Leitungen zur Informationsaufnahme bzw. -abgabe. Die Informationsverarbeitung innerhalb der Neuronen basiert auf der Anwendung spezifischer mathematischer Modelle und Formeln.

Künstliche Neuronale Netzwerke haben sich aufgrund ihrer Eigenschaften als effektiver Lösungsansatz für viele praktische Probleme erwiesen, Abb. 22.15. Die wohl wichtigsten Eigenschaften sind die Lern- und Generalisierungsfähigkeit. Durch die Anwendung spezieller Lernverfahren kann ein KNN Zusammenhänge zwischen Beispieldaten erlernen. Viele Lernverfahren basieren dabei auf einem Frage-Antwort-

Abb. 22.15 Vereinfachter Aufbau von Künstlichen Neuronalen Netzwerken



Prinzip, d. h. dem Netzwerk wird sozusagen eine Frage gestellt und gleichzeitig die zugehörige richtige Antwort vorgegeben. Nach der Lernphase ist das Netzwerk in der Lage, beim „Stellen einer Frage“ selbständig die richtige Antwort zu geben. Diesen Effekt bezeichnet man als Lernfähigkeit. Das Erlernen dieser Zusammenhänge geschieht dabei durch die Gewichtung der Verbindungen zwischen den Neuronen.

Ein einfaches Beispiel für diese Eigenschaft ist das Erlernen von Mischfarben. So kann man unter Anwendung eines Lernverfahrens zwei Farben in digital kodierter Form an ein Netzwerk anlegen und es so „trainieren“, dass es die zugehörige Mischfarbe dieser beiden Farben erlernt und später wieder ausgibt.

Die Generalisierungsfähigkeit ist eine Erweiterung des Erlernens von Sachverhalten. Dabei passen sich die Gewichte des Netzwerks während der Lernphase so an, dass es nicht nur die gelernten Beispieldaten wiedergeben kann. Stattdessen hat es den Sachverhalt soweit verallgemeinert, dass es neben den erlernten Daten auch ähnliche Informationen verarbeiten kann. Ein Beispiel hierfür ist die Verallgemeinerung einer mathe-

matischen Funktion. So kann ein KNN durch das Anlegen weniger Beispielwertepaare den funktionalen Zusammenhang zwischen den Daten erkennen und speichern, so dass es auch andere nicht gelernte Wertepaare der Funktion richtig zuordnen kann. Je nach Neuronenanzahl bzw. -anordnung, Lernverfahren sowie Art und Richtung der Verbindungen zwischen den Neuronen werden verschiedene KNN-Typen unterschieden.

Künstliche Neuronale Netzwerke werden vor allem für die Zuordnung von Daten zu definierten Klassen, z. B. bei der Schrifterkennung, für das eigenständige Erfassen von Musterklassen in Datenbeständen wie in der Datenkompression oder für Prognosezwecke verwendet. Aber auch bei der Lösung wirtschaftlicher Optimierungsprobleme oder Steuerung und Regelung technischer Abläufe finden sie Anwendung.

Genetische Algorithmen Genetische Algorithmen gehören zu den Näherungsverfahren. Sie werden vor allem für die Lösung von Optimierungsproblemen, wie zum Beispiel das Ermitteln eines Kostenminimums, eingesetzt.

Die Grundidee der Genetischen Algorithmen stammt aus der biologischen Evolutionstheorie und besteht darin, solange eine Anzahl von Lösungskandidaten zufällig zu erzeugen und nach bestimmten Kriterien auszuwählen, bis Kandidaten gefunden wurden, die gestellten Anforderungen entsprechen. Während dieser schrittweisen Evolution werden bestimmte Eigenschaften der selektierten Kandidaten kombiniert und verändert, um sozusagen die genetische Vielfalt zu erhalten und möglichst viele Lösungsvarianten zu bewerten.

Genetische Algorithmen werden insbesondere für Problemstellungen eingesetzt, die analytisch nicht innerhalb eines akzeptablen Zeitraums lösbar sind. Einen Großteil solcher Aufgabenstellungen bilden Optimierungsprobleme, die unter Berücksichtigung zahlreicher Randbedingungen ein Minimum oder Maximum suchen. Die Anzahl der theoretisch möglichen Varianten ist dabei so hoch, dass eine iterative Lösung durch Bewertung aller Kandidaten zeitlich unmöglich ist. Genetische Algorithmen finden aufgrund ihrer heuristischen Ansatzweise häufig eine gute Lösung innerhalb eines annehmbaren Zeitbereichs. Die Heuristik liegt dabei in der gezielten Auswahl von Lösungskandidaten entsprechend einer Bewertungsfunktion bzw. den gestellten Anforderungen. Somit arbeitet sich der Algorithmus gezielt zu einer Lösung in der Nähe des Optimums hin. Der Nachteil solcher Verfahren liegt jedoch darin, dass das absolute Optimum selten erreicht wird.

22.2 Anwendung von Infrastruktur-Managementssystemen

Die Instandhaltung besteht aus einer dreiteiligen Prozesskette. Ihre Elemente sind die Inspektion, die Analyse und die Instandsetzung. Im Bereich der Instandhaltung des Fahrwegs Eisenbahn ist diese Prozesskette durch eine klare Trennung der einzelnen Abläufe geprägt. So tritt in der Praxis häufig der Fall auf, dass die erfassten Zustandsdaten in unterschiedlichen Datenbanksystemen gespeichert werden. Für die Analyse und die darauf basierende Instandsetzungsplanung exis-

tieren zahlreiche Instandhaltungsstrategien, die stellenweise auch teilautomatisierte Verfahren beinhalten. Jedoch werten Fachleute oder Streckenbeauftragte die Zustandsdaten vielfach manuell aus. Basierend auf ihren Erfahrungen und ihrer Qualifikation planen sie nachfolgend Instandsetzungen. Dieser Mangel der strikten Trennung von Instandhaltungsprozessen wird durch den Einsatz von Infrastruktur-Managementsystemen beseitigt.

Ein Infrastruktur-Managementsystem unterstützt durchgehend alle Instandhaltungsprozesse. Alle Funktionen, beginnend vom Inspektionsdatenmanagement über die Analyse bis hin zur Instandsetzung, sind in einem System integriert. Basierend auf den bereitzustellenden Inspektions- und Stammdaten einer Eisenbahninfrastruktur muss ein Infrastruktur-Managementsystem die zentralen Anwendungsbereiche der Instandhaltung abdecken. Dazu gehören sowohl die Ist-Zustandsanalyse, d. h. die Auswertung der erfassten Messdaten, als auch die Planung von Instandsetzungs- bzw. Wartungsmaßnahmen und somit Aufgaben des Projektmanagements. Wie diese Anwendungsbereiche konkret in einem Infrastruktur-Managementsystem umgesetzt und welchen Anforderungen sie gerecht werden müssen, ist das zentrale Thema dieses Kapitels. Durch das breite Angebot an Werkzeugen und Instrumenten stellen Infrastruktur-Managementsysteme eine ideale Forschungsgrundlage dar. Gleichzeitig garantiert ihr Einsatz in Forschung und Praxis die sofortige, flächendeckende Umsetzung der entwickelten Verfahren. Somit bilden Infrastruktur-Managementsysteme eine wesentliche Basis für die Entwicklung neuer Instandhaltungsstrategien.

Damit ein Infrastruktur-Managementsystem die Funktionen der genannten Anwendungsbereiche umsetzen kann, muss es folgenden Anforderungen gerecht werden:

- zentrale Datenhaltung,
- Bereitstellung effektiver Analyseinstrumente,
- Bereitstellung umfassender integrierter Projektmanagement- und Planungsfunktionen,
- Zusammenarbeit aller am Instandhaltungsprozess beteiligten Instanzen an einem System,

- Bereitstellung offener und standardisierter Schnittstellen für die Anbindung anderer Softwaresysteme.

22.2.1 Ist-Zustandsanalyse

Um eine effektive Instandhaltungsplanung zu realisieren, ist einerseits eine exakte Erfassung und andererseits eine umfassende Auswertung der Zustandsdaten unumgänglich. Die drei grundlegenden Bereiche der Zustandsanalyse bilden die Darstellung, die Aufbereitung und die Bewertung der erfassten Daten.

22.2.1.1 Darstellung der Daten

Die Datendarstellung beschäftigt sich mit der Anzeige der erfassten Zustandsdaten. Sie bildet eine wesentliche Grundlage für ein schnelles Erkennen von Fehlern und Schwachstellen. Für die Zustandsanalyse sind die in Abschn. 22.1.4 beschriebenen Darstellungsformen besonders geeignet.

Die Datendarstellung ermöglicht die einfachste Form der Zustandsanalyse. Sie besteht in der manuellen Auswertung der betrachteten Inspektionsdaten. Die Feststellung des Ist-Zustands und die Bewertung der Daten erfolgen dabei durch den Anwender und unterliegen somit subjektiven Einschätzungen.

Ein Infrastruktur-Managementsystem muss in der Lage sein, alle Daten der einzelnen Fahrwegbereiche in geeigneter Form grafisch anzuzeigen, um eine Diagnose des Ist-Zustandes aller Fahrwegbereiche zu gewährleisten. Die Qualität der Diagnose hängt dabei wesentlich von der Qualifikation und der Erfahrung des Anwenders ab. Deshalb bieten leistungsfähige Infrastruktur-Managementsysteme weitere Instrumente und Hilfsmittel an, die eine systemgestützte Zustandsanalyse ermöglichen. So wird die Diagnose des Ist-Zustands erleichtert und der Einfluss subjektiver Eindrücke gemindert.

22.2.1.2 Aufbereitung der Daten

Dieser Abschnitt beschäftigt sich mit der Aufbereitung der erfassten Inspektionsdaten. Durch entsprechende Verfahren werden zum einen der

Informationsgehalt und damit die Aussagefähigkeit der Daten erhöht und zum anderen die Daten für die Weiterverarbeitung in komplexeren Verfahren aufbereitet. Zu den komplexeren Verfahren zählen unter anderem die Integrierte Ist-Zustandsanalyse sowie die systemgestützte Prognose und Instandhaltungsplanung.

Die Aufbereitung der Inspektionsdaten erfolgt fast ausschließlich mit Hilfe der Digitalen Signalverarbeitung, die ein breites Spektrum an Algorithmen bzw. Verfahren zur Verfügung stellt. Die nachfolgende Aufzählung stellt eine Möglichkeit zur Klassifizierung dieser Verfahren dar. Sie erhebt nicht den Anspruch auf Vollständigkeit, sondern stellt lediglich die für die Aufbereitung der Inspektionsdaten des Fahrwegs Eisenbahn relevanten Verfahren übersichtlich dar.

Filter

- Anwendung der verschiedensten Filtertypen und Filterarten

Statistik

- Median & Mittelwert
- Varianz & Standardabweichung
- Verteilungsfunktionen
- Varianzanalysen
- Mittlerer Quadratischer Fehler
- Approximationsverfahren
- Regressionsanalysen
- Interpolations- und Extrapolationsfunktionen

Signalanalyse

- Signalmessung & Pulsmessung
- Signalaufbereitung
- Amplituden- & Phasenspektrum
- Transfer- & Übertragungsfunktionen
- Leistungsdichtespektrum
- Signalspitzenvermessung
- Auto- & Kreuzkorrelation
- Faltung & Entfaltung

Fensterung

- Fensterung zur Periodisierung nichtperiodischer Signale
- Generierung endlicher Signale aus unendlichen Folgen

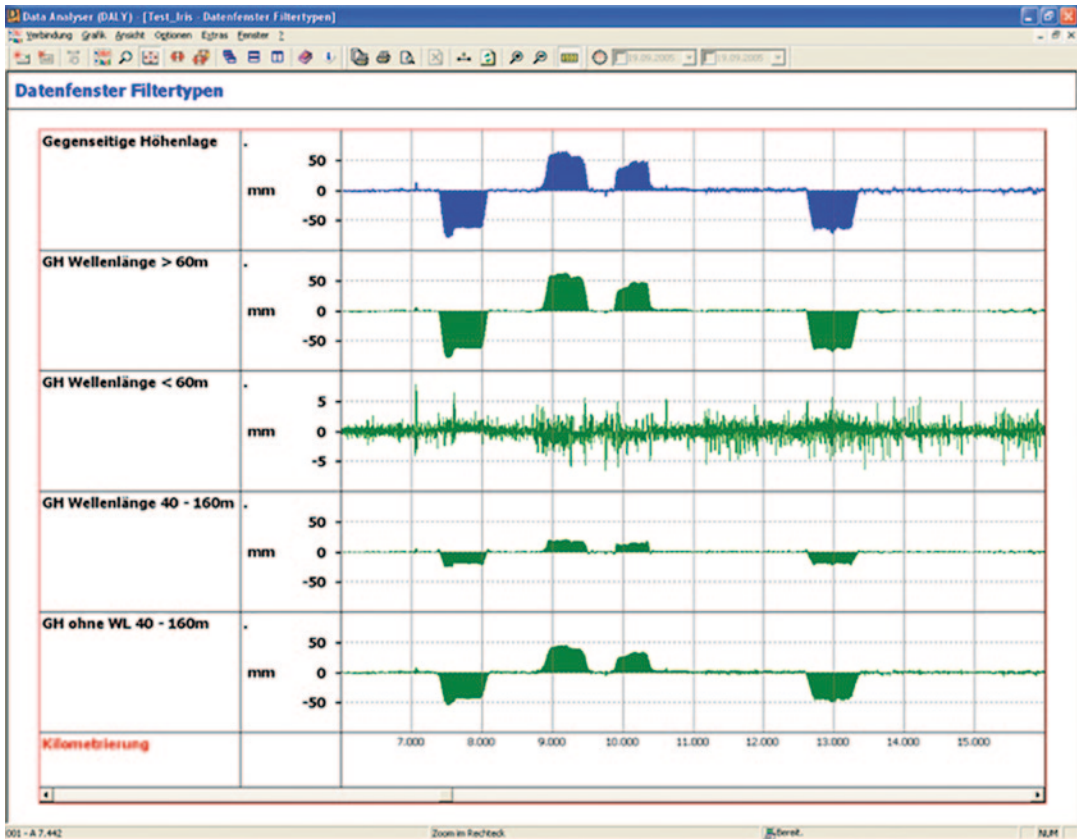


Abb. 22.16 Funktionsweise von Filtern

Lineare Algebra

- Vektoren & Matrizen
- Eigenwerte & Eigenvektoren
- Faktorisierung und komplexe Faktorisierung
- Inverse Matrix & Determinanten

Im Folgenden sollen nun Beispiele aus den Bereichen Filter, Statistik und Signalanalyse dargestellt und beschrieben werden, um die Funktionsweise der DSV im Bereich der Fahrweginstandhaltung genauer zu erläutern.

Mit der Hilfe von Filtern können die Signalanteile der Rohdaten aus der Inspektion voneinander getrennt werden. Mit Hochpass-Filtern kann der dynamische Anteil und mit Tiefpass-Filtern der statische Anteil aus einem Signal extrahiert werden. Genauso kann auch ein bestimmter Frequenzbereich in einem Signal mit Hilfe von Bandpässen selektiert bzw. mit Hilfe von Bandsperren unterdrückt werden. In Abb. 22.16 ist die

Funktionsweise der verschiedenen Filtertypen am Beispiel der Gegenseitigen Höhenlage (GH) dargestellt.

Der erste Kanal in Abb. 22.16 stellt die Rohdaten der Gegenseitigen Höhenlage dar. Der zweite Kanal zeigt nun den statischen Anteil des Signals mit einer Wellenlänge größer als 60 m und der dritte Kanal den dynamischen Anteil mit einer Wellenlänge kleiner als 60 m. Im vierten Kanal ist schließlich das Gesamtsignal mit einem Bandpass-Filter und im fünften Kanal mit einem Bandsperren-Filter bearbeitet. Hier wurden als untere Grenzwellenlänge 40 m und als obere Grenzwellenlänge 160 m verwendet. Sinn und Zweck der Filterung ist es, die verschiedenen Signalanteile voneinander zu trennen, um diese gesondert behandeln zu können. Nach der Trennung der Signalanteile können zum Beispiel auf den statischen Anteil Verfahren zur Ermittlung

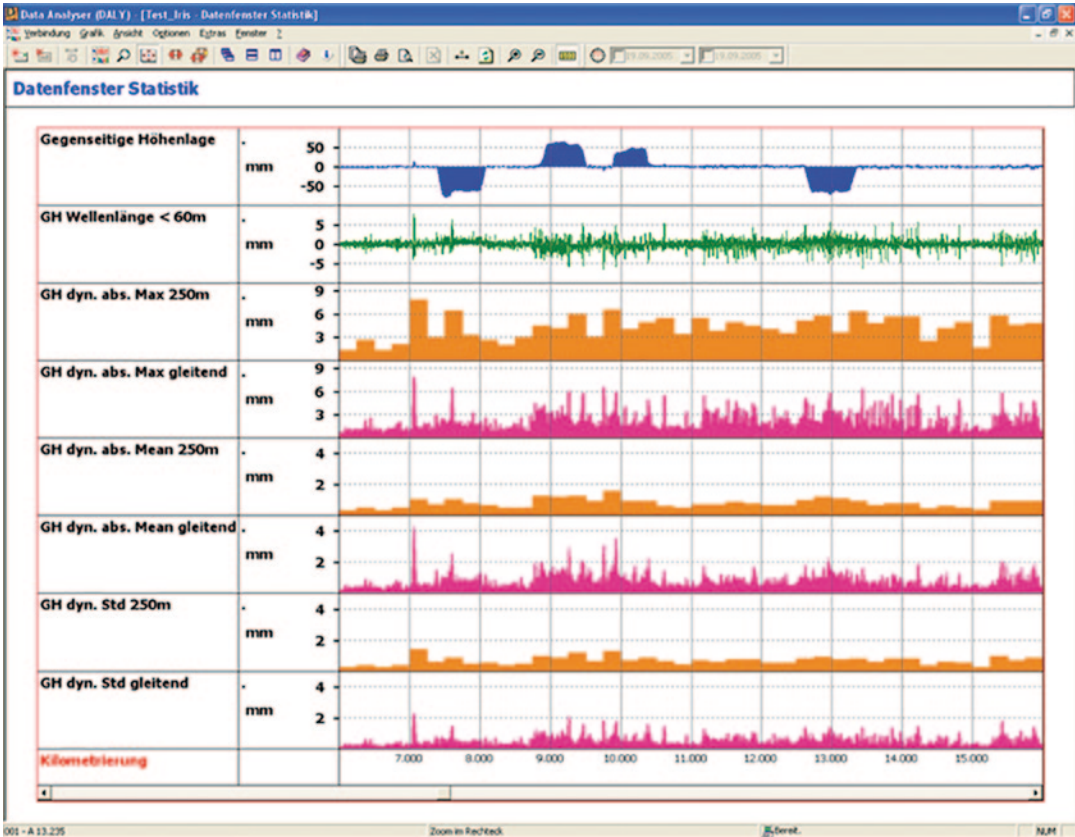


Abb. 22.17 Statistische Verfahren

der Lage der Bögen und auf den dynamischen Anteil, der den Zustand des Fahrwegs darstellt, Verfahren zur genaueren Analyse des Zustands angewendet werden. So können die Daten mit Hilfe von Verfahren aus der Statistik, wie zum Beispiel der Berechnung des Mittelwertes, der Standardabweichung oder der Ermittlung von Maxima und Minima, genauer analysiert werden. Hierbei handelt es sich um eine sog. Analyse im Amplitudenbereich.

