



## Kältespeicher optimiert Fernkältesystem

Abb. 1



- ▶ **Kältespeicher optimiert Betriebsführung und macht zusätzliche Kältemaschinen entbehrlich**
- ▶ **Wirtschaftliche und energiesparende Kapazitätserweiterung der Kälteversorgung**
- ▶ **Im ersten Betriebsjahr erfolgte die Kälteerzeugung vollständig aus Abwärme**
- ▶ **Nachfolgeprojekte sind in Planung, im Bau, in Betrieb**

*Fernkältenetz in Chemnitz: Ein Kältespeicher steigert Betriebssicherheit und Energieeffizienz.*

**D**as Fernkältesystem der Stadtwerke Chemnitz versorgt nahezu alle großen Kälteabnehmer (vorwiegend Klimaanlageanlagen) in der Chemnitzer Innenstadt. Die Kälte-Grundlast decken dabei vorrangig Absorptionskältemaschinen. Sie nutzen die sommerliche Überschusswärme eines Heizkraftwerks als Antriebsenergie. Im Mittel- und Spitzenlastbereich arbeiteten bisher strombetriebene Kompressionskältemaschinen.

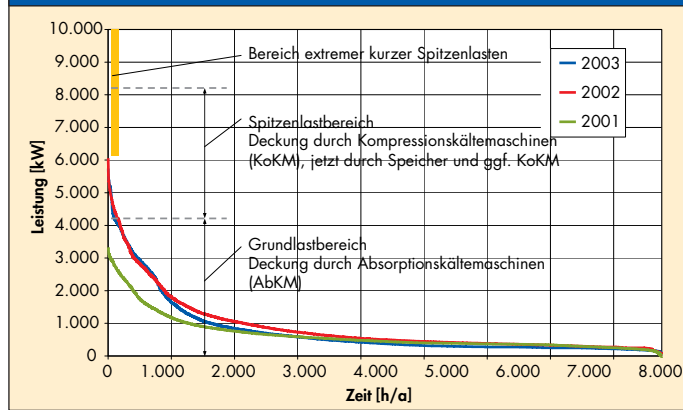
Die Modernisierung des Stadtkerns mit klimatisierten Einkaufspassagen und modernisierten Bürogebäuden, hohe Verglasungsanteile der Fassaden sowie wachsende Komfortansprüche haben den Kältebedarf in Chemnitz deutlich ansteigen lassen. Nach einer Verdopplung des Kälteabsatzes innerhalb von fünf Jahren traten im Hitzesommer 2003 erste Lieferengpässe auf. Den Stadtwerken boten sich zwei Alternativen: entweder das Kältenetz durch weitere Kompressionskältemaschinen nachzurüsten, oder die Bedarfsspitzen mit einem Kurzzeitspeicher auszugleichen, der nachts mit heruntergekühltem Wasser beladen wird. Der Zubau weiterer wärmegetriebener Kälte-

maschinen konnte aus wirtschaftlichen Gründen schon in frühen Planungsphasen ausgeschlossen werden. Sie lassen sich bei schnellen Laständerungen schlecht nachführen und sind zu teuer bei einer Nutzung für wenige Betriebsstunden im Jahr.

Forscher der Technischen Universität Chemnitz entwickelten und verglichen zunächst die Alternativen in einer vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) geförderten Machbarkeitsstudie. Das Forschungsprojekt, bei dem verschiedene Speichervarianten untersucht wurden, belegt nicht nur ökologische, sondern auch ökonomische Vorteile für das Konzept mit einem Kältespeicher. Zudem könnte der Großspeicher als in Deutschland einzigartige Pilotanlage die wissenschaftlichen Grundlagen für Nachfolgeprojekte liefern. Aufgrund der Chancen für weitere Einsatzgebiete etwa in der Industrie wurden auch Bau- und Begleitforschung dieses Demonstrationsprojektes durch das BMWi gefördert. Nach einer Bauzeit von nur etwa einem Jahr ging der neue Großkältespeicher im Sommer 2007 in Betrieb. Nun liegen erste Betriebserfahrungen vor.

# Das Fernkältenetz

Abb. 2: Geordnete Jahresganglinie, Lastbereiche der Kältemaschinen



Das Fernkältenetz in Chemnitz existiert seit 1973 und wurde damals mit Kompressionskältemaschinen konzipiert. Später integrierten die Stadtwerke drei LiBr-H<sub>2</sub>O-Absorptionskältemaschinen zur Deckung der Grundlast (Abb. 4). Diese nutzen die Wärme aus dem Heizkraftwerk Nord für die Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung. Ein Großteil der Kälte aus dem Fernkältenetz wird für die Gebäudeklimatisierung verwendet, so z. B. in Kaufhäusern, Bürogebäuden und der Oper. Etwa 7% (bezogen auf den Kälteabsatz) dienen der technologischen Kühlung beispielsweise von Großrechnern der Technischen Universität und in einem Rechenzentrum. Die Anschlussleistung beträgt ca. 12,4 MW. In den nächsten Jahren werden neue Anschlüsse mit einer Vertragsleistung von ca. 5 bis 6 MW erwartet.

Ein Kaltwasserspeicher mit einem Fassungsvermögen von 3.500 m<sup>3</sup> ergänzt das System seit Sommer 2007. Der Speicher tritt bei Schwachlastzeiten wie ein Verbraucher und in Spitzenlastzeiten wie ein Erzeuger auf. Er bewältigt nicht nur sehr große Be- und Entladeleistungen für die Spitzenlastdeckung, sondern kann auch kleine Lasten gut ausgleichen. Dadurch eignet er sich auch zur Betriebsoptimierung für die Absorptionskältemaschinen. Diese arbeiten jetzt bei bestmöglichen Wärmeverhältnissen und werden maximal ausgelastet. Der Kältemaschinenbetrieb bei kleinen Leistungen, der in der Regel problematisch ist, kann durch einen entsprechenden Speicherbetrieb vermieden werden. Der Speicher weist bei dieser Kurzzeitspeicherung nur sehr geringe Verluste aus.

Abb. 3: Ein Kältespeicher (TES) ergänzt die zentrale Kälteversorgung in Chemnitz.

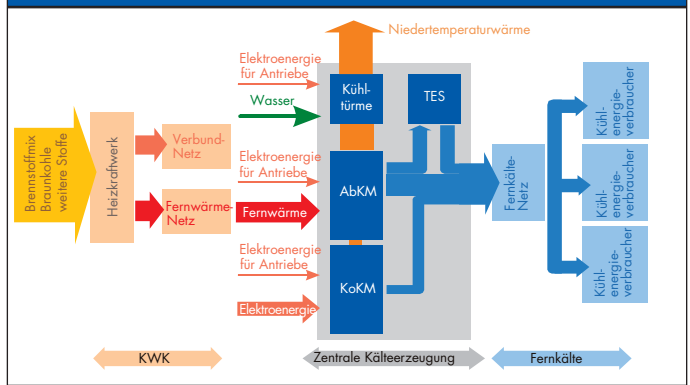


Abb. 4: Fernkältesystem der Stadtwerke Chemnitz AG, Stand: Oktober 2007

Kältemaschinen	Kälteleistung
Absorption, LiBr-H <sub>2</sub> O, einstufig	1.800 kW
Absorption, LiBr-H <sub>2</sub> O, einstufig	1.800 kW
Absorption, LiBr-H <sub>2</sub> O, einstufig	700 kW
Turboverdichter, R134a	3.000 kW
Schraubenverdichter, R134a	1.242 kW
<b>Speicher: 3500 m<sup>3</sup> Kaltwasserspeicher</b>	
Beladen	4.000 kW
Entladen	5.000 kW
<b>Netz: Zweileitersystem, 5 °C / 13 °C, 4,2 km</b>	
Auslegung	ca. 20.000 kW
Vertragsleistung	ca. 12.400 kW

## Der Kältespeicher

In der Machbarkeitsstudie waren drei unterschiedliche Speicherkonstruktionen untersucht worden: Eine Konstruktion aus glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK), ein Stahlspeicher sowie eine Konstruktion aus Stahlbeton.