Abbildung 22.17 zeigt die Analyse des dynamischen Anteils der Gegenseitigen Höhenlage mit Hilfe statistischer Verfahren. Der erste Kanal zeigt hier, wie in der vorhergehenden Abbildung, das Gesamtsignal der Gegenseitigen Höhenlage. Der zweite Kanal stellt den mit Hilfe von Filtern gewonnenen dynamischen Anteil des Gesamtsignals dar. Die Kanäle drei, fünf und sieben zeigen die Berechnung des absoluten Maximums, des

absoluten Mittelwertes und der Standardabweichung über eine Abschnittslänge von 250 m. Die Kanäle vier, sechs und acht zeigen hingegen das absolute Maximum, den absoluten Mittelwert und die Standardabweichung als gleitende Verfahren mit einem sog. Delta von 25 m. Bei den gleitenden Verfahren wird über eine bestimm- bare bzw. parametrisierbare Abschnittslänge, das sog. Delta, ein Wert berechnet und als Ergebnis die Mitte des Deltas auf diesen Wert gesetzt. Der große Vorteil der gleitenden Verfahren ist, wie in der obigen Abbildung ersichtlich, eine weitaus bessere Ortsgenauigkeit der Ergebnisse.

Weitere für ein Infrastruktur-Management- system relevante Verfahren der DSV aus dem Bereich der Statistik sind Verfahren zur Ermittlung der Verteilung bzw. der Klassenhäufigkeit. Abbildung 22.18 zeigt die prozentuale Verteilung der Amplitude des dynamischen Anteils der



Abb. 22.18 Klassenhäufigkeit

Gegenseitigen Höhenlage in fünf Klassen. Auch dieses Verfahren ist als gleitendes Verfahren realisiert worden.

Wie im vorhergehenden Beispiel zeigen die Kanäle eins und zwei der Abb. 22.18 das Gesamtsignal und den dynamischen Anteil der Gegenseitigen Höhenlage. Die Kanäle drei bis sieben stellen den prozentualen Anteil der Amplitudenbereiche 0 bis 0,5, 0,5 bis 1, 1 bis 2, 2 bis 5 und 5 bis unendlich dar. Der Kanal acht zeigt die prozentual dominierende Klasse in ihrer entsprechenden Farbe. Mit Hilfe dieses Verfahrens kann nun ermittelt werden, welche Amplitude und damit welche Fehlerklasse für welchen Bereich dominierend ist.

Als nächstes soll nun ein Beispiel für eine Analyse im Frequenzbereich erläutert werden. Viele Verfahren zur Analyse des Signals im Frequenzbereich basieren auf der Diskreten Fourier-

Transformation oder kurz DFT. Sie ist die Fourier-Transformation eines zeitdiskreten endlichen oder periodischen Signals. Die Fourier-Transformation dient der sog. harmonischen Analyse, bei der ein periodisches bzw. quasiperiodisches Signal in eine Summe von Winkelfunktionen aufgespalten wird. Die DFT ist das wichtigste Werkzeug in der Praxis der digitalen Signalverarbeitung, da sich mit ihr schnelle Algorithmen zur Transformation der Daten realisieren lassen. Am bekanntesten ist die FFT (Fast Fourier Transformation), die auch als schnelle Fourier-Transformation bezeichnet wird. Hierzu zählt unter anderem auch die Leistungsspektrumsanalyse, die eine genauere Aussage darüber ermöglicht, aus welchem Frequenz- bzw. Wellenlängenspektrum sich ein Signalabschnitt zusammensetzt. Damit kann der Wellenlängenbereich und somit auch die Art eines Fehlers genauer spezifiziert



Abb. 22.19 Leistungsdichtespektrum

werden. Abbildung 22.19 zeigt die Einteilung des Leistungsspektrums der Gegenseitigen Höhenlage in fünf Klassen. Auch dieses Verfahren wurde als gleitendes Verfahren realisiert.

Die Kanäle eins und zwei der Abb. 22.19 zeigen wieder das Gesamtsignal und den dynamischen Anteil der Gegenseitigen Höhenlage. Kanal drei zeigt den auf den halben Abtastabstand, also 0,125 m, interpolierten dynamischen Anteil. Dabei wird zwischen je zwei Werten ein zusätzlicher Wert berechnet, um die Anzahl von Werten je Abschnitt zu verdoppeln. Die Interpolation des Signals ist nicht unbedingt notwendig, erlaubt aber eine zuverlässige Analyse des Leistungsspektrums über ein Delta von 125 statt 250 m. Die Kanäle vier bis acht stellen nun die Fläche der Gleichrichtwerte der fünf Wellenlängenbereiche 0,5 bis 10, 10 bis 20, 20 bis 30, 30 bis 55 und 55 bis 125 m dar. Kanal neun zeigt das

Wellenlängenspektrum des Signals, indem für jeden Messpunkt die Wellenlänge, deren Leistung am größten ist, in der entsprechenden Farbe als Vollbalken dargestellt wird.

Weitere für die Instandhaltung des Fahrwegs relevante Verfahren der DSV, die aus Platzgründen hier nicht weiter beschrieben und dargestellt werden können, sind Interpolations- und Extrapolationsverfahren sowie diverse Korrelations- und Approximations-Verfahren. Als Beispiel für einen praktischen Anwendungsfall für Interpolationsverfahren sei auf die Halbierung des Abtastabstands des dynamischen Anteils für die Analyse des Leistungsdichtespektrums verwiesen. Eine mögliche Anwendung von Extrapolationsverfahren wird hingegen in Abschn. 22.2.2 beschrieben. Korrelationsverfahren werden vor allem bei der Ermittlung und Beseitigung von Ungenauigkeiten der Daten im Wegbereich eingesetzt. Außer-



Abb. 22.20 Klassifizierung mit Hilfe von SOM

dem sollten in einem Infrastruktur-Management-system mit Hilfe der DSV alle als mathematische Funktionen definierbaren Verfahren, z. B. die Berechnung des Überhöhungsfehlbetrags, aber auch selbst entwickelte Verfahren, z. B. landesspezifische Bewertungsverfahren, vom Anwender ohne Programmieraufwand realisierbar sein.

Als letztes Beispiel soll der Einsatz Künstlicher Intelligenz im Bereich der Datenaufbereitung erläutert werden. So können z. B. mit Hilfe von Selbstorganisierenden Karten, die auch als SOM (self organizing maps) bezeichnet werden und zu den Künstlichen Neuronalen Netzen zählen, Daten klassifiziert werden. Die SOM bilden dabei in einem n-dimensionalen Raum auf Basis der mathematischen Nähe Cluster. Diese Cluster repräsentieren die Zusammengehörigkeit der Daten. Die Clustergrenzen sind dabei nicht wie bei den meisten gängigen Klassifizierungsverfahren von vornherein festgelegt, sondern

werden aufgrund der Problemstellung gebildet. Die Anzahl der Cluster, die vom SOM gebildet werden soll, kann vom Anwender festgelegt werden. Somit können auch sehr komplexe Zusammenhänge vieler verschiedener Größen mit Hilfe eines SOM in wenige und damit überschaubare, aber nicht weniger mathematisch begründete Cluster klassifiziert werden. SOM sind damit in der Lage, vollkommen automatisiert sehr komplexe kausale Zusammenhänge in den Zustandsdaten des Fahrwegs zu finden. Welche Größen sinnvollerweise an das SOM angelegt werden, hängt von der Problemstellung ab. Dazu sollte zuvor genau analysiert werden, welche Größen für die jeweilige Problemstellung relevant sind, und anschließend mit geeigneten Verfahren geprüft werden, welche Größen vorverarbeitet, zusammengefasst oder weggelassen werden müssen. Abbildung 22.20 zeigt die Anwendung eines SOM auf verschiedene Daten der Gleisgeometrie

rie. Für dieses Beispiel wurde das SOM so parametrisiert, dass es 9 Cluster zu finden hat.

Die Kanäle eins, fünf und neun der Abb. 22.20 zeigen den dynamischen Anteil der Gegenseitigen Höhenlage, der Längshöhe und der Pfeilhöhe. Auf diese Größen sind Gleitende Verfahren zur Berechnung des absoluten Maximums, des absoluten Mittelwerts und der Standardabweichung mit einem Delta von 25 m angewendet worden. Diese Größen sind jeweils unter dem zugehörigen dynamischen Anteil dargestellt und an das SOM angelegt worden. Die gefundenen Cluster sind im untersten Kanal dargestellt. Um aufzuzeigen, dass dieses Verfahren prinzipiell funktioniert, wurde zum Vergleich das in Deutschland gängige Bewertungsverfahren W3 für die gegebenen Daten über 250 und 25 m berechnet. Die W3-Klassen sind in den Kanälen 13 und 14 dargestellt. Hier ist deutlich zu erkennen, dass selbst bei diesem einfachen Beispiel das SOM verschiedene dem W3-Verfahren nicht unähnliche Fehlerklassen gefunden hat. Außerdem ist zu erkennen, dass die Klassifizierung des SOM nicht wie das W3-Verfahren an eine bestimmte Abschnittslänge gebunden ist, d. h., dass ein SOM homogene Klassen bildet und nicht, wie die Bewertungsverfahren, Klassen in Abhängigkeit der Durchschnittswerte der festen Abschnitte.

22.2.1.3 Bewertung der Daten

Unter dem Begriff der „Datenbewertung“ wird generell die Einschätzung eines Wertes hinsichtlich seiner Bedeutung verstanden. Im Kontext der Instandhaltung ist darunter die Interpretation von Messwerten zu verstehen.

In einer Bahnverwaltung existieren Regelwerke, die beschreiben, wie die Bewertung von Zustandsdaten erfolgt. Der einfachste Fall sind festgeschriebene Grenzwerte, die für bestimmte Messgrößen definiert wurden. Eine weitere Variante besteht in der Anwendung von Bewertungsverfahren. Sie dienen zur Berechnung neuer Kenngrößen, die eine Aussage zur Gesamtqualität eines Fahrwegbereichs zulassen sollen. Dazu werden verschiedene Messgrößen nach vorgeschriebenen Regeln miteinander verrechnet.

Die beiden genannten Ansätze zur Datenbewertung sind für alle Elemente des Fahrwegs in

Infrastruktur-Managementsystemen umsetzbar. In Verbindung mit der Datendarstellung und der Aufbereitung von Zustandsdaten ist es für den Anwender möglich, eine umfassendere sowie objektivere Analyse und Diagnose des Ist-Zustandes vorzunehmen, als es die reine Anzeige von Zustandsdaten zulässt. Die farbliche Zuordnung der Grenzwertstufen erleichtert das Erkennen von kritischen Bereichen und Schwachstellen und ist in allen Darstellungsformen einsetzbar. Die Anwendung von Bewertungsverfahren stellt komprimierte Informationen über den Ist-Zustand zur Verfügung, die sich vor allem für einen netzweiten Überblick in einer Computerkarte eignen. Jedoch beinhalten beide Verfahren wesentliche Nachteile. Grenzwerte und Bewertungsverfahren werden in der Praxis meist sehr fachbezogen angewandt, d. h., sie beziehen sich nur auf einzelne Fahrwegbereiche, s. Abb. 22.21. Die Ursachen für vorliegende Abnutzungserscheinungen liegen im Zusammenwirken der Fahrwegelemente begründet. Die komplexen Zusammenhänge zwischen diesen Elementen sind jedoch durch fachbezogene Herangehensweisen nicht erkennbar. Deshalb sind neue Ansätze für die Zustandsanalyse notwendig.

Auch bei der Bewertung der Daten findet die DSV ihre Einsatzmöglichkeiten. Zum Beispiel können alle gängigen Bewertungsverfahren der verschiedenen Länder mit Hilfe der DSV einfach und flexibel realisiert werden. Somit ist es mit einem Infrastrukturmanagementsystem zum einen möglich, in jedem Land individuell die gängigen Bewertungsverfahren einzusetzen und zum anderen mit relativ geringem Aufwand mehrere Bewertungsverfahren gegenüberzustellen, s. Abb. 22.22.

Bis heute wird der Begriff der Zustandsanalyse sehr fachbezogen aufgefasst. Das hat zur Konsequenz, dass die Datenauswertung oft für jeden Bereich des Fahrwegs einzeln durchgeführt wird. Um jedoch Ursachen für vorliegende Zustandsentwicklungen zu erkennen und somit planmäßig vorbeugend, anstatt kurzfristig ausgerichtet und symptombezogen, instand zu halten, ist eine Erweiterung der Ist-Zustandsanalyse notwendig.

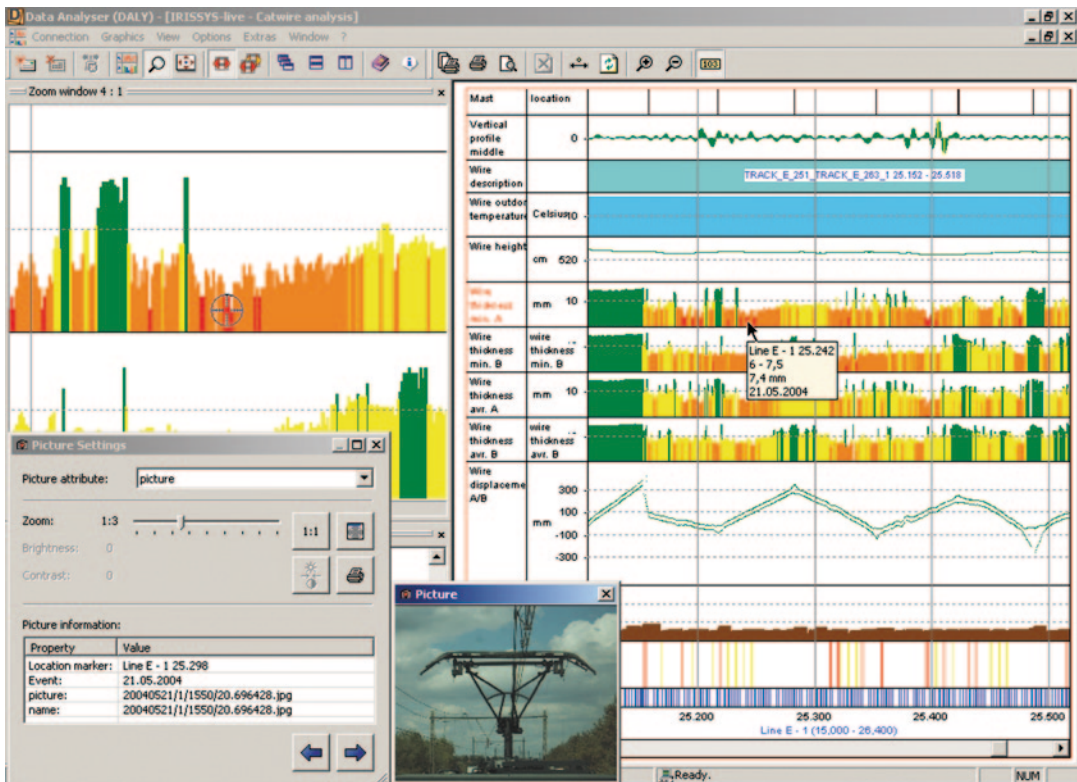


Abb. 22.21 Oberleitungsanalyse unter Anwendung von Grenzwerten

22.2.1.4 Integrierte Ist-Zustandsanalyse

Die integrierte Zustandsanalyse beschäftigt sich mit der Auswertung aller Fahrwegbereiche im Komplex. Dieser Ansatz liegt darin begründet, dass sich der Fahrweg aus wissenschaftlicher Sicht als technisches System mit zahlreichen Elementen definieren lässt. Zwischen diesen Elementen existieren wechselseitige Zusammenhänge, wodurch sich Abnutzungserscheinungen einzelner Fahrwegbereiche erklären lassen. Die integrierte Zustandsanalyse versucht nun, Ursache-Wirkungsprinzipien am Fahrweg aufzudecken. Ein Beispiel dafür ist die Auswirkung einer Untergrundbeschaffenheit auf den Zustand des Oberbaus, s. Abb. 22.23 und 22.24.

Neben der gemeinsamen Auswertung mehrerer Fahrwegbereiche können auch andere Datenarten in die Analyse einbezogen werden, z. B. Stammdaten oder durchgeführte Instandsetzungen. Dadurch ist es dem Anwender möglich, kausale Zusammenhänge zu erkennen und somit

eine langfristige Instandsetzungsplanung vorzunehmen.

Da die kausalen Zusammenhänge der Daten aus den verschiedenen Bereichen des Fahrwegs sehr umfangreich und komplex sind, finden hier die in Abschn. 22.2.1.2 beschriebenen Selbstorganisierenden Karten, kurz SOM, eine weitere sinnvolle Einsatzmöglichkeit. So können vollautomatisiert, und damit frei von subjektiven Betrachtungen, mathematisch begründete kausale Zusammenhänge in den Daten der verschiedenen Fahrwegbereiche ermittelt werden. Damit das SOM jedoch alle Zusammenhänge erlernen kann, muss für dieses Verfahren ein Infrastruktur-Managementsystem in der Lage sein, eine solche Analyse flächendeckend durchführen zu können. Nur so ist das SOM in der Lage, alle vorkommenden Fälle zu berücksichtigen und damit eine sinnvolle Klassifizierung vornehmen zu können.

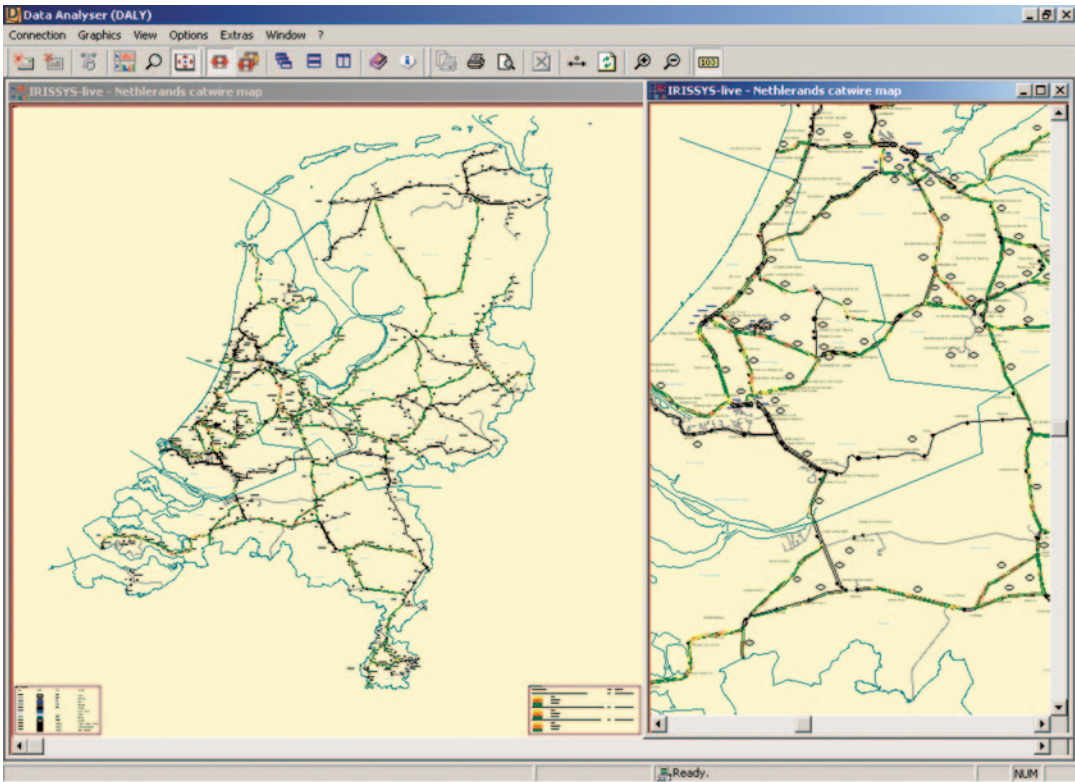


Abb. 22.22 Netzkarte mit Bewertungsverfahren

22.2.1.5 Plausibilitätsprüfungen

Ein weiteres großes Einsatzgebiet der Zustandsanalyse sind die Plausibilitätsprüfungen. Diese Verfahren dienen dazu, Unplausibilitäten, d. h. falsche Informationen, in den Daten aufzufinden und wenn möglich zu minimieren. Diese falschen Informationen sind teilweise begründbar, teilweise aber auch nicht. Außerdem gibt es unplausible Daten im Wegbereich und unplausible Daten im Amplitudenbereich. Die folgende Aufzählung zeigt eine Zusammenfassung möglicher Ursachen für unplausible Daten.

Unplausible Daten im Wegbereich:

- Versatz im Wegbereich beim Messen,
- Versatz im Wegbereich beim Importieren,
- fehlende Informationen über Änderungen an der Kilometrierung.

Unplausible Daten im Amplitudenbereich:

- einzelne Messfehler,
- falsch kalibrierte Messsysteme,
- Ausfall der Messsysteme.

Weitere Ursachen scheinbar unplausibler Daten sind fehlende Informationen über durchgeführte Instandsetzungsmaßnahmen. Da diese Maßnahmen den Zustand verbessern, würde dies zu immensen Fehlern bei der Berechnung von Trends und bei der Prognose führen. Zusammengefasst führen unplausible Daten zu Fehlern bei der Analyse, Prognose und Instandhaltungsplanung und müssen daher erkannt und wenn möglich korrigiert werden. Abbildung 22.25 zeigt ein Verfahren, das mit Hilfe der Quadratsumme der Gegenseitigen Höhenlage unplausible Daten im Wegbereich sowie fehlende Daten erkennt.

Die Kanäle mit der Bezeichnung „Gegenseitige Höhenlage SSC“ der Abb. 22.25 zeigen die Gegenseitige Höhenlage aus Messungen vier verschiedener Zeitbereiche. Im ersten Schritt wird bei diesem Verfahren die Quadratsumme aus der Gegenseitigen Höhenlage über eine Abschnittslänge von 250 m gebildet. Die Ergebnisse sind in den Kanälen mit der Bezeichnung „GH

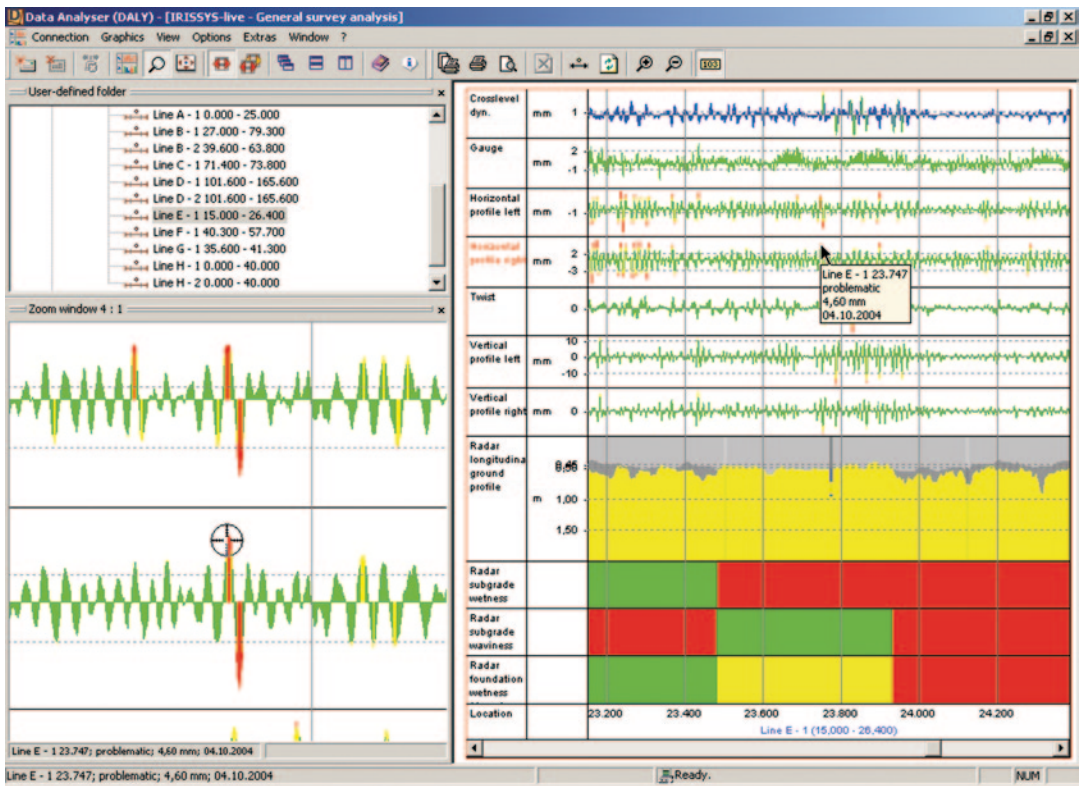


Abb. 22.23 Gleisgeometrie in Verbindung mit der Untergrundbeschaffenheit

SSC SquareSum“ dargestellt. Im zweiten Schritt wird der Mittelwert über die Quadratsummen der verschiedenen Zeitbereiche gebildet, der hier im letzten Kanal mit der Bezeichnung „GH SSC SquareSumMean“ dargestellt ist. Im letzten Schritt werden für jeden Zeitbereich einzeln die absoluten und prozentualen Abweichungen der Quadratsummen zum Mittelwert ermittelt und in eine Bewertungszahl, hier als Quantification Number bezeichnet, umgerechnet. Die Bewertungszahl ist in den Kanälen mit der Bezeichnung „GH SSC Quantification Number“ dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass die erste Messung einen Versatz aufweist. Mit Hilfe dieses Verfahrens ist es somit möglich, die Daten flächendeckend und vollautomatisiert auf einen Versatz im Wegbereich sowie auf fehlende Daten zu untersuchen und die gefundenen unplausiblen Bereiche, z. B. in einem Report, aufzulisten.

Eine weitere Lösung zum Erkennen von Ungenauigkeiten in der Ortszuordnung bieten die

Korrelationsverfahren, die hier aus Platz- und Komplexitätsgründen nicht weiter beschrieben und dargestellt werden können. So können z. B. mit Hilfe der normierten Kreuzkorrelation Wegbereichs-Offsets in den Daten verschiedener Zeitbereiche gefunden, mathematisch definiert und anschließend beseitigt werden. Der große Nachteil dieser Verfahren ist jedoch, dass sie nur funktionieren, wenn in den zu vergleichenden Datenbereichen keine Daten fehlen.

Während die in den vorhergehenden Absätzen beschriebenen Plausibilitätsprüfungen des Wegbereichs noch relativ einfach realisierbar sind, ist eine Plausibilitätsprüfung des Amplitudenbereichs weitaus schwieriger. Während im Wegbereich jeder Offset als ein Fehler in den Daten bezeichnet werden kann, so ist ein Amplituden-Offset nicht zwangsläufig ein Fehler, sondern sehr oft eine durchgeführte Instandsetzungsmaßnahme. In diesem Bereich gibt es bisher zwei grundsätzliche Lösungsmöglichkeiten, um auf fehler-

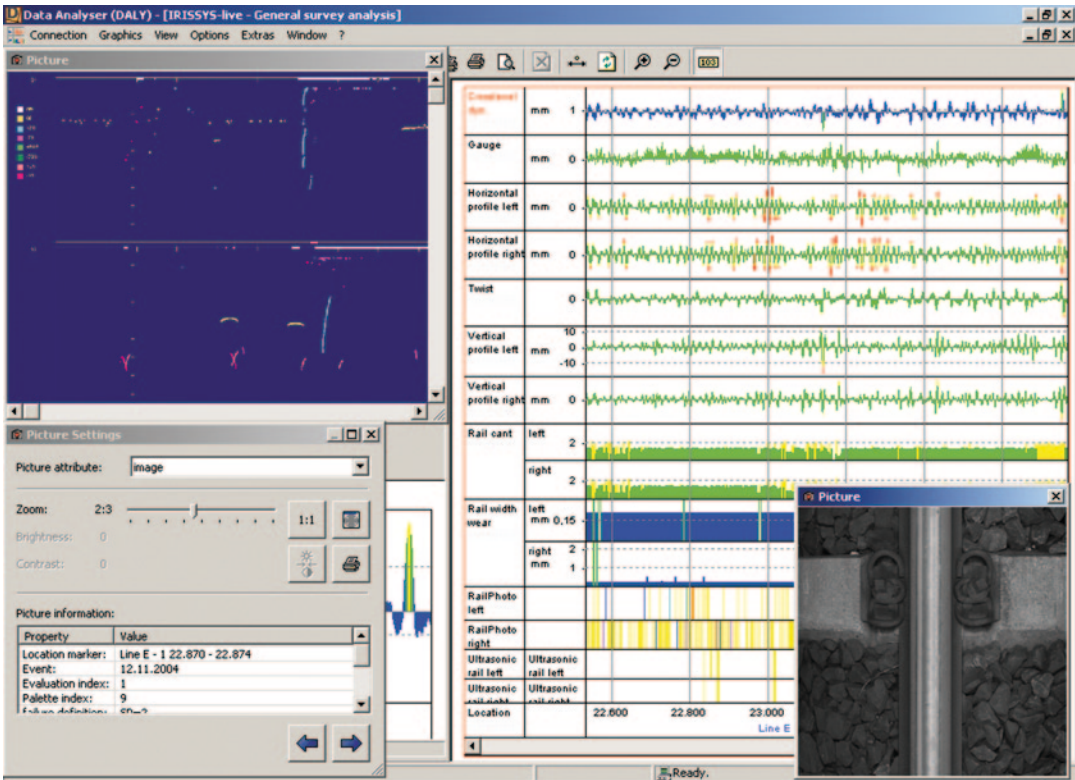


Abb. 22.24 Gleisgeometrie in Verbindung mit den Schieneneigenschaften

hafte Daten zu reagieren. Beim ersten Ansatz wird mit Hilfe von Regeln versucht, die durchgeführten Instandsetzungen von den Messfehlern zu trennen. Auch dieses Verfahren arbeitet nicht zuverlässig, wenn Daten in den zu prüfenden Abschnitten fehlen. Abbildung 22.26 zeigt den ersten Ansatz am Beispiel der Standardabweichung des dynamischen Anteils der Gegenseitigen Höhenlage.

Die Kanäle mit der Bezeichnung „Plausibilität GH Std“ der Abb. 22.26 zeigen die Standardabweichung des dynamischen Anteils der Gegenseitigen Höhenlage über eine Abschnittslänge von 250 m aus sechs verschiedenen Zeitbereichen. Die Kanäle mit der Bezeichnung „Plausibilität GH Std Diff.“ zeigen die Entwicklung der Standardabweichung von einem Zeitbereich zum nächsten. Dabei sind Anstiege der Standardabweichung grün und Abfälle rot dargestellt. Die Plausibilitätsprüfung bewertet nun, je nach Parametrisierung, Abfälle von einem Zeitbereich zum

nächsten als Instandsetzungsmaßnahme oder Messfehler. Die Messfehler sind in den Kanälen „Plausibilität GH Pl.-Bool“ dargestellt, wobei rot für unplausibles Datenverhalten steht. Die gefundenen Instandsetzungsmaßnahmen sind in den Kanälen mit der Bezeichnung „Plausibilität GH IM-Bool“ dargestellt, wobei schwarz für durchgeführte Instandsetzungsmaßnahmen steht. Der unterste Kanal dieser Ansicht zeigt den Grad der Plausibilität über alle sechs Messungen hinweg. Mit diesem Verfahren können nun Instandsetzungsmaßnahmen und Messfehler erkannt und voneinander getrennt behandelt werden.

Der zweite Ansatz der Plausibilitätsprüfungen im Amplitudenbereich versucht hingegen nicht mehr, Instandsetzungsmaßnahmen von Messfehlern zu trennen, sondern verwendet nur plausible Daten. Die Vorteile dieser Plausibilitätsprüfungen sind, dass sie keine Regeln benötigen, um Messfehler von Instandsetzungen zu trennen und auch bei fehlenden Daten zuverlässig funktio-

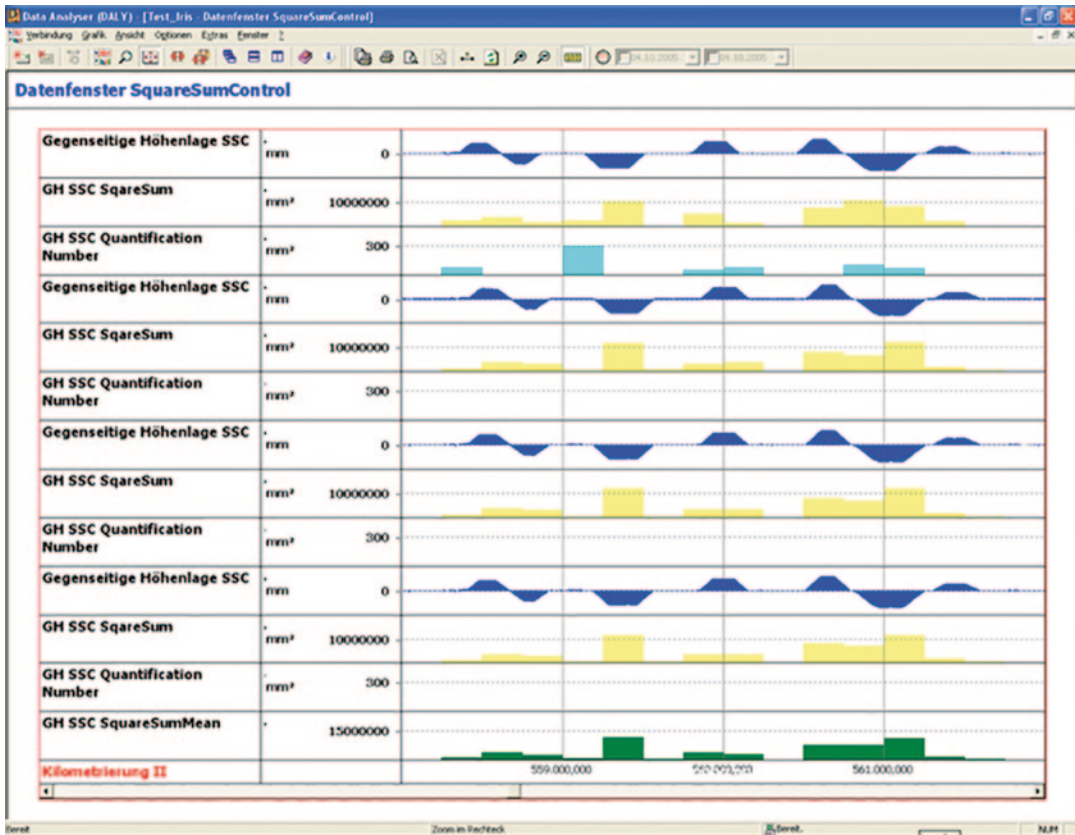


Abb. 22.25 Plausibilitätsprüfung im Wegbereich

nieren. Der Nachteil dieser Verfahren ist jedoch, dass weitaus weniger verwendbare Daten am Ende übrig bleiben. Eingesetzt werden diese Verfahren z. B. bei der für die Prognose wichtigen Trendberechnung. Hier wird der jeweilige Trend entweder nur über alle plausiblen Zeitbereiche oder nur über die letzten plausiblen Zeitbereiche berechnet. Das letztgenannte Verfahren beginnt dabei mit den aktuellsten Daten, prüft in Richtung der älteren Daten und stoppt sofort, wenn eine unplausible Entwicklung gefunden wurde.

22.2.2 Zustandsprognose

Während sich die vorhergehenden Abschnitte mit der Darstellung, Aufbereitung und Analyse des Ist-Zustandes beschäftigen, behandelt dieser Abschnitt die Möglichkeiten zur Abschätzung des

Zustandes der Daten in einem anderen Zeitbereich, i. d. R. in der Zukunft. Für eine langfristig angelegte Planung von Instandsetzungsmaßnahmen ist die Vorhersage, d. h. die Prognose, des Zustands des Fahrwegs Eisenbahn unabdingbar. Entscheidungen, welche die Zukunft betreffen, wie die Durchführung von Instandsetzungsmaßnahmen, sind risikobelastet, da die Entscheider nur unvollkommene Informationen besitzen. Daher sollten solche Entscheidungen stets auf Prognosen oder prognostischen Erwartungen beruhen. Je genauer und zuverlässiger diese Vorhersagen sind, umso besser und umfangreicher sind auch die entscheidungsrelevanten Informationen und umso geringer das Risiko, falsche oder uneffektive Entscheidungen zu treffen.