Nach weiteren Optimierungsschritten erarbeiteten die Forscher eine Mischkonstruktion, bei der viele Detaillösungen (z. B. Wärme-

dämmung) neu entwickelt werden mussten. Die Werkstoffe wurden nach der jeweiligen Beanspruchung bzw. Funktion ausgewählt: Eine wasserdichte Stahlbetonplatte, die die Druckbeanspruchung gut aufnehmen kann, bildet den Boden. Hartschaumplatten aus extrudiertem Polystyrol dämmen sie von außen. Für den Wandaufbau wurden emailierte Stahlbleche geschraubt, die der hohen

Zugbelastung standhalten und korrosionsbeständig sind. Auch hier liegt die Wärmedämmung aus synthetischem Kautschuk und Polystyrol außen. Sie wird durch eine Blechverkleidung geschützt. Für das Dach wählten die Forscher eine Leichtbaukonstruktion aus glasfaserverstärktem Kunststoff mit innenliegender Wärmedämmung. Das Be- und Entladesystem im Inneren ist

Abb. 5: Der Kältespeicher im Schnitt

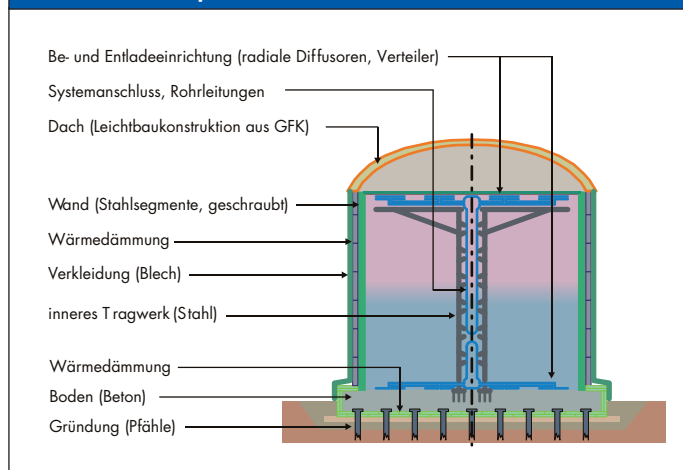
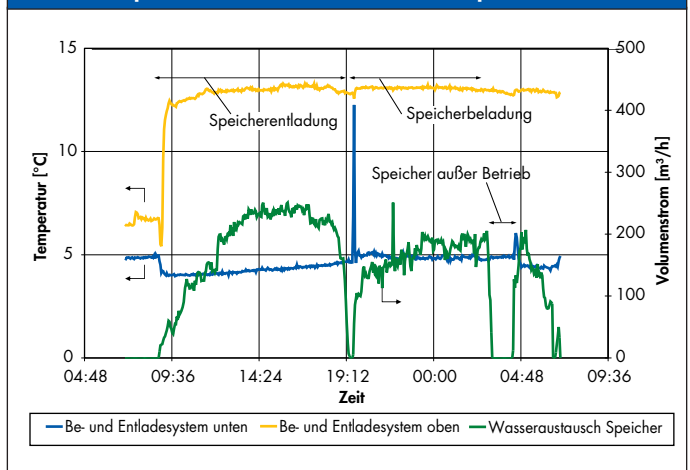


Abb. 6: Temperaturen und Volumenstrom am Speicher



von der Wand- und Dachkonstruktion statisch entkoppelt und wird durch eine zentrale Stütze und Träger aus Stahl gehalten.

### Be- und Entladesystem

Der Be- und Entladung des Speichers wurde besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Sie entscheidet nicht nur über die verfügbare Leistung, sondern auch darüber, wie gut eine Temperaturschichtung im Speicher aufgebaut und erhalten werden kann. Nur bei einer stabilen Temperaturschichtung ist es möglich, eingelagertes Wasser ohne signifikante Temperaturerhöhung wieder zu entnehmen.