Allgemein formuliert, ist eine Prognose ein Wahrscheinlichkeitsurteil über das Auftreten von Ereignissen bzw. das Erreichen eines Zu-

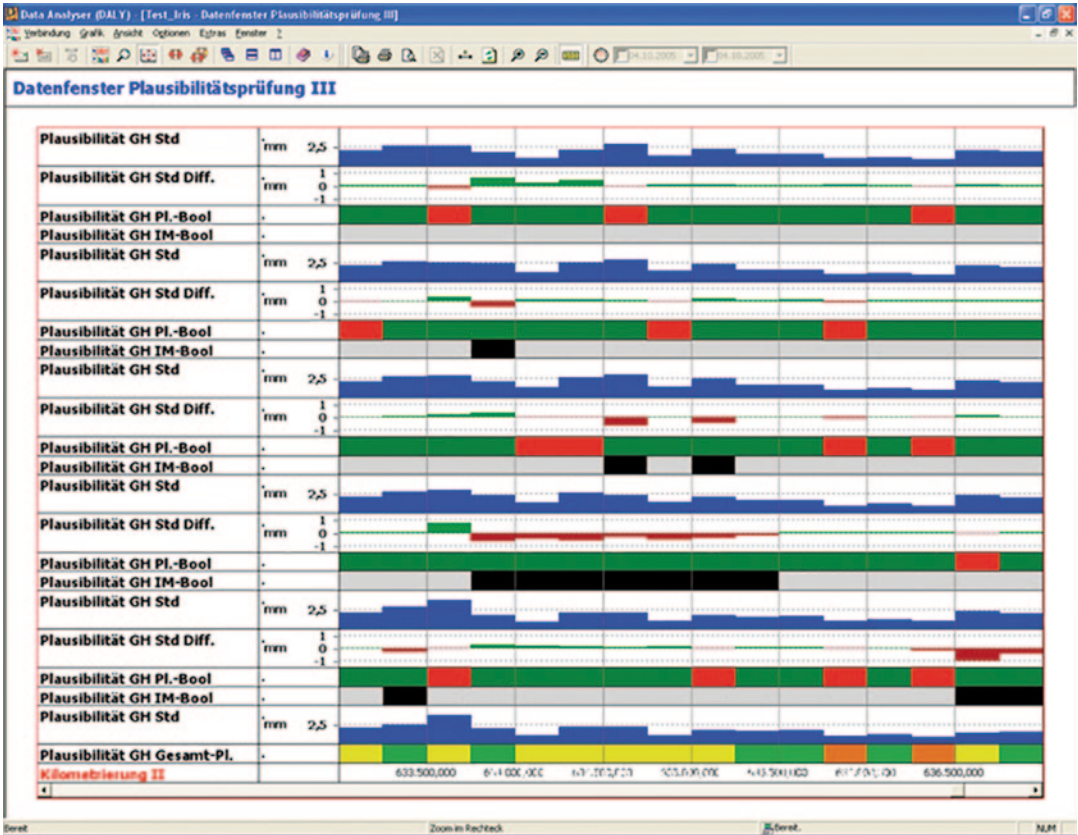


Abb. 22.26 Plausibilitätsprüfung im Amplitudenbereich

standes in der Zukunft, das auf Beobachtungen der Vergangenheit, einer gering ausgeprägten Erklärungstheorie und der Annahme über die Fortsetzung der Beobachtung beruht. Somit sind für eine Prognose Beobachtungen von Vergangenheitswerten nötig und diese sind mit einer möglichst gut begründeten Theorie in die Zukunft fortzuschreiben. Zu den Prognosen zählt außerdem die Extrapolation von Trends über die Zustandsentwicklung der Vergangenheit in die Zukunft. Die Basis für eine Prognose bilden formalisierte Methoden, die auf der Grundlage von zeitlich gegliederten Messungen mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit einen Zustand für die Zukunft vorhersagen. Die Grenzen der Prognose liegen bei den zugrunde gelegten Theorien, der Genauigkeit der Vergangenheitsbeobachtung und den eingesetzten statistischen Verfahren. Hier ist ein umfangreiches Know-how an Ana-

lyseverfahren, Plausibilitätsprüfungen und Prognoseverfahren unabdingbar.

22.2.2.1 Manuelle Zustandsprognose

Die einfachste Form einer Prognose ist das intuitive Abschätzen der Daten in der Zukunft auf der Basis der beobachtbaren Entwicklung in der Vergangenheit. Dazu muss ein Infrastruktur-Managementsystem in der Lage sein, die Daten zeitlich gegliedert darstellen und die in den vorhergehenden Abschnitten beschriebene Ist-Zustandsanalyse durchführen zu können.

Ein großer Nachteil bei dieser Art der Prognose ist, dass das manuelle Abschätzen des Zustands in der Zukunft nach rein subjektiven Gesichtspunkten geschieht. Somit können verschiedene Betrachter trotz gleicher Darstellung der Ergebnisse des Ist-Zustands zu verschiedenen Ergebnissen kommen. Ein zweiter großer Nach-

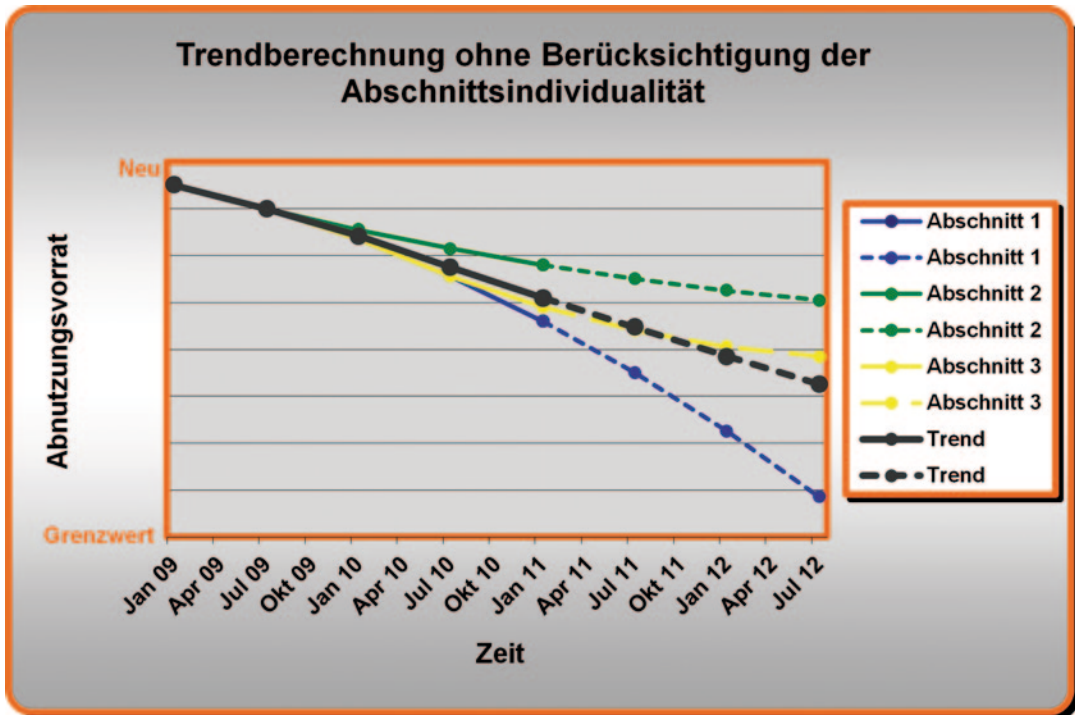


Abb. 22.27 Trendberechnung ohne Abschnittsindividualität

teil ist, dass bei diesem Vorgehen eine flächendeckende Prognose nur schwer denkbar ist.

22.2.2.2 Extrapolationsverfahren

Eine weitaus bessere Lösung zur Abschätzung von Zustandsdaten in der Zukunft bieten Extrapolationsverfahren. Unter Extrapolation wird die Berechnung bzw. Abschätzung einer i. d. R. mathematischen Entwicklung über den sog. gesicherten, d. h. bekannten Bereich hinaus verstanden. Hier muss deutlich unterschieden werden zwischen Extrapolationsverfahren, welche die sog. Abschnittsindividualität, d. h. die unterschiedliche Entwicklung der Abschnitte berücksichtigen und solchen Extrapolationsverfahren, die das nicht können. Bei den an zweiter Stelle genannten Extrapolationsverfahren wird von einem gleichartigen Verhalten bzw. gleichartigen Verschleiß der Abschnitte ausgegangen. Dies hat sich jedoch nicht bewährt, da i. d. R. selbst direkt nebeneinander liegende Abschnitte ein ganz unterschiedliches und nicht auf einfachem Wege begründbares Verhalten aufweisen.

Abbildung 22.27 zeigt die Entwicklung dreier Abschnitte. Die durchgezogenen Linien zeigen jeweils die Vergangenheitswerte und die gestrichelten Linien die zukünftigen Werte. Über diese Entwicklungen wurde nun ein durchschnittlicher Trend berechnet, der den Verschleiß aller Abschnitte repräsentieren soll.

Abbildung 22.28 zeigt, was passiert, wenn die Werte mithilfe eines allgemeinen Trends extrapoliert werden. Da die Entwicklungen der verschiedenen Abschnitte stark voneinander abweichen, kommt es zu starken Abweichungen zwischen extrapolierten Werten und den tatsächlich eingetretenen Werten.

Abbildung 22.29 zeigt die abschnittsindividuelle Extrapolation, bei der für jeden Abschnitt getrennt ein Trend berechnet wird. Hier erfolgt die Prognose der Zustandsdaten in Abhängigkeit der abschnittsindividuellen Entwicklungstendenz.

Eine abschnittsindividuelle Extrapolation ist flächendeckend im holländischen Streckennetz getestet worden. Dieses Verfahren prognostizierte die Entwicklung der Standardabweichung des

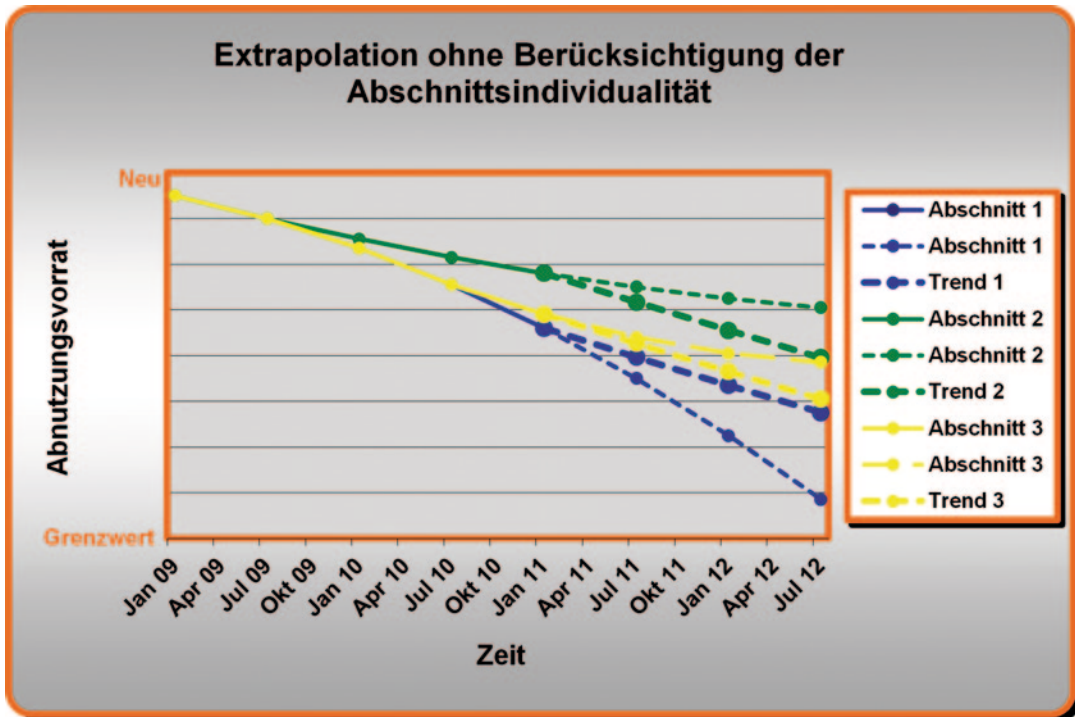


Abb. 22.28 Extrapolation ohne Abschnittsindividualität

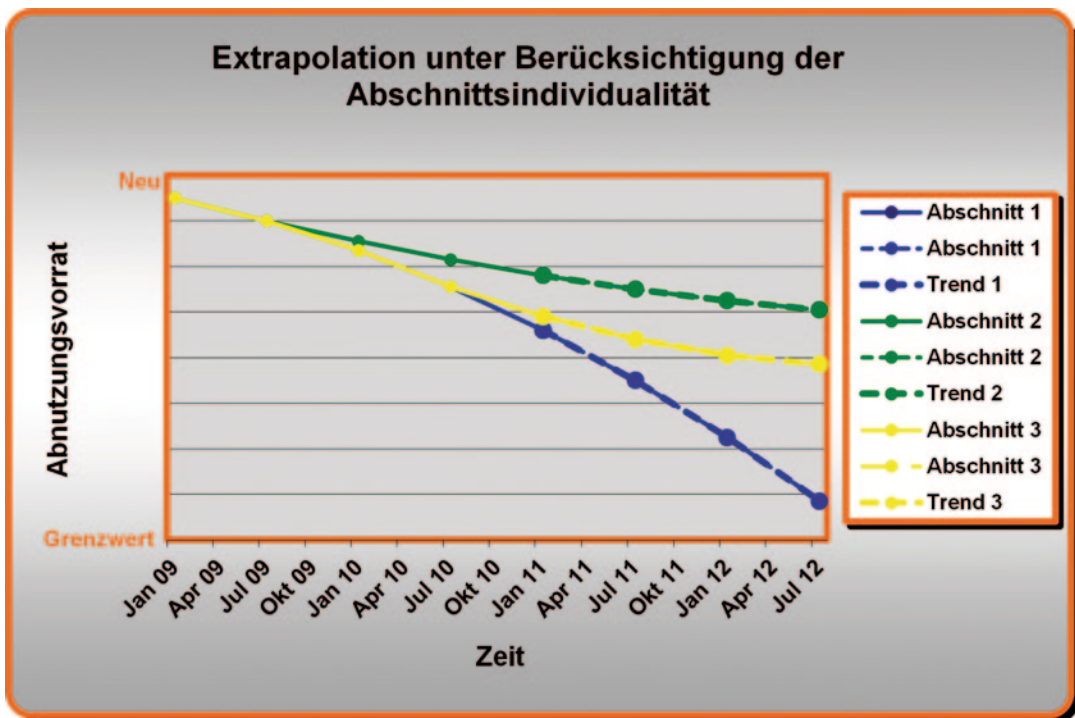


Abb. 22.29 Extrapolation mit Abschnittsindividualität

dynamischen Anteils der Gegenseitigen Höhenlage über ein Jahr mit einer Abweichung von ca. 5% und über zwei Jahren mit einer Abweichung von ca. 8% vom tatsächlich eingetretenen Zustand. Dieses bemerkenswerte Ergebnis basiert darauf, dass dieses Verfahren so gestaltet wurde, dass es flexibel parametrisierbar ist und auf unplausibles Datenverhalten in der Vergangenheit reagieren kann. Dieses Verfahren ist jedoch bisher nur im Rahmen der Gleisgeometrie getestet worden. Die Forschungsergebnisse in diesem Bereich ergaben außerdem, dass bis zu 2,5 Jahren die Entwicklung der Daten mit Hilfe der Linearextrapolation am besten fortgeschrieben werden kann. Die Ergebnisse der getesteten adäquaten Extrapolationsverfahren, die auf anderen Funktionstypen basieren, wie die Exponential- und Spline-Extrapolation waren im Ergebnis geringfügig schlechter. Extrapolationsverfahren weiterer Funktionstypen waren im Ergebnis sogar deutlich schlechter. Das liegt jedoch daran, dass sich nicht nur der Verschlechterungsgrad, sondern auch der Funktionstyp der Abschnitte voneinander unterscheidet. Dadurch liegt die Linearextrapolation durchschnittlich am nächsten am eigentlichen Verlauf. Denkbar wäre hier ein Verfahren, dass im ersten Schritt den am besten passenden Funktionstypen ermittelt und im zweiten Schritt dann mit diesem die Extrapolation durchführt.

Ein großer Nachteil dieser Verfahren ist, dass sie nur mit einem einzigen Datentyp arbeiten können und somit kausale Zusammenhänge in den Daten, die sich auf die Entwicklung in der Zukunft auswirken, nicht erkennen können. Hier bietet die in Abschn. 22.2.2.3 beschriebene Prognose mit Hilfe von Künstlichen Neuronalen Netzen weitaus flexiblere Möglichkeiten.

22.2.2.3 Zustandsprognose mit Hilfe von KNN

Bei der Prognose mit Hilfe von Künstlichen Neuronalen Netzen, kurz KNN, geht es darum, das Verhalten der Daten in der Vergangenheit zu erlernen, um eine Aussage über das Verhalten der Daten in der Zukunft prognostizieren zu können. Werden an das KNN jedoch nur Informationen über Zustand, Folgezustand und Zeitdifferenz

zwischen den Zuständen gelegt, so generalisiert das KNN den funktionalen Zusammenhang zu einer einzigen Funktion für das gesamte Streckennetz. Dadurch weichen die Prognoseergebnisse, aufgrund der beschriebenen Abschnittsindividualität, teilweise gravierend vom eigentlich eingetretenen Zustand ab. Abbildung 22.30 stellt die allgemeine Funktionsweise eines KNN ohne Berücksichtigung der Abschnittsindividualität dar.

Wie Abb. 22.30 zeigt, werden in der Lernphase als Eingangswerte an das KNN der Ausgangszustand und die Zeitdifferenz gelegt und als Soll-Ausgangswert der nach der Zeitdifferenz eingetretene Zustand. In der Rechenphase wird nun nur Ausgangswert und Zeitdifferenz angelegt. Der Zielwert ist nun vom KNN zu berechnen. Bei dieser Vorgehensweise kann das KNN die Abschnittsindividualität nicht miterlernen. Das Ergebnis wird somit, adäquat der Extrapolation ohne Abschnittsindividualität, mehr oder weniger stark vom eigentlich eingetretenen Zustand abweichen. Damit das KNN das Verhalten der Abschnitte genauer erlernen kann, braucht es zusätzliche Informationen, welche die Ursache für die Individualität der Abschnitte repräsentieren. Denkbar wären hier Daten anderer Größen des gleichen Bereiches des Fahrwegs, die Aufschluss über die Ursache des Verhaltens geben können oder zumindest dem KNN ermöglichen, unplausibles Verhalten der Daten besser zu erkennen. Sinnvoller wäre jedoch im Rahmen einer Integrierten Prognose des Zustandes, auch Größen aus der Integrierten Zustandsanalyse zu verwenden, damit das KNN die kausalen Zusammenhänge der Größen der verschiedenen Fahrwegbereiche erlernen und somit genauer den Zustand in die Zukunft prognostizieren kann. In einem Infrastrukturmanagementsystem sollte es also möglich sein, alle Daten aus sämtlichen Fahrwegbereichen sowie Stammdaten und Daten zu Instandsetzungsmaßnahmen zu erfassen und vorzuhalten, um eine zuverlässige Prognose zu gewährleisten. Abbildung 22.31 stellt die Funktionsweise eines KNN mit Berücksichtigung der Abschnittsindividualität dar. Das KNN soll hier durch Anlegen von Zusatzinformationen die kausalen Zusammenhänge in den Daten und damit

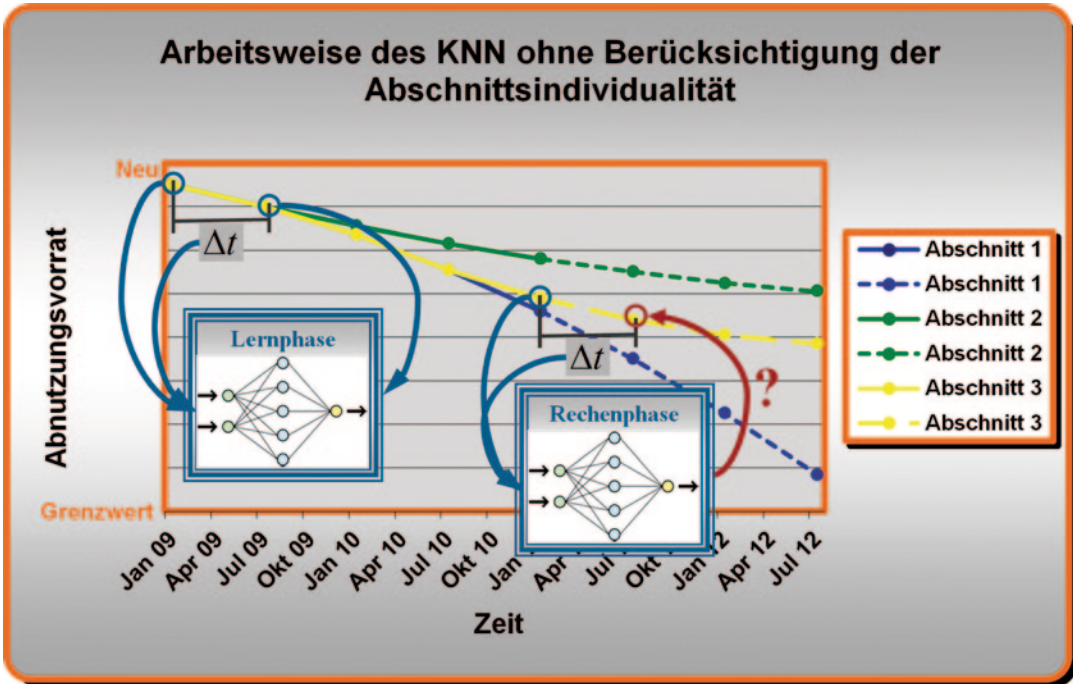


Abb. 22.30 Arbeitsweise des KNN ohne Abschnittsindividualität

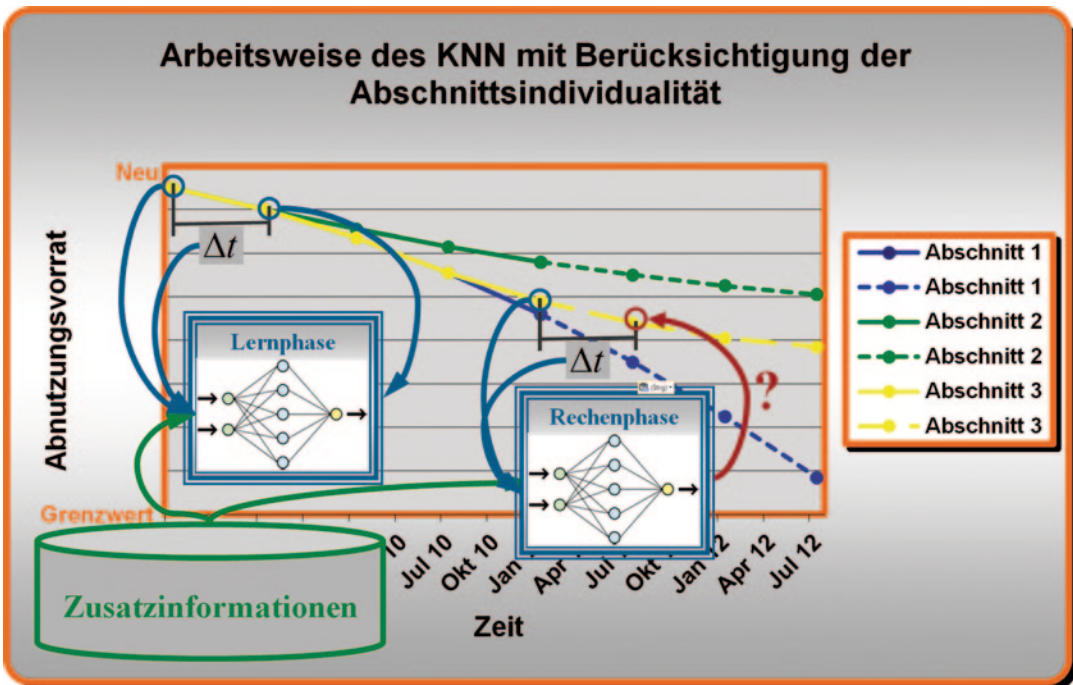


Abb. 22.31 Arbeitsweise des KNN mit Abschnittsindividualität

mögliche Ursachen für die Abschnittsindividualität miterlernen.

Wie Abb. 22.31 zeigt, lernt und prognostiziert das KNN hier den Zustand in Abhängigkeit der Zusatzinformationen. Diese Form der Prognose wurde flächendeckend im holländischen Netz an Hand von Geometriedaten getestet. Als zusätzliche Größe wurde hier die um unplausibles Datenverhalten bereinigte Entwicklungstendenz verwendet. Die Ermittlung dieser Größe wurde im Kapitel Plausibilitätsprüfungen kurz angerissen. Die hier verwendete Entwicklungstendenz wird für jeden Abschnitt individuell berechnet und repräsentiert die aktuelle und plausible Entwicklung eines jeden Abschnitts. Bei der Prognose unter Berücksichtigung dieser Größe waren die Ergebnisse um ca. 3 bis 4% schlechter als die Ergebnisse der Extrapolationsverfahren. Ein großer Nachteil der KNN gegenüber den Extrapolationsverfahren ist der technologisch begründete Netzwerkfehler der KNN, der das Ergebnis von vorn herein um mindestens 1% verschlechtert. Ein weiterer Nachteil ist die schlechtere Performance, das heißt Rechendauer, gegenüber den Extrapolationsverfahren.

Getestet werden konnte jedoch nicht, wie sich das Ergebnis bei vorliegenden Daten der anderen Bereiche des Fahrweges, also im Rahmen einer Integrierten Zustandsanalyse, verhält. Die Tatsache, dass KNN mit nahezu beliebig vielen Informationen „gefüttert“ werden können und die Möglichkeit, kausale Zusammenhänge in diesen Informationen zu erlernen, stellt den größten Vorteil der KNN gegenüber den Extrapolationsverfahren dar.

22.2.3 Instandhaltungsplanung

Ein Infrastruktur-Managementsystem hat die Aufgabe, Möglichkeiten zu liefern, den aktuellen Zustand des Fahrwegs möglichst genau einschätzen und den zukünftigen Zustand relativ genau vorhersagen zu können. Genauso sollte ein solches System aber auch dabei Hilfestellung geben, die richtigen Entscheidungen aufgrund der vorliegenden Informationen treffen zu können. Das heißt, für eine planmäßig vorbeugende Instand-

haltung muss ein Infrastruktur-Managementsystem den Verantwortlichen Möglichkeiten zum vorausschauenden Planen entsprechender Instandsetzungsmaßnahmen geben. Eine langfristige Planung beinhaltet zwar ein enormes Einsparungspotenzial, aber auch ein enormes Risiko. Beide steigen und fallen mit der Qualität und auch Quantität der vorliegenden Informationen. Nur eine umfangreiche Aufbereitung und Analyse der Daten sowie eine aussagekräftige Darstellung dieser Ergebnisse, wie beschrieben, ermöglicht eine vernünftige und vorausschauende Planung der Instandsetzungsmaßnahmen.

22.2.3.1 Manuelle Instandhaltungsplanung

Die einfachste Form der Instandhaltungsplanung ist die manuelle Festlegung, welche Instandsetzungsmaßnahmen wo durchzuführen sind. Dazu muss das Infrastruktur-Managementsystem entsprechende Möglichkeiten zur Erfassung der einzelnen Maßnahmen liefern. Abbildung 22.32 enthält eine Möglichkeit zur Erfassung und Darstellung von Instandsetzungsverfahren mit Hilfe eines Infrastruktur-Managementsystems.

Abbildung 22.32 zeigt die Ansicht eines Infrastruktur-Managementsystems zur manuellen Instandhaltungsplanung und einen Dialog zur Erfassung von Instandsetzungsmaßnahmen. Mit diesen Hilfsmitteln ist es möglich, bestimmte instandsetzungsrelevante Kriterien zu betrachten und relativ flexibel und einfach Instandsetzungsmaßnahmen zu planen und festzulegen.

Der größte Nachteil der manuellen Instandhaltungsplanung ist, dass die Entscheidung über die Notwendigkeit und Art der durchzuführenden Instandsetzungsmaßnahme nach rein subjektiven Gesichtspunkten geschieht. Außerdem kann der Planer nicht erkennen, wie sich die getroffenen Entscheidungen auf den Zustand des Fahrwegs in der Zukunft auswirken. Hierzu liefert die in Abschn. 22.2.3.2 beschriebene systemgestützte Instandhaltungsplanung weitere Hilfestellung.

22.2.3.2 Systemgestützte Instandhaltungsplanung

Weiterreichende Hilfestellung für die langfristige Planung von Instandsetzungsmaßnahmen in

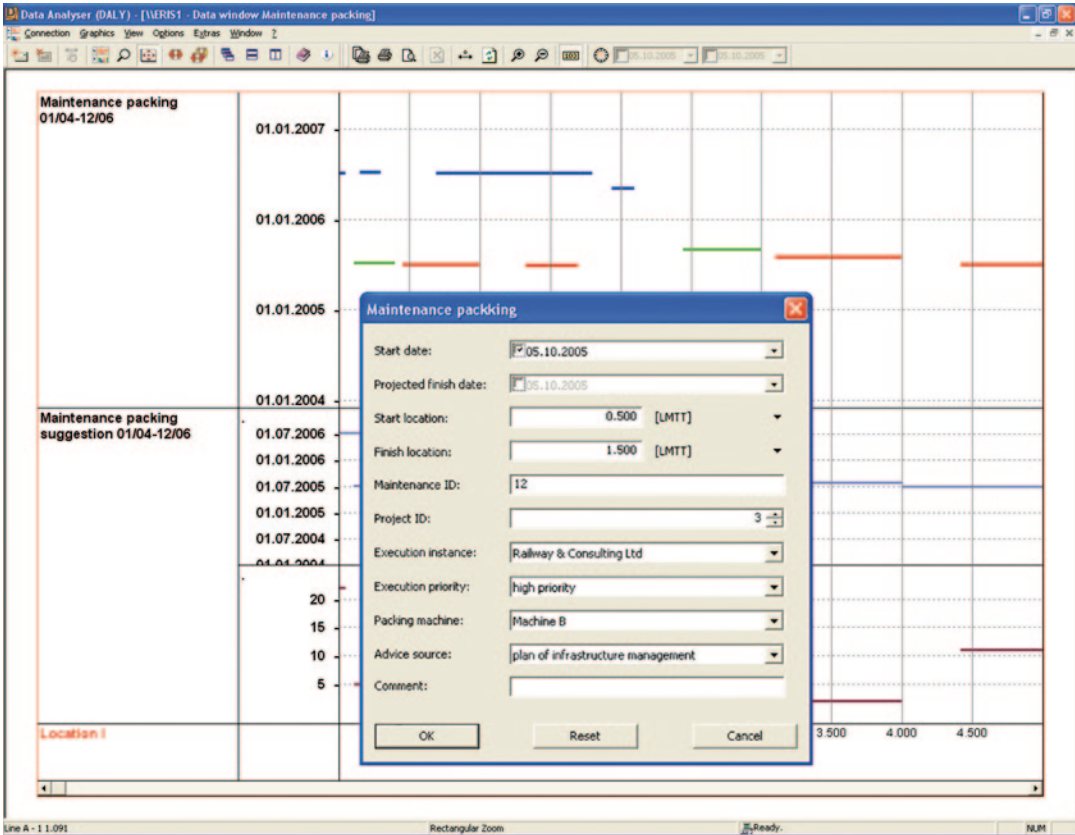


Abb. 22.32 Erfassung und Darstellung von Instandsetzungsmaßnahmen

einem Infrastruktur-Managementsystem bietet die systemgestützte Instandhaltungsplanung, die in der Lage ist, aufgrund der Entscheidungen über durchzuführende Instandsetzungsmaßnahmen den Zustand des Fahrwegs zu simulieren. Abbildung 22.33 zeigt die mit Hilfe eines integrierten Werkzeugs vorgenommene systemgestützte Instandhaltungsplanung.

Auf Basis der vom System vorausgesagten Zustandsentwicklung wird ein Vorschlag für Instandsetzungsmaßnahmen berechnet. Insbesondere müssen auch die technologischen Bedingungen wie:

- betriebsbedingte mögliche Eingriffszeiträume,
- geeigneter Maschinentyp,
- Kosten für Maschineneinrichtung und Einsatzkosten pro Meter,
- technologisch sinnvolle Abschnittslängen und
- Kosten der Stilllegung

berücksichtigt werden. Sinnvoll ist die Instandhaltungsoptimierung jedoch nur, wenn diese über mehrere Jahre erfolgt und nicht jeder Abschnitt getrennt, sondern mehrere Abschnitte gleichzeitig betrachtet werden. Wird also eine Optimierung über mehrere Eingriffszeitpunkte und mehrere Abschnitte durchgeführt, so ergibt sich die gesamte Anzahl möglicher Varianten mit folgender Formel:

$$GV = IM^{OZ \cdot AA}$$

- GV Gesamte Anzahl möglicher Varianten
- IM Anzahl möglicher Instandsetzungsverfahren
- OZ Anzahl betrachteter Optimierungszeiträume
- AA Anzahl betrachteter Abschnitte



Abb. 22.33 Systemgestützte Instandhaltungsplanung

Es wird sehr schnell deutlich, dass es unter Berücksichtigung aller Bedingungen zahlreiche Varianten gibt. Rein theoretisch kann ein Rechner alle Varianten durchspielen und somit das tatsächliche Optimum ermitteln. Der Nachteil ist, dass dies sehr rechenintensiv ist. Entsprechende Versuche ergaben bei drei möglichen Maßnahmen, vier Optimierungszeiträumen und vier betrachteten Abschnitten eine Rechendauer von ca. zwei Minuten. Die Erhöhung der Anzahl der Optimierungszeiträume auf 5 erforderte dann bereits eine Rechendauer von fast vier Stunden. Das bedeutet, dass dieses Verfahren bereits sehr schnell in puncto Rechenzeit an seine Grenzen stößt.

Eine deutliche Reduzierung der Rechenzeit bei gegebenem Optimierungsproblem liefern genetische Algorithmen, die nicht alle möglichen Varianten miteinander vergleichen. Nach anfänglich zufälliger Auswahl einer bestimmten Anzahl an Varianten werden in folgenden Schritten nur die Varianten verglichen, die mit Hilfe der genetischen Methoden, Selektion, Kreuzung und Mutation entstehen. Dadurch ist die notwendi-

ge Rechenzeit um ein Vielfaches geringer. Der Nachteil dieser Verfahren ist jedoch, dass das Ergebnis, je nach Grad der Reduzierung der Rechenzeit, mehr oder weniger stark vom eigentlichen Optimum abweicht. Somit können mit Hilfe von genetischen Algorithmen, auch bei der gleichzeitigen Betrachtung mehrerer Abschnitte, mit einer akzeptablen Rechenzeit Ergebnisse erzielt werden, die nur geringfügig vom eigentlichen Optimum abweichen.

In Abb. 22.33 ist im oberen Teil der Vorschlag des Systems dargestellt. In der Praxis spielen mitunter noch eine Reihe weiterer Faktoren eine Rolle, die vom System nicht erfasst werden können. Das können unter anderem auch strategische Fragen zur Infrastrukturpolitik sein. Für den Ingenieur ist der Vorschlag vom System die Basis, aufgrund dessen er verschiedene Szenarien austesten kann. Er kann den vom System vorgegebenen Vorschlag bearbeiten. Er erhält sofort Daten über Kosten und Zustandsentwicklung zu dem geplanten Szenario. Diese Mensch-Maschine-Lösung hat sich in der Praxis bewährt.