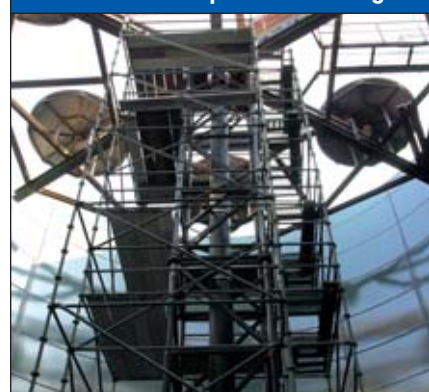
Steigt die Wassertemperatur über 6-7 °C, so kann es nicht mehr in das Fernkältesystem eingespeist werden. Neben den Wärmeinträgen über die Wand können insbeson-

dere Durchmischungsvorgänge im Speicher zu einer Temperaturerhöhung führen und die Effizienz erheblich beeinträchtigen.

Auf der Basis von Simulationsrechnungen entwickelten die Forscher ein Be- und Entladesystem, das eine relativ schmale Übergangszone von höchstens einem Meter generiert. Diese Übergangszone bleibt über längere Zeit erhalten. Auch nach mehreren Tagen ist noch eine optimale Kaltwasserentnahme möglich. In der Praxis konnte bisher immer eine Versorgungstemperatur unter 5 °C realisiert werden.

Abb. 6 zeigt Temperaturen und Volumenstrom am Speicher für einen typischen Sommertag. Bei der Entladung liefert der Speicher zuverlässig Kaltwasser mit Temperaturen unter 5 °C. Der Rücklauf hält stabil 13 °C. Bei der anschließenden Beladung wird das 13 °C warme Wasser aus der o-

Abb. 7: Radiale Diffusoren (so genannte Tassen) in der oberen Ebene erhalten die Temperaturschichtung

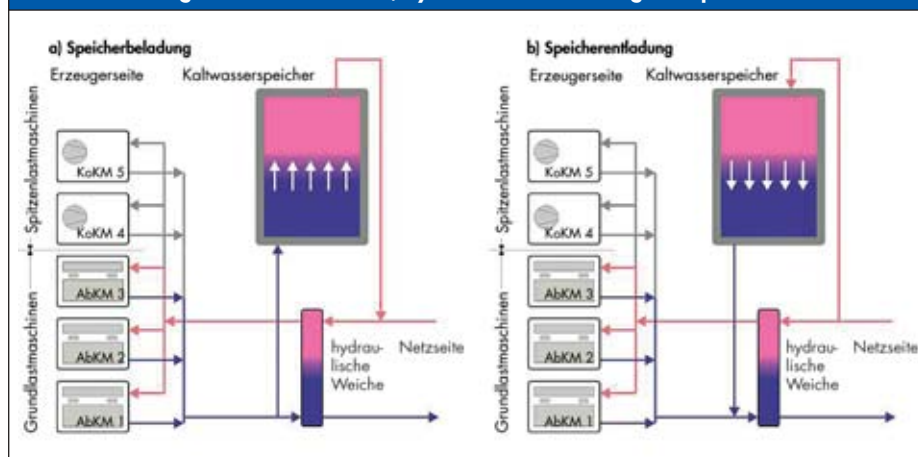


ren Speicherzone zu den Absorptionskältemaschinen transportiert. Diese arbeiten an der Sollwertvorgabe von 5 °C.