Sachverzeichnis

A

Abbrennstumpfschweißen, 74, 75, 93, 260
Abfall, 905
Abfallrecht, 969
Abfallregister, 970
Abfallverzeichnisverordnung, 970
Abstandshaltung, 511
Abstellverbot, 433
Abwasser
 Direkteinleitung, 907
 Indirekteinleitung, 907
 industrielles/gewerbliches, 915
Abwasseranlage, 906
 Eigenüberwachung, 907
 genehmigungsbedürftige, 916
 Inspektion, 908
Abzweigstelle, 408
Achszähler, 506
 Beeinflussung durch Eisenbahnfahrzeuge, 892
 Wirkprinzip, 891
Achszählgrundstellung, 505
Achszählrechner, 505
Aerodynamik, 308
ALARP-Prinzip, 566, 576
Algebra, lineare, 1071
Algorithmus, genetischer, 1068
Altholzschwellen, 972
Altölablagerung, 104
Altschotter, 973
Altschotterentsorgung, 973
Aluminiumleiter, 800
Andreaskreuz, 644, 660
Angebotsnetze, 449
Ankündigungsanlage, automatische, 436
Anlagenmanagement, 1055
 für den Fahrweg von Eisenbahnen, 1012
 von Eisenbahninfrastruktur, 1010
Anlagenmonitoring des Fahrwegs, 1055
Anlagenschutzwert, 886
Anlagenverantwortung, 290
Annuitätenmonitoring, 1041
Anrufschranke, 662, 867
Anschlussbahnhof, 465

Anschlussstelle, 408
Arbeitsstätten, 326
Artenschutz, 965
Auflastschüttung, 198
Aufsetzmast, 725
Auftragschweißen, 75
Ausdehnungskoeffizient, 66
Ausfahrtsignal, 420
Ausfallwahrscheinlichkeit der Oberbauelemente, 52
Ausgleichsplatten, 340
Ausrüstungsbalken, 379
Außenbogenweichen, 244–246, 630
 symmetrische, 246
Außenkonus, 811
Ausweichanschlussstelle, 408
Ausziehgleis, 480
Authentication Center, 843
Autodesk Map, 1060
Autotransformator, 691

B

Backenschiene, 259, 301
Backenschienenverspannung, innere, 274
Baggerschüttverfahren, 188
Bahn-Telekommunikation, 837
Bahnanlagen, Querschnittsgestaltung, 307
Bahnenergieerzeugung, 681, 694
Bahnenergieerückführung, 698
Bahnenergieübertragung, 681, 695
Bahnenergieversorgung (BEV), 681, 691
Bahnenergieverteilung, 696
Bahnenergiezuführung, 696
Bahnerdung, 746, 749
Bahnhof, 407, 772
 betriebliche Funktionen, 464
 verkehrliche Funktionen, 467
 im Güterverkehr, 468
 im Personenverkehr, 467
 von Eisenbahnknoten, 777
Bahnkrümmung, 2
Bahnlärm, 400
Bahnnotruf, 841

- Bahnsteig, 477
 - Lage, 534
- Bahnsteiganlage, 331
 - Abmessungen, 332
- Bahnsteigkante, 333
- Bahnstrom, 883
 - Sonderfrequenz, 692
- Bahnstromleitungsmast, 695
- Bahnstromnetz, 692
- Bahnstromsystem, 684
- Bahnstromversorgung, 685
- Bahnübergang, 643, 765
 - anerkannte Regeln der Technik, 647
 - Anforderungen der Straßenverkehrsteilnehmer, 645
 - Bau- und Betriebsordnungen, 647
 - bautechnische Gestaltung, 647
 - Bedienerüberwachung, 666
 - bei nichtöffentlichen Eisenbahnen, 644
 - bei öffentlichen Eisenbahnen, 644
 - Beschilderung, 672
 - Einschaltung, 662
 - Entwässerung, 650
 - fernüberwacher, 665
 - Gefahrenraum, 667
 - Instandhaltung, 669
 - Markierung, 672
 - nichttechnische Sicherung, 652
 - Postensicherung, 657
 - Rechtsgrundlagen, 645
 - Schutzfunktionen, 644
 - Sicherungsmaßnahmen, 650
 - Sichtflächenberechnung, 658
 - Sichtverhältnisse, 653
 - Störungsmanagement, 669
 - Streckenstilllegung, 678
 - technische Sicherung, 660
 - TV-Anlagen, 875
 - Überwachung, 662
 - Überwachungssignal, 663
 - Umlaufsperrung, 656
 - Verkehrsschau, 677
 - Vorschriften für den Straßenverkehr, 647
- Bahnübergangsbelaag, 648
- Bahnübergangssicherung, 670
- Bahnübergangssicherungsanlage, 760
- Bahnverwaltung, 1056
- Balisen, 537
- BASA-Netz, 835
- Base Station Subsystem (BSS), 842
- Batterieanlage, 776
- Bauabschnittslänge, 1026
- Baubehelf, 384
- Bauen im Betrieb, 434
- Baugleis, 437
- Baugrund, 97, 99
 - archäologische Fundstellen, 106
 - Aufschluss, 106
 - Erschütterungen durch Sprengungen, 228
 - Gärungsstoffe, 104
 - Kampfmittelberäumung, 106
 - Lastannahmen, 217
 - Munitionsverseuchung, 106
 - organischer, 105, 185
 - Baugrundbeurteilung, 168
 - Baugrundgutachten, 100, 107
 - Baulärm, 933
 - Baumarten, 954
 - Bauplanung, Planungsphasen nach HOAI, 441
 - Bauproduktenverordnung (BauPVO), 352
 - Bauregellisten (BRL), 354
 - Bauwerksabdichtung, 376
 - Bauwerksquerschnitt, 328
 - Beeinflussungsspannung, 885
 - Befehl, schriftlicher, 410
 - Beförderungsenergie, 484
 - Beförderungsgeschwindigkeit, 484
 - Belastbarkeit, 51
 - in Längsrichtung, 54
 - seitliche, 55
 - vertikale, 51
 - Belastung, 51
 - äußere, 39
 - in Längsrichtung, 54
 - innere, 46
 - Schwellen und Schotter, 54
 - seitliche, 55
 - vertikale, 51
 - Belastungs-Zeit-Setzungsdiagramm, 210
 - Beleuchtungsanlage, 773
 - Belgrospris, 88
 - Berme, 145
 - Anschütten, 183, 198
 - Berührspannung, 688
 - Beton-Plattenbalken, 370
 - Betonbrücke, 369
 - Betonhohlkasten, 371
 - Betonmast, 727
 - Betonschwellen, 59, 276, 278
 - Betreiberteilsystem, 843
 - Betriebs- und Instandhaltungsfunk (BiFu), 861
 - Betriebsbeauftragter
 - für Abfall, 905
 - für Gewässerschutz, 905
 - für Immissionsschutz, 905
 - Betriebsbeeinflussung durch Baumaßnahme, 439
 - Betriebsbelastung, 482
 - Betriebsbremseinsatzgeschwindigkeit, 548
 - Betrieberschwermiskosten, 282, 1023, 1027
 - Betriebsfernmeldeanlage, 845, 862
 - Betriebsführung, 405
 - Zentralisierung, 531
 - Betriebsfunk, 851
 - Betriebslastzüge, 364, 366
 - Achslasten, 364
 - Betriebsqualität, 482
 - Betriebsicherheit, 497
 - Betriebsstellen, 407
 - Bewertungsprozess, 595
 - Biegebeanspruchung, 71
 - Biegemoment, 46

Biegeprüfung, 79
 Biegeschwellfestigkeit, 79
 Biegespannung, 47
 Bildfahrplan, 413
 Blockabschnitt, 412, 423
 Blockfundament, 728
 Blockinformation, 511
 Technologie, 522
 Blocksignal, 421
 Blockstelle, 408
 Blockstrecke, 412
 Blockunterwerk, 696
 Bodenaustauschverfahren, 188
 Bodenbehandlung, 977
 Bodenverwertungs- und Entsorgungskonzept
 (BoVEK), 979
 Bogenabzug, 725
 Bogenbrücke, 341
 Bogenfahrt, 32
 Bogenherzstück, 265
 Bogenkreuzungsweichen, 635
 Bogenlauf, 20
 Bogenlaufkräfte, 32, 35
 bei Freilauf, 33
 bei Spießgang, 33
 Bogenradius, 607, 617
 Bogenweichen, 243, 245, 614, 630
 Bogenwiderstand, 608
 Bohrpfähle, 221
 BOS-Funksystem, 862
 BOS-Tunnelfunk, 767
 Böschung, 143
 materialtechnisches Versagen, 144
 Schadensbilder, 144
 Böschungssanierung, 147
 Breiter Balken, 369
 Brems Hundertstel, 410
 Bremskraft, 45
 Bremsverhältnis, 410
 Bremswegabstand, verkürzter, 520
 Brennstoffzellen, 794
 Bruchdehnung, 66
 Brücke, bewegliche, 510
 Brückenbauwerk, Rahmenstandardisierung, 348
 Brückendeck, 376
 Brückenlager, 351, 378
 Brückenprüfung, 349
 BÜSTRA-Anlage, 674

C

Cab-Radio, 847, 856
 Common Safety Methods, 556
 Common Safety Targets, 556
 Common-Cause Failure (CCF)-Analyse, 582, 583
 Container, 459
 Coulombsche Reibungskraft, 45
 CSM-Verordnung, 554, 557

D

Damm, schwimmender, 165
 Analyse der Schäden, 175
 Bewertungskriterien, 177
 Grundbruch für den Gleisanschluss, 199
 Schwingstabilität, 234
 Dammaufbau, 114
 Dammschäden, 102
 Data Communication Network, 877
 Datenimport, 1057
 Datenübertragung, 851
 Deckbrücke, 369
 Deckungssignal, 421
 Dehnung, elastische, 710
 Detektor
 flächenförmiger, 500
 hydraulischer/pneumatischer, 499
 induktiver, 499
 linienförmiger, 500
 magnetischer, 499
 mechanischer, 499
 punktförmiger, 498
 räumlicher, 501
 Dichtebestimmung, Prüfverfahren, 117
 Dichteprüfung, 114
 Dickblech, 349
 differential Global Positioning System, 1035
 Direktmotorlokomotive, 697
 Direktzug, 460
 Doppelherzstückspitze, bewegliche, 634
 Doppelweichen, 247, 628
 Drehgestell
 am Gleis, 11
 selbstlenkendes, 12
 weiches, 12
 zwangsgesteuertes, 12
 Drehscheibe, 510
 Drehstrom-Asynchronmotor, 697
 Drehstromantriebstechnik, 697
 Drehstromnetz, 689
 Durchgangsbahnhof, 471
 Durchgangsgüterzug, 470
 Durchrutschweg, 412, 433, 518, 532
 Längen, 518
 Sicherheit, 518
 Vereinfachungen, 519
 verkürzter, 520
 Verschluss von Weichen, 518

E

Ebenheit, 89
 Eigenwieschutzweiche, 516
 Einabschnittssignal, 415
 Einfahrsignal, 420
 Eingriffsregelung, naturschutzfachliche, 964
 Einphasen-Synchrongenerator, 694
 Einphasenwechselstrom, 685
 Einschaltung, 662
 Einsetzmast, 725
 Einzelentsorgungsnachweis, 970

- Einzelwagenverkehr, 457, 458
 Eisen-Kohlenstoff-Zustandsschaubild, 71
 Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO), 405
 Eisenbahn-Infrastrukturunternehmen, 969
 Eisenbahnbrücke, 337
 Anforderungen, 357
 Ausrüstungselemente, 376
 Bauwerksabdichtung, 376
 Befestigungen und Verankerungen, 379
 Brückentypen, 368
 Einwirkungen, 362
 Entwässerung, 376
 Entwurfsgrundlagen, 359
 Entwurfsgrundsätze, 368
 Fugen- und Übergangskonstruktion, 378
 Führungen und Fangvorrichtungen, 380
 Geländer, 378
 Inspektion, 358
 Instandhaltung, 357
 Längskraftabtragung, 360
 Lärmschutz, 359
 Lastmodell SW/0, 363
 Oberbau, 359
 Randkappen, 376
 Schotterhaltung, 378
 Eisenbahnbrückenbau, 342
 aktuelle Entwicklungen, 342
 europäische Bemessungsnormen, 350
 harmonisierte Produktnormen, 351
 Normen und Regelwerke, 349
 Richtlinie 804, 357
 Eisenbahndamm, 97
 Eisenbahndrehkran, 285
 Eisenbahnfahrzeug, 889
 Eisenbahninfrastrukturunternehmen (EIU), 358, 406, 458
 Vorgaben, 988
 Eisenbahnknoten, 775
 Eisenbahnkreuzungsgesetz, 646
 Eisenbahnoberbau, 39
 Anschaffungskosten, 61
 Belastung, 61
 Eisenbahnschiffbrücke, 340
 Eisenbahnsignal, 380
 Eisenbahnspezifische Bauregellisten (EBRL), 354
 Eisenbahntunnel, siehe Tunnel
 Eisenbahnunfall, 553
 Eisenbahnverkehrslasten für dynamische Berechnungen, 364
 Eisenbahnverkehrsunternehmen, 406
 Eisenbahnverordnung (EBV), 405
 Elektrant, 767
 Energieversorgung, 767
 Elektrifizierungswürdigkeit, 682
 Elektrokabel, 799
 Elektrolokomotive, 682
 Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV), 881
 Emissionserklärung, 919
 EN 13674-1, 65, 73
 Endbahnhof, 464
 Endlagenprüfer, 278
 Endverschlüsse, 810
 Energiebezug
 aus Oberleitungsnetz, 758, 784, 785, 789
 aus Versorgungsnetz, 785, 789
 vom Versorgungsnetzbetreiber, 758
 Energiekabel, 803
 Energieversorgung, 761
 elektrischer Bahnen, 681
 netzferne, 759
 Entgleisung, 26
 Kriterien, 27
 Ursachen, 26
 Entsorgung, 969
 Entwässerung, 157
 Kalkablagerungen in den Leitungen, 160
 Equipment Identification Register, 843
 Erdbauwerk, 97
 auf setzungsempfindlichem Baugrund, 185
 baugrundtechnische Bewertung, 99
 Damm Schäden, 151
 dynamische Stabilität 183
 Gründung auf tragfähigem Baugrund, 109
 Gründung auf wenig tragfähigem Baugrund, 163
 Müllablagerungen, 105
 Rutschungen, 147
 Trägheit, 191
 Ursachen der Schäden, 175
 zulässige relative Setzungen, 181
 Erdplanum, 125, 211
 Sanierung, 126
 Erdung, 796
 Ereignisanalyse, 598
 Ereignisbaumanalyse, 572
 Erhaltungsschleifen, 84
 Erosionsrinne, 144
 Erschütterungen, 934
 Beurteilung, 940
 Messungen, 936
 Erschütterungsimmission, 934, 935
 Minderung, 946
 Erschütterungsprognose, 937
 Erschütterungsschutz, 945
 Ertüchtigungsmaßnahmen, 184, 187
 Eurobalise, 544
 European Train Control System (ETCS), 543
 Fahrzeugausrüstung, 544
 Überwachungskurven, 549
 European Vital Computer (EVC), 544
 Extrapolationsverfahren, 1083
- F**
- Fahnschild, 435
 Fahrbahnbreite, 321
 Fahrbahnkonstruktion, 129
 Fahrdienstleitung, 407
 Fahrdrähte, 699
 Fahrdrachtseitenlage, 705
 Fahrkantengeometrie, 268
 Fahrleitung, 535, 698
 Fahrleitungssammelschiene, 687

- Fahrleitungsschaltung, 736
 - Fahrordnung, 409
 - Fahrplan, 412, 452
 - individueller, 453
 - Fahrplankonstruktion, 462
 - Fahrplantrasse, 406
 - Fahrstraße, 511
 - Sicherung, 513
 - Signalisierung, 520
 - Technologie, 512
 - topologische Bestandteile, 514
 - Fahrstraßenauflösung, 521
 - Fahrstraßenausschluss, 513
 - Fahrstraßenfestlegung, 513, 519
 - Fahrstraßenhilfsauflösung, 522
 - Fahrstraßenverschluss, 514, 515
 - Fahrtabbau, 521
 - Fahrweg
 - Anlagenmanagement, 1009
 - Anlagenmonitoring, 1055
 - Instandhaltung, 1009
 - Life-Cycle-Management, 1048
 - logische und physikalische Objekte, 1056
 - Zustandsprognose, 1081
 - Fahrwegelemente
 - bewegliche, 506, 524
 - ortsbediente, 526
 - stellbare, 514
 - Steuerung und Sicherung, 512
 - Fahrwegsicherung, 511
 - Techniken, 511, 524
 - Fahrwegstrategie
 - Erarbeitung, 1029
 - Erfassung relevanter Kosten, 1020
 - LCC-basierte, 1016
 - zur wirtschaftlichen Bewertung, 1013
 - Fahrzeitgewinn, 637
 - Fahrzeitverkürzung, 637
 - Fahrzeugabmessung, zulässige, 308
 - Berechnungsregeln, 308
 - Bezugslinie, 308
 - Fahrzeugbegrenzung, 307
 - kinematische Berechnungsmethode, 308, 309
 - statische Berechnungsmethode, 309
 - Fahrzeugtransformator, 697
 - Fahrzeugzulassung, 986
 - Failure Modes and Effects Analysis (FMEA), 570
 - Failure Modes, Effects and Criticality Analysis (FMECA), 577
 - Fäkalabwasser, 915
 - Federpuffer, 516
 - Federschienenzunge, 260
 - Federstelle, 260
 - Federzunge, 260
 - Fehler
 - äußere, 85
 - innere, 85
 - Fehlerbaumanalyse (FTA), 583
 - Fehlerbeschreibung, 94
 - Felsbohrgründung, 727
 - Fernbahnelektrifizierung, 684
 - Fernfahrplan, 453
 - Fernsprechverbindungen betriebsführender Stellen, 852
 - Fernverkehr, 446
 - Fernwirkunterstation, 764
 - Festbremsortungsanlage, 872
 - Feste Fahrbahn, 241, 287
 - Filterschichtverdichtung, 173
 - Filterstabilität, 184
 - Flächenträgheitsmoment, 48
 - Flachkreuzungen, 248
 - Flankenfahrt, 432
 - Flankenschutz, 432, 513
 - gegen das Strecken der Züge, 516
 - mittelbarer, 433
 - unmittelbarer, 433
 - Flankenschutzeinrichtung, 433
 - Flankenschutzelement, 515
 - Flora-Fauna-Habitat-Verträglichkeitsprüfung, 965
 - Flügelschieneinlauf, 273
 - freier Raddurchlauf, 273
 - Folgefahrerschutz, 522
 - Folgenanalyse, 571
 - Frankfurter Verfahren, 666
 - Fräs-, Misch- und Injektionsverfahren (FMI), 215
 - Fräsen, 83
 - Freie Strecke, 407, 408, 761
 - Freilauf, 33
 - Freiprüfung des Lichtraums, 498
 - Frostschuttschicht, 129
 - Führerraumsignalisierung, 537
 - Funkdienste, Funktionalitäten, 840
 - Funktechnik, analoge, 855
 - Funkteilsystem, 841
 - FÜSTE, 868
- ## G
- GAMAB, 567
 - Ganzzug, 456
 - Gaspressschweißen, 79
 - Gefährdungen, hierarchische Definition, 571
 - Gefährdungsanalyse, 582, 604
 - Gefährdungshäufigkeit, 561
 - Gefährdungsidentifikation, 570, 603
 - Gefährdungsrate, 561
 - einfacher elektronischer Komponenten, 561
 - komplexer elektronischer Systeme, 562
 - Gefährdungsursache
 - systematische, 565
 - zufällige, 565
 - Gefahrenmeldeanlage, betriebliche, 872
 - Gefahrenraumfreimeldung, 667
 - Gefüge, bainitisches, 74
 - Gefügebild, 67
 - Gegenbogen, 627
 - Gegenfahrerschutz, 523
 - Geogitter, 217
 - Geologie, 101

- Geothermie, 795
 Geradheit, 89
 Gerüstschlussschutz, 687
 Gesamtfahrplan, 462
 Geschiebemergel, 103, 123, 146
 Geschwindigkeit, kritische, 14
 Geschwindigkeitsbeschränkung, 673
 Geschwindigkeitsprofil
 dynamisches, 547
 statisches, 547
 Geschwindigkeitssignalisierung, 520
 Geschwindigkeitsüberwachung, 541
 für Neigetchnik, 542
 Gewässerschutz, 905
 Gewässerschutzbeauftragter, 914
 Gewölbebrücke, 338
 Gleichrichter-Unterwerk, 686, 688
 Gleichspannung, 504, 687
 Gleichstrombahn, 684, 686, 820
 Gleichungssystem, 13
 Gleis, 1
 Anordnung, 471
 Drehgestell, 11
 Gefahrenbereich, 434
 lückenloses, 75, 90
 vorübergehende Außerbetriebnahme, 437
 Gleisabschnittssignal, 421
 Gleisabstand, 317, 320, 328
 Gleisarten, 469
 Gleisbildstellwerk, 525, 526
 Gleisbremse, 480
 Gleisfehler, 27
 Gleisfreimeldeabschnitt, 888
 Gleisfreimeldung, 514, 517, 528, 546
 Beeinflussung durch Eisenbahnfahrzeuge, 888
 mittels Achszähler, 504
 mittels Gleisstromkreis, 501
 Gleisgeometrie, 1060, 1079
 Gleisinstandhaltung, 240
 Gleiskrümmung, 55
 Gleislagefehler, 55
 Gleislagequalität, 1035
 Entwicklung, 1036
 Gleislänge, nutzbare, 532
 Gleismagnet, 540, 541
 Gleismesswagen, 22
 Gleisplangestaltung, 607
 Gleisquerverschiebewiderstand, 55
 Gleissperre, 433, 437, 510
 GleisstEIFigkeit, 43
 Gleisstromkreis, 501, 506, 888
 Fremdbeeinflussung, 503
 Isolierstoß, 503
 Speisung, 504
 Widerstände, 502
 Wirkprinzip, 889
 Gleisverbindung, 476, 635
 Gleisverwerfung, 55
 Gleisverwindung, 26
 Gleisverziehung, 617
 Gleitstühle, zweiteilige, 275
 Global System for Mobile Communications Railway
 (GSM-R), 763
 Architektur, 841
 Endgeräte, 847
 Netz, 838
 Rangierfunk, 853
 National Roaming, 853
 Repeaterstation, 763
 Goal Structure Notation (GSN), 587
 Grenzzeichen, 506
 Grenzyklus, 16
 Grundbruch, 222
 Gründungsplanum, 112
 Gruppenausfahrtsignal, 421
 GSM-R, siehe Global System for Mobile
 Communications Railway
 Güterbahnhof, 479
 Güterverkehr, 446
 Angebotskonzepte, 456
 industrialisierter Fahrplan, 460
 Prognose, 449
 Zugbildung, 456
 Zugsysteme, 456
 Güterzugbetriebsüberholungsgleis, 481
- H**
 Halbregelabstand, 423
 Halbschranke, 661
 Haltepunkt, 408
 Haltestelle, 408
 Haltstellung des Signals, 521
 Hangabtrieb, 613
 Härtesteigerung, 67
 Hauptgleis, 408, 469, 473, 611, 627
 der freien Strecke, 471
 durchgehendes, 471, 610
 mit Nutzlänge, 473
 ohne Nutzlänge, 474
 Hauptschaltleitung, 694
 Hauptsignal, 410, 412, 419, 531
 an Bahnsteiggleisen, 534
 Überwachung, 540
 HE-Schienenstahl, 66, 74
 Head Checks, 84, 87
 Hebelstellwerk, 525
 Heißläuferortungsanlage, 762, 872
 Hertz'sche Berührfläche, 9
 Herzstück, 630
 starres, 265
 Funktionsweise, 272
 Radführungsgeometrie, 272
 spurführungstechnische Besonderheiten, 270
 Herzstückbereich, 265
 freier Durchlauf, 273
 Radlenker, 275
 Herzstückblock
 Biegeverhalten, 268
 thermische Längenänderung, 269
 Umstellkräfte, 268

- Herzstücklücke, 272
 Herzstückquergeometrie, 272
 HGV-Weiche, 256
 Hierarchieprozess, analytischer, 491
 Hilfsbrücke, 339, 380, 381
 Hilfsstützensystem, 383
 Hobeln, 83
 Hochgeschwindigkeitsstrecke, 344
 Hochgeschwindigkeitsverkehr, 356, 400, 607
 Hochmoor, 166
 Hochspannungsnetz, 689
 Hohlschwellen, 278
 Hohlwiderlager, 373
 Holzschwellen, 276
 Home Location Register, 843
 HSG-Schleifen, 84
 HV-Signalsystem, 416
 Hydrologie, 101
- I**
- Immissionsschutz, 905
 Infrastruktur
 Managementsystem, 1064, 1069
 Stromversorgung, 757
 Infrastrukturnutzungsvertrag, 989
 Infrastrukturplanung, betriebliche, 441
 mittels Langfristfahrplan, 443
 Infrastrukturregister, 993
 Infrastrukturuntersuchung, 491
 Ingenieurbauwerk, 337, 535
 Innenbogenweichen, 244, 247, 630
 Innenkonus, 811
 Innenreinigungsanlage, 914
 Instandhaltungsplanung
 manuelle, 1087
 systemgestützte, 1087
 Interaktive Karte, 996
 International GSM-R-Roaming, 854
 Interoperabilität, 985
 Ionisationsrauchmelder, 922
 IRISSYS-System, 1055
 Isolation, 731
 Isolierstoß, 503
 Isotopsonde, 922
 ITF-Knoten, 455
- J**
- Joche, 725
- K**
- Kabel
 Brandfall, 806
 Dimensionierung, 813
 Typenauswahl, 813
 Kabelanlage, 799, 879
 Ab- und Inbetriebnahmeprüfungen, 828
 Betrieb, 829
 Garniturenmontage, 827
 Instandhaltung, 829, 830
 Legung und Montage, 824
 Planung, 812
 Trassenplanung, 812
 Kabelgraben, 817, 827
 Kabelmantel, 811
 Kabelmuffe, 808, 809
 Kabelschacht, 822
 Kabelschelle, 822
 Kabeltragwanne, 822
 Kabeltrasse, 817
 Befestigung, 817
 Führung, 817
 Lagepläne, 817
 Schutz, 817
 Kabeltrog, 377, 820, 821
 Kabeltrommelgesellschaft (KTG), 824
 Kabelüberwachung, 829
 Kalker-Gleichung, 4
 Kaltverfestigung, 86
 Kapitalbindungskosten, 1023
 Kapitalwertfunktion, 1013
 Kastenverfahren, 196
 Kerosin im Boden, 104
 Kettenwerk, 710
 Klammerverschluss, 280
 Klappschwelle, 284
 Kleinhilfsbrücke, 383
 technische Besonderheiten, 383
 Kleinwagen, 411
 Klingel-Lösung, 10
 Klinkenverschluss, 280
 Klothoide, 610
 mit gerader Überhöhungsrampe, 618
 mit Kreisbogen, 251
 Klothoidenweichen, 252, 633
 Knotenbahnhof, 455, 464
 Knotenpunktbahnhöfe, 457
 Kombierter Verkehr, 459, 481
 Kommunikationsnetz, signaltechnisches, 839
 Konizität, äquivalente, 5
 Konstruktion, steife, 11
 Kontaktspannung, 40
 Korbbogen, 251
 Kornverteilung, 142
 Körperschall, 934
 Kreisbogen, 251
 Elemente der Linienführung, 611
 mit doppeltem Radius, 620
 Kreuzungen, 242, 247, 506
 als Planungselement, 249
 Bauteile, 254
 Darstellung im Lageplan, 252
 Geometrie, 634
 Kreuzungsbahnhof, 465, 472, 777
 Kreuzungsvereinbarung, 646
 Kreuzungsweichen, 247, 249, 628
 doppelte, 249
 einfache, 249
 Geometrie, 634
 Krümmungsdifferenz, 630

- Krümmungswechsel, 624
 Krümmungswiderstand, 608
 Künstliche Intelligenz, 1066
 Künstliche Neuronale Netzwerke, 1067
 Kupferschirm, 802
 Kurvenlauffähigkeit, 21
 Kurzschleifen-Fernspeisegerät (KFS), 761
- L**
- Längenänderung, Berechnung, 95
 Langfristfahrplan, 444, 462
 Langsamfahrstellen, vorübergehende, 438
 Längsbelastung
 äußere, 45
 innere, 49
 Längskettenwerk, 699, 710, 719
 Längsneigung, 607
 Ausrundung, 609
 in Bahnhöfen, 609
 Längsspannung, 91
 Lärm, 923
 Lärmreduktion, 929
 Lärmsanierung, 927
 Lärmschutzmaßnahmen, 928
 aktive, 928
 innovative, 931
 passive, 930
 Lärmschutzwände, 928
 Lärmvorsorge, 925
 Lastmodelle, 363
 des Hochgeschwindigkeitsverkehrs, 365
 Laufdynamik, 70, 74
 Laufebene, 308
 Laufstabilität, 18
 Laufwerk, 31
 Lautsprechersystem, 865
 LD-Verfahren, 70
 Lebenszykluskosten, 490
 Leipziger Verfahren, 666
 Leistungsuntersuchung, 482
 Ablauf, 489
 analytische Methode, 486
 einfache Iteration, 489
 konstruktive Methode, 486
 Simulation, 486
 statistisch-deterministische Methode, 485
 Untersuchungsverfahren, 485
 Variantenuntersuchungen, 489
 Leistungsverhalten, 482
 Wartezeiten, 485
 Leit- und Sicherungstechnik, 495
 Beeinflussung durch Bahnströme, 883
 Leiterbauarten, 801
 Leiterisolation, 811
 Leittechnik, 529
 Aufgaben, 529
 Leitungen, 800, 803
 Brandfall, 806
 Leitungswege, 876
 Lichtbogenschweißen, 74, 75, 82
 Lichtraum, 314
 Freiprüfung, 498
 Überwachung, 498
 visuelle Beobachtung, 501
 Lichtraumberechnung, 308
 Lichtraumprofil, 307
 für S-Bahnen, 316
 Limited Supervision, 545
 Lineside Electronic Unit (LEU), 544
 Linienabzweigung, 408
 Linienführung, 632
 im Grundriss, 610
 Linienkorrektur, 638
 Linienlast, 44
 Liniennetz, 451
 Liniensystem, 451
 Linienzugbeeinflussung, 542
 Logistikzug, 457
 Luftschall
 abgestrahlter, 935
 sekundärer, 934, 935, 940
 Beurteilung, 943
 Luftstrecke, 731
 Luftströmungsmeldeanlage, 873
- M**
- Managementsystem, integriertes (IMS), 903
 Masse-Feder-System, 948
 Massenanteile, 69
 Massenträgheitskraft, 44
 Mastabstand, 728
 Maste, 725
 Materialgefüge, feinkerlitisches, 67
 Materialkreislauf, 976
 MegaHubs, 460
 Mehrabschnittssignalsystem, 416
 Mehrgruppenzug, 460
 Mehrspannungssystem, 690
 Meldeanlagensystem, 869
 MEM-Prinzip, 568
 MGS, 567
 Mindestfahrdrathöhe, 702
 Mindestgleisabstand, 317
 Mindestlichtraum, 309, 311
 Mindestüberhöhung, 612
 Mischstrommotor, 697
 Mittelweichen, 514
 Mobile Switching Center, 843
 Mobile Train Radio Station (MTRS), 847
 Mobilfunknetz, 879
 Mooraushub, 191
 Moorbrücken, 225
 Moore, 166
 Moorfläche, 166
 Dämme mit pfahlartigen Konstruktionen, 216
 Sanddraingründung, 215
 Spregungen, 229
 Überschüttung, 174
 Vibrationstechnik, 230
 Movement Authority (MA), 547
 Moving Block, 546
 Muffe, 827

N

Nachrichtenkabel, 807
 Nachrücksignal, 423
 Nahgüterzug, 470
 Nahverkehrskonzept, 448
 Nahverkehrstriebzug, 890
 Nass-Bagger-Verfahren, 162
 Nassbaggerung, 192, 194
 National Roaming, 853
 Naturschutz, 104, 958
 Nebenfahrt, 412
 Nebengleis, 408, 470, 477
 Güterverkehr, 479
 Personenverkehr, 478
 Nebenverbraucher an der Oberleitung, 793
 Neigetechnikfahrzeug, 639
 Nennspannung, 684, 685, 692
 Netzersatzanlage (NEA), 758
 Netzformen, 450
 Netzkurzschlussleistung, 690
 Netzstruktur, 774
 Netzwerkbahn, 459
 Netzwerkbogenbrücken, 347
 Netzzugang, 985
 diskriminierungsfreier, 985
 Neuschienenschleifen, 84
 Niedermoor, 166
 Normgeometrie, 624
 Notsignalisierung, 676

O

Oberbauinspektion, 293
 Oberbaukomponenten
 Auslegung, 56
 Belastung, 56
 Oberbodenabtrag, 110
 Oberleitung, 696, 699, 714
 Abstand von Baumaschinen und Geräten, 751
 Oberleitungsanlage
 an Bahnübergängen, 730
 elektromagnetische Beeinflussungen, 732
 Schaltung, 732
 thermische Bemessung, 730
 Oberleitungsbeeinflussungs-Messung (OLBM), 887
 Oberleitungslagepläne, Regelzeichen, 753
 Oberleitungsmast, 379, 725
 Gründungen, 727
 Rückleitungsseile, 748
 Oberleitungsnetz, 763
 Oberleitungsschalter, 764
 Optimierung, fahrkinematische (Fakop), 264
 Ortbetongründung, 727
 Ortssteuereinrichtung, 763
 Ortung, 498
 Aufgaben, 498
 fahrzeugseitige, 547
 Informationsinhalt, 498
 mittelbare, 498
 unmittelbare, 498
 Unmittelbarkeit, 498

P

Parabel, 30
 kubische, 619
 Parallelführung von Schienenweg und Straße, 330
 Personenbahnsteig, 333
 Mindestbreite, 334
 Personenfernverkehr, 446
 Personenschutz in elektrischen Anlagen, 795
 Personenschutzgrenzwert, 886
 Personenverkehr
 Angebotskonzepte, 449
 Fernverkehr, 448, 450
 Prognose, 448
 Personenverkehrsanlage, 777
 Beleuchtung, 778, 779
 maschinentechnische Anlagen, 781
 Pfeiler, 373, 374
 Phasenschieberbetrieb, 695
 Phasentrennstelle, 690
 Pilgerschrittverfahren, 221
 Planum, 125
 Planumsschutzschicht, 137, 143
 Planumsverbesserungsmaschine, 143
 Plattendruckversuch, 118, 119
 Plausibilitätsprüfung, 1078
 Porengeometrie, 136
 Porenwasserdruck, 180, 198
 Porenwasserdruckmessung, 184, 205
 Porenwasserüberdruck, 222
 Postensicherung, 657
 Potenzialausgleich, 750
 Präventivschleifen, 84
 Prelleiter, 750
 Primärnetz, 450
 Proberammung, 230
 Proctorversuch, 115, 140
 Prud'Homme-Grenzwert, 55
 Prüfgeräte, 88
 Prüfung, zerstörungsfreie, 90
 Spannungsmessung, 92
 Ultraschallprüfung, 92
 visuelle, 92
 Wirbelstromprüfung, 92

Q

Qualitätsmanagementbericht, 589
 Qualitätsmanagementsystem, 85
 Qualitätsverhalten des Oberbaus, 1034
 Quertrageinrichtung, 716
 Quertragseil, 720
 Quertragwerk, 719, 722, 725

R

Rad-Gleis-Ersatzmasse, 42, 44
 Rad-Schiene-Geräusch, 400
 Rad-Schiene-Interaktion, 22
 Rad-Schiene-Kontakt, 1
 Radarscanner, 667
 Raddurchlauf, 272

- Radio Block Centre (RBC), 544
 Radkraft, 62
 dynamische, 39
 statische, 41
 Radlenker, 269
 Radlenkereinlauf, 273
 freier Durchlauf, 273
 Radlenkerstützböcke, 276
 Radprofil, 9, 24
 Radsatz, 1
 Bewegungsgleichungen, 9
 im Gleis, 2
 Schrumpfung, 30
 Radspanner, 714
 Radspannwerk, 714
 Radverschleiß, 22
 Rahmenflachmast, 726
 RAK-TS, 568
 Rammfahlgründung, 727
 Rammrohrgründung, 727
 Rampe, geschwungene, 621
 Rampenneigung, 618
 Randwege, 321
 Randzonenverdichtung, 122
 Rangierbahnhöfe, 457
 Rangierbereich, 522
 Rangierbewegung, 410
 auf die Strecke, 411
 Rangieren, 410
 Rangierfahrt, 410, 611
 feindliche, 433
 Rangierfunk, 851
 analoger, 860
 Rangierhalttafel, 411, 733
 Rangierlokomotive, 480
 Rangierverbot, 433
 Raumabstand, 412
 Raumbedarf, kinematischer, 307
 Rayleigh-Wellen, 936
 Regelfahrdrahthöhe, 702
 Regelgleisabstand, 318
 Regellichtraum nach EBO, 312
 Regeloberleitung, 701
 Regelschienenprofil, 257
 Regelüberhöhung, 616
 ReibungsfüÙe, 187, 189
 Reibungsgesetz nach Coulomb, 3
 Reibungskraft, 32
 Reibungsmoment, 32
 Reisegeschwindigkeit, 637
 Reisendeninformation, 866
 Reisezugwagen, 787
 Relais-schaltung, 530
 Relaisstellwerk, 527
 Richtseil, 720
 Riffel, 86
 Risiko, weitgehend akzeptables, 566
 Risikoakzeptanz bei expliziter Risikoabschätzung, 566
 Risikoanalyse, 558, 559, 603
 explizite, 559, 574
 probabilistische, 574
 Risikobewertung, 574, 596
 Risikoformel, 574
 Risikograph, 577
 Risikomanagementverfahren, 556
 Risikomatrix, 575
 Risikoprioritätszahlen, 576
 Risk Score Matrix, 578
 Roaming, 853
 Rohraustauschverfahren, 196
 Rohrschwenkausleger, 716
 Rohrtrasse, 818
 Rohrzüge, 820
 Rollkontaktermüdung, 65, 74
 Rollradiendifferenz, 264
 Rückleiteranschluss, 749
 Rückleitungsanlage, 698
 Rückleitungsseil, 747
 Rückstellsteifigkeit, 7
 Rückstromführung, 746, 747
 Rüttelstopfsäulen, 218
- S**
- S-Bahn-Tunnel, 388
 S-Bahnfahrzeug, 314
 S-Bahnstrecke, 608
 Safety Integrity Level (SIL), 565
 Salzbildner, 806
 Sammelentsorgungsnachweis, 971
 Sammelschienensystem, 687
 Sanddrains, 202
 Funktionsprinzip, 204
 mit Auflastschüttung, 200
 Porenwasserdruckentwicklung, 209
 Sanierung, 184
 Satellitenbahnhöfe, 457
 Säulen, pfahlartige, 220
 Schadensanalyse, 573
 Schallemission, 75, 86
 Schallschutz, 930
 Schaltabschnittsgrenze, 732
 Schiebebühne, 510
 Schienen
 Belastung, 57
 zerstörungsfreie Prüfung, 90
 Schienenauszüge, 360
 Schienenbefestigung, 58, 275
 auf den Schwellen, 276
 Schienenbiegespannung, 52
 Schienenbruch, 54
 Schienenfahrzeug, 512
 Schienenfehler, 85
 Schienengeometrie, 58
 Schienengüterverkehr, 456
 Schienenkontakt
 Aufbau und Funktion, 505
 doppelter, 504
 Schienenlängskraft
 auf Brücken, 50
 bremsbedingte, 49
 temperaturbedingte, 49