## Der Speicher im Fernkältenetz

Der Speicher wurde als angegliederter Speicher in das System integriert (Abb. 8). Er kann jederzeit in einem breiten Leistungsspektrum (50 – 5.000 kW) als Verbraucher oder als Erzeuger agieren. Das Umschalten zwischen den beiden Betriebsarten ist in weniger als 2 Minuten erreicht, ohne dass im Netz spürbare Druck- oder Temperaturschwankungen auftreten. So sind auch in ungewöhnlichen Situationen (z. B. bei Lastabwürfen) die überschüssigen Erzeugerleistungen aus den trägen Absorbern durch den Kältespeicher sofort aufnehmbar. Die kurzen Umschaltzeiten und die schnelle Nachführung der Leistungsabgabe bzw. -aufnahme machen eine viel stabilere und effizientere Fahrweise der Absorptionskältemaschinen möglich. Diese müssen nicht mehr ausschließlich in Abhängigkeit von der Netzlast geregelt werden. Sie können jetzt mit

Abb. 8: Einteilung der Kältemaschinen, hydraulische Anbindung des Speichers



konstanter Leistungsabgabe im optimalen Lastpunkt betrieben werden. Bei allen Leistungsanpassungen in Richtung Netzseite

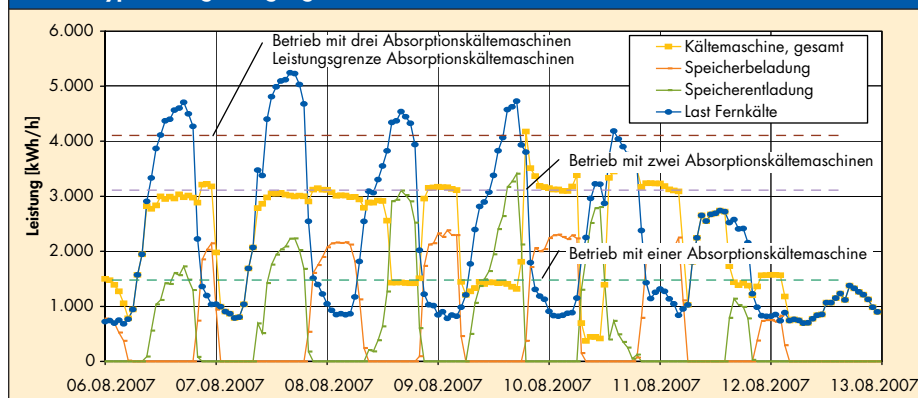
übernimmt der Kältespeicher den Lastausgleich.

## Erste Betriebserfahrungen

Seit der Inbetriebnahme des Kältespeichers im Juni 2007 wurden die Kompressionskältemaschinen nicht mehr benötigt. Die Versorgung der Kunden erfolgte bisher ausschließlich durch Kälte aus Wärme. Die für die Spitzenlast erforderliche Kälte wird in der Nacht vorproduziert und gespeichert. Rund 2 GWh Abwärme pro Jahr können jetzt zusätzlich zur Kälteerzeugung genutzt werden. Damit wird pro Jahr rund 150 MWh elektrische Energie substituiert, die sonst zu relativ hohen Spitzenlast-Strompreisen bezogen werden müsste.

Typische Tageslastgänge des Fernkältesystems zeigt Abb. 9. Der variable Betrieb der drei Absorptionskältemaschinen in Kombination mit dem Kältespeicher sorgt für die Spitzenlastdeckung und den Last-Erzeugerleistungs-Ausgleich. In der Nacht

Abb. 9: Typische Tageslastgänge Fernkälte Chemnitz



reichen die Leistungskapazitäten der Absorptionskältemaschinen für die Speicherbeladung. In Kombination mit dem Kältespeicher decken die Absorptionskältema-

schinen Netzlasten bis zu 8 MW komplett ab. Das System ist auf zusätzliche Lasten vorbereitet.



## ► Fazit

Das Konzept ist aufgegangen: Die nächtliche Beladung des Speichers mit den vorhandenen Absorptionskältemaschinen deckt die Spitzenlast des folgenden Tages vollständig. Die Kompressionskältemaschinen wurden bisher nicht mehr benötigt und dienen jetzt als Notfallreserve. Elektrische Energie zu Mittel- und Spitzenlastzeiten (bezogen auf die Kälteversorgung) wird durch eine verstärkte Abwärmenutzung eingespart.

Die Betriebsergebnisse lassen sich auf viele andere Systeme übertragen: Ein Kältespeicher erhöht die Effizienz der Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung. Der Verbrauch von elektrischer Energie in der Mittel- und Spitzenlast kann zugunsten von Abwärme reduziert werden. Gleichzeitig muss eine geringere elektrische Anschlussleistung vorgehalten werden. Die Kältemaschinen können kleiner dimensioniert werden und arbeiten am Auslegungspunkt mit besseren Wirkungs- und Nutzungsgraden. Der Nutzungsgrad des angeschlossenen Heizkraftwerks verbessert sich. Da vielfach auch Kostenvorteile gegenüber alternativen Varianten bestehen, dürfte sich diese Technik sowohl bei der Nachrüstung als auch bei der Neuerrichtung von zentralen und dezentralen Kälteversorgungssystemen anbieten.

Ein erstes Nachfolgeprojekt ging Ende 2008 in Biberach bei einem Pharmaunternehmen in Betrieb. Ein Kältespeicher - mit 6.500 m<sup>3</sup> nahezu doppelt so groß wie der Chemnitzer Speicher - entkoppelt die Kälteerzeugung vom stark schwankenden Kälteverbrauch. Insbesondere für das Be- und Entladesystem und das innere Tragsystem wurde dabei auf Erfahrungen der Chemnitzer Forscher zurückgegriffen. Ein weiteres Projekt läuft derzeit in Berlin an. Am Airport Berlin Brandenburg International BBI soll ein Kältespeicher errichtet werden, der so groß ist wie der in Chemnitz.

Auch international stößt der Kältespeicher auf einen großen Markt. Allein in Europa gibt es rund 100 Fernkältenetze. Bestehende Fernkältenetze werden ausgebaut und neue geplant, denn der Bedarf wächst mit der zunehmenden Klimatisierung von Gebäuden in verdichteten Innenstädten. Oft ist der Anschluss an ein Fernkältenetz bequemer, wirtschaftlicher und sicherer als der Betrieb dezentraler Anlagen. Strengere Auflagen hinsichtlich der Schallemission und der Hygiene von Rückkühleinrichtungen erschweren mancherorts die dezentrale Kälteerzeugung. Die Pariser Stadtverwaltung beschloss beispielsweise aus architektonischen und denkmalpflegerischen Gründen, die Dächer von Paris von technischen Aufbauten wie z. B. Kühltürme und Rückkühl-einrichtungen freizuhalten bzw. vorhandene Anlagen zurückbauen zu lassen.

### ► PROJEKTADRESSEN

- Technische Universität Chemnitz  
Fakultät für Maschinenbau  
Professur Technische Thermodynamik  
Dr. Thorsten Urbaneck  
09107 Chemnitz
- Stadtwerke Chemnitz AG  
Fernwärme/Fernkälte  
Ulf Uhlig  
Postfach 41 14 68  
09030 Chemnitz

### ► ERGÄNZENDE INFORMATIONEN

#### Literatur

- Urbaneck, T.; Uhlig, U.: Kaltwasserspeicher mit Schichtungsbetrieb – Analyse des Speicherhaltens. In: KI – Kälte, Luft, Klimatechnik. Jg. 44 (2008), H. 7/8, S. 32-37
- Reichel, H.; Ulbrich, W.; Uhlig, U. u. a.: Kältespeicher der Stadtwerke Chemnitz. Optimaler Betrieb durch gekoppelten Einsatz von Gebäudeautomation und wissenschaftlicher Messtechnik. In: EuroHeat&Power, Jg. 37 (2008), H. 3, S. 32-37

#### Abbildungsnachweis

- Abb. 1-9: Dr. T. Urbaneck, TU Chemnitz

#### Service

- Dieses Projektinfo gibt es auch als online-Dokument unter [www.bine.info](http://www.bine.info) im Bereich Publikationen/Projektinfos. In der Rubrik „Service“ finden Sie ergänzende Informationen wie weitere Projektadressen und Links.

## PROJEKTORGANISATION

■ Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi)  
11019 Berlin

Projektträger Jülich  
Forschungszentrum Jülich GmbH  
Jürgen Gehrmann  
52425 Jülich

■ Förderkennzeichen