- Schienenetz-Benutzungsbedingungen, 989
- Schienenprofil, 73
- Schienenrückstrom, 890
- Schienenschleifen, 83
- Schienenspannung, 346, 360
- Schienenstahlsorten, 63, 69
- Schienenstützpunkte, hochelastische, 947
- Schienenverkehr
 - Regelkreis der Betriebssicherheit, 497
 - Systemeigenschaften, 495
- Schienenverkehrslärm, 923
 - Innengeräuschpegel, 944
- Schienenwege, 330
- Schienenwerkstoffe, chemische Zusammensetzung, 68
- Schildvortrieb, 393
- Schleifen, 83
 - Materialabtrag, 84
 - oszillierendes, 84
 - rotierendes, 84
 - von Schweißungen, 84
- Schleuderstellen, 87
- Schlupfe, 1, 3
- Schlupfwellen, 86
- Schotter, 60
- Schotterhaltung, 378
- Schotteroberbau, 285
- Schottersäcke, 126
- Schottersäulen, 217
- Schranke, 661, 867
- Schüttmaterial, 114
- Schüttstoffe, 121, 126, 174
 - Verdichtung, 121
- Schutz von Natur und Landschaft, 959
- Schutzgasschweißen, 82
- Schutzsignal, 426
- Schutzweg, 412
- Schutzweichen, 433
- Schweißen
 - Abbrennstumpf, 74, 75
 - aluminothermisches, 74, 80
 - Fülldrahtelektrode, 75
 - Kenntnisse, 74
 - Lichtbogen, 74, 75
 - Lücke, 81, 83
 - Portion, 82
 - Vorwärmen, 82, 83
 - zugelassene Verfahren, 76
- Schwellen, 59, 277
 - durchgehende, 629
- Schwellenauflagerfläche, 59
- Schwellenbesohlung, 1047
 - elastische, 947
- Schwellenfach, 277
- Schwellentränkmittel, 105
- Schwellenverbindungsplatten, 278
- Schwingstabilität, 183, 234, 236
- Schwingungsmessung, 236
- Schwingungstilger, 283
- Seeton, 221
- Seitenbelastung
 - äußere, 45
 - innere, 51
- Seitenbeschleunigung im Grundriss, 619
- Seitenstromabnehmer bei Grubenbahnen, 745
- Sekundärmetallurgie, 70
- Sekundärnetz, 450
- Sekundärschall, 935
- Sekundärsetzung, 184
- Setzungsbewertung, 207
- Setzungsfließgefah, 182
- Setzungsmessung, 192
- Setzungsmulde, 174
- Setzungsprognose, 207
- Shelling, 88
- Shuttlezug, 460
- Sicherheit
 - aktive, 560
 - Definition, 554
 - funktionale, 553
 - passive, 560
- Sicherheitsanalyse, 556
- Sicherheitserprobung, 594
- Sicherheitskultur, 600
 - Begriffsdefinition, 601
 - positive, 602
- Sicherheitsmanagement, 590
 - Elemente, 591
 - Prinzipien, 591
- Sicherheitsmängel, 594
- Sicherheitsnachweis, 581
 - Aufbau und Inhalt, 589
 - Hierarchie, 586
 - Logik, 587
 - technischer, 592
- Sicherheitsraum, 329
- Sicherheitsziel, 556, 560
- Sicherungsanlage, 555
- Signal, ortsfestes, 531
- Signalabhängigkeit, 513
- Signalfolgeabstand, 534
- Signalhorn, 435
- Signalkabel, 807
- Signalmast, 380
- Signalnachahmer, 422
- Signalsichtzeit, 533
- Signalstaffel, 532
- Signalssystem, 415
- Signaltafel, 407
- Signaltechnik, 495
- Signalverarbeitung, digitale, 1066
- Signalzugschlussstelle, 412
- Signum, 538
- Simulation, 486
 - asynchrone, 487
 - synchrone, 487
- SKB-Brücke, 380
- Smith-Diagramm, 52
- Solarenergie, 793

- Soll-Gleisabstand, 319
 Sollgleislage, 332
 Spannungsunsymmetrie, 689
 Sperr- und Meldegeräte, 666
 Sperrfahrt, 411
 Sperrsignal, 425
 Sperrzeit, 414
 Sperrzeitentreppe, 414
 Spießgang, 33
 Sprachdienste, allgemeine, 852
 Sprengungen, 228
 Sprungschanzeneffekt, 650
 Spurführungskräfte nach Heumann, 29
 Spurkanal, 31
 Spurplanenwurf, 627
 Spurplangestaltung, 441, 462
 Spurweite, 8
 Squats, 88
 Stabbogenbrücke, 347
 Stabilität, 14
 Stahlhohlkasten, 372
 Stahlmast, 726
 aus Doppel-T-Profilen, 726
 Stahlschwellen, 277
 Standardweichen, 1019
 Starkstromkabel, 799
 Starkstromkabeltrasse, 812
 Stellsystem, 279
 Stellwerk
 an Strecken, 770
 elektrisches, 525
 elektromechanisches, 527
 elektronisches, 528
 Fernsteuerung, 530
 mechanisches, 527
 von Eisenbahnknoten, 775
 Stellwerksbereich, 522
 Steuerungs- und Meldesystem, 868
 Störfallbeauftragter, 906
 Strahlenschutz, 920
 Strahlenschutzbeauftragter, 921
 Strahlenschutzbevollmächtigter, 921
 Strahlenschutzverantwortlicher, 920
 Strangspannung, 689
 Straßenbahnverordnung (StrabVO), 405
 Strategische Umweltprüfung (SUP), 959, 960
 Streckenbelastung, 683
 Streckenblock
 mit Blockinformation, 526
 mit Fahrstraße, 526
 Streckendurchsatz, 484
 Streckengleis, 471, 607
 Längsneigung, 607
 vorübergehendes Befahren gegen die gewöhnliche Fahrtrichtung, 438
 Streckennetz, 451
 Streckenquerschnitt, 324
 auf Brücken und in Tunneln, 325
 auf Erdkörpern, 324
 Streckenstandard, 463
 Streckenstilllegung, 678
 Streckentrenner, 734
 mit Keramikisolatoren, 735
 Streckenschutz, 433
 Streckenschutzabschnitt, 516
 Streustromkorrosion, 746
 Streustromproblematik, 688
 Stromabnehmer, 742
 für Oberleitungen, 743
 für Stromschienen, 745
 Stromdiagramm, 886
 Stromschiene, 737
 Stromschienenabdeckung, 741
 Stromschienenoberleitung, 737
 Stromschienenstück, 739
 Stromschienenstützpunkt, 740
 Stromversorgung
 der Infrastruktur, 757
 Schutzmaßnahmen, 795
 von Eisenbahnknoten, 774
 von Strecken, 759
 Stromversorgungsanlage, alternative, 793
 Stützknaggen, 259
 Stützpunktsteifigkeit, 48
 Stützpunktelastizität, 305
 Stützpunktkraft, 47, 49
 auf Brücken, 50
 bei Schienenbruch im Winter, 50
 Summenkräfte, 34
 Systemdefinition, 569
 Systemsicherheit, 554
- T**
- Taktfahrplan, 444, 452
 Fernverkehr, 451
 integraler, 454
 Symmetrieeigenschaften, 454
 Taktperiode, 451
 Taktverträglichkeitszeitraum, 451
 Talbrücke, 343, 358
 semi-integrale Bauweise, 343
 Tangentenlänge, 630
 Teilfahrstraße, 514
 Telekommunikationstechnik, bahnbetriebliche, 835
 Anbindung ortsfester Teilnehmer, 845
 Anbindungsvarianten, 844
 Frequenzbereich, 839
 Netzkonfiguration, 849
 Netztopologie, 844
 Teilnehmerverwaltung, 852
 Theorie des elastischen isotropen Halbraums, 227
 Tor, 510
 Total Quality Management, 1009
 Trägerrost, 371
 Tragfähigkeit, 109
 Tragschichten, 132
 Elastizitätsverhalten, 133
 Traktionsenergie, 692
 Traktionsstrom, 890

- Transeuropäische Eisenbahn-Interoperabilitätsverordnung (TEIV), 355
 Transeuropäisches Eisenbahnnetz (TEN), 356
 Transformator, 758, 766
 Transportzeit, 483
 Trassenparallelität, 484
 Trassenplanung, 812
 Trassierung, 463, 607
 Trassierungsengstelle, 637
 Trassierungsradius, 1027
 Trennungsbahnhof, 465
 Triebfahrzeug, elektrisches, 697
 Trinkwasser-Befüllungsanlage, 920
 Trogbauwerk, 384
 Trogburden aus Dickblechen, 349
 Trümmerbruch, 88
 Tunnel, 384, 766
 - Anforderungen, 387
 - Bemessung, 389
 - Brand- und Katastrophenschutz, 391
 - Energieverbraucher, 769
 - Entwurfgrundlagen, 388
 - im Schildbauverfahren, 393
 - in Deckelbauweise, 398
 - in offener Bauweise, 396
 - in Spritzbetonbauweise, 394
 - Lärmschutzwand, 400
 - Querschnittsgestaltung, 388
 - Regelinspektionen, 402
 - Stromversorgung, 766
 - Umweltschutzaspekte, 391
- Tunnelbau
 - aktuelle Entwicklungen, 386
 - auf Hochgeschwindigkeitsstrecken, 386
 - Normen und Regelwerke, 386
- Tunnelbauverfahren, 392
- Tunnelinspektion, 399
- Tunnelmund, 397
- Tunnelnotrufsystem, 874
- Tunnelsicherheitsbeleuchtung, 768
- Tunnelvortriebsmaschine, 393
- Turmbahnhof, 472
- U**
- Überführungsbauwerk, 323
 - lichte Weite und Höhe, 323
- Übergangsbogen, 610, 618, 620, 632
 - Länge, 622
 - mit geschwungener Rampe, 621
 - nach Bloss, 622
 - Umwandlung, 623
- Übergangsmuffe, 811
- Überhöhung, 611
 - ausgleichende, 611, 617, 635
 - Größe, 613
- Überhöhungsfehlbetrag, 612, 614, 621, 623
- Überhöhungsrampe, 610, 618, 620
- Überholbahnhof, 777
- Überlaufgeometrie, 305
- Überleitstellen, 475
- Überleitverbindung, 475
- Überschütten von Moorflächen, 171
- Überstülpmast, 726
- Übertragungstechnik, 876
- Übertragungswege, 876
- Überwachungskurve, 547
- Überwachungsjahr, 192
- Überwachungssignal, 663
- Umkehrstromrichter, 687
- Umlaufsperrung, 656
- Umschlagbahnhof, 459
- Umweltbetriebsprüfung, 903
- Umwelterklärung, 903
- Umweltmanagement, 897
 - Normen, 898, 900
- Umweltpolitik, 900
- Umweltprüfung, 902
- Umweltschäden, 103
- Umweltschutz, 897
 - anlagenbezogener, 906
 - Beauftragtenwesen, 904
- Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP), 959, 961
- Unfallursachen, 598
- Unfallursachenanalyse, 599
- Unterbauqualität, 1024
- Untergrundplanum, 110
- Unterschottermatten, 947
- Unterspülung, 156
- Untertiefung, 246
- Ursachenanalyse, 582
- V**
- VAIA Car, 286
- Vegetationskontrolle, 949
 - für den Bereich am Gleis, 952
 - für den Bereich im Gleis, 951
- Verbinder, 747
- Verbindungsbahnhof, 465
- Verbindungsschweißen, 75
- Verbraucheranlage, 774
- Verbundbrücke mit einbetonierten Stahlträgern, 370
- Verdichtungsgerät, 121
- Verdichtungsgrad, 117
- Verdichtungskontrolle, 141
- Vergleichsradius, 624, 625
- Verkehrsaufkommen, 446
- Verkehrsbelastung, 1027
- Verkehrsdamm, 98
- Verkehrsprognose, 445
- Verkehrswege, 326
 - Mindestabstand neben einem Gleis, 329
 - Mindestabstand zwischen zwei Gleisen, 329
- Vermittlungsteilsystem, 842
- Verockerung, 161
- Verordnung
 - über Bau und Betrieb der Eisenbahnen, 405
 - über den Bau- und Betrieb von Straßenbahnen (BOSTrab), 405
- Verschiebungsmessung, 154
- Verschlussmechanik, 305

- Vershub, 410
 Vershubfahrt, 410
 Vershubhalttafel, 411
 Versorgungsnetz, 774
 Versorgungsnetzbetreiber, 758
 Verspannen, 91
 Verteilnetz, 774
 Vertikalbelastung
 äußere, 39
 innere, 46
 Verwitterung eines Felsgesteins, 102
 Vibrationstechnik, 230
 Videotechnik, 875
 Visitor Location Register, 843
 Vogel-Plan, 30, 35
 Vollaushub der Weichschichten, 187
 Vollplatte, 369
 Vollwandträger, 372
 Vor-Kopf-Schotter, 61
 Vorblocken, 523
 Vorschubkasten, 192
 Vorsignal, 422, 521, 531
 Überwachung, 540
 Wiederholer, 422
 Vortrieb, bergmännischer, 391
 Vortriebstechnologie, 392
 Vorwarnung, 423
- W**
- Wahldurchrutschweg, 519
 Walzsinter, 84
 Walztoleranz, 84, 89
 Walzträger in Beton, 341
 Walzzeichen, 73
 Wanderschutz, 258, 260
 Wärmeeinflusszone, 77
 Warmstempel, 73
 Warnanlage, automatische, 436
 Warnkurve, 548
 Warnsignal, des Sicherungspostens, 436
 Wartezeichen, 426
 Wartezeit, 483
 Wartezeitempfindlichkeit, 483
 Wechselbehälter, 459
 Wechselspannung, 828
 niederfrequente, 504
 tonfrequente, 504
 Wechselstrombahnsystem, 689
 mit Industriefrequenz, 689
 mit Sonderfrequenz, 691
 Weibull-Verteilung, 564
 Weichen, 95, 239, 506
 als Kostenfaktor, 240
 als Planungselement, 249
 als Spurplanelement, 628
 Anordnung, 254
 auf Fester Fahrbahn, 277
 Bauteile, 254
 Darstellung im Lageplan, 252
 Diagnosesysteme, 301
 einfache, 243
 elektrisch ortsbediente, 508
 Energieversorgung, 304
 Ferndiagnose, 306
 Geometrie, 628
 Handverschlüsse, 509
 Inspektion, 291
 Inspektionsfristen, 297
 Instandhaltung, 289
 Instandsetzung, 298
 Klassifizierung und Kategorisierung, 294
 komplett montierte, 283
 komplett vormontierte Zungenvorrichtung, 283
 Lagerungssysteme, 277
 mechanisch ortsbediente, 508
 mit geteilter Langschwelle, 283
 mit klappbarer Schwelle, 284
 mit vertauschter Zungenvorrichtung, 632
 Schall und Erschütterung, 305
 Schienenbefestigungssysteme, 273
 Schnittstellen
 bautechnische, 303
 betriebliche, 302
 fahrleitungstechnische, 304
 sicherungstechnische, 304
 Schwellen, 277
 sicherungstechnische Anforderungen, 507
 Stell- und Verschlussysteme, 278
 Stellsystem, 279
 Überwachungssysteme, 306
 Verschlussstechnik, 305
 Vorsegmentierung im Werk, 283
 Wahl und Anordnung, 627
 Wartung, 298
 Weichen- und Gleisjochwechslergerät, universelles, 286
 Weichenanschlüsse, 635, 636
 Weichenantrieb, 304, 508
 Weichenbauarten, 243
 Weichenbereich, anschließender, 421
 Weichenbogen, 615
 Weichendiagnose, 301
 Weichendichte, 1025
 Weicheneinbau, 281
 Wirtschaftlichkeitsberechnung, 282
 Weichenende, konstruktives, 250
 Weichenfahrbahn, 255, 287
 Weichengeometrie, 249
 Weichenheizanlage, elektrische, 765, 782
 Weichenheizung, 918
 Weichenneigung, 250, 252
 Weichenneubau, 281
 Weichenschloss, 509
 Weichentragplatte, 587, 289
 Stützpunktlagerung, 289
 Weichenumbau, 281
 Weichenumbaumaschine, 286
 Wellen, elektromagnetische, 500
 Wellengeometrie, 42
 Wendeanlage, 478
 Wendegleis, 478

- Wendeklothoide, 614
- Werke der Deutschen Bahn, 792
- Why-Because-Graph, 599
 - Prüfkriterien, 599
- Widerlager, 373
 - Bauweisen, 375
- Widerstandsmoment, 46
- Wiederholungssignal, 422
- Windenergie, 794
- Windlast, 706
- Windmeldeanlage, 874
- Windmesseinrichtung, 762
- Winkelmast, 726
- WITEC-Zunge, 264

- Z**
- Zählfehler, 505
 - automatische Fehlerkorrektur, 505
- Zementmörtel, 105
- Zentralblock, 526
- Zick-Zack-Lauf, 17
- Zimmermann-Balken, 46
- ZTU-Diagramm, 70
- Zug, 409
- Zugbeeinflussung, 535
 - punktförmige, 539
 - Systematisierung, 536
 - Überwachung, 536
- Zugbehandlungsanlage, 792
- Zugbildungsanlage, 458, 781
- Zugfahrt, 409
 - feindliche, 432
 - Zustimmung, 409
- Zugfolge, 412
- Zugfunk, 850
 - analoger, 855
 - der Bauform VZF95, 859
 - vereinfachter, 859
- Zuglenkung, 530
- Zugnummernmeldung, 529
- Zugschlussbeobachtung, 876
- Zugsicherung, 495
- Zugvorheizanlage, 785
- Zungenausbildung, 258
- Zungenbereich, 274
- Zungenprofil, 257, 275
- Zungenprüfer, 508
- Zungenriegel, 508
- Zungenroller, 258
- Zungenspitze, 263
- Zungenstützen, 259
- Zungenvorrichtung, Länge, 262
- Zungenvorrichtungsbereich, 257
- Zungenwurzel, 257, 260
- Zusatzkraft, dynamische, 42
- Zusatzsignal, 410
- Zusatzsignalisierung, 521
- Zuverlässigkeitsfunktion, 561
- Zwangsbremsgeschwindigkeit, 548
- Zweiggleis, 242, 245
- Zweiggleisachse, 628
- Zweiggleisbogen, 251, 611, 637
 - Herzstückbereich, 265
- Zweiggleise, 633
- Zweiggleisgeometrie, 252
- Zweiggleisradius, 242, 249
- Zwergsignal, 426
- Zwieschutzweichen, 515
 - echte, 516
- Zwillingsträgerhilfsbrücke, 381
 - technische Besonderheiten, 382
- Zwischenbahnhof, 464
- Zwischenbogen, 626
- Zwischengerade, 626
- Zwischenschienenbereich, 275
- Zwischenschienenteil, 265
- Zwischensignal, 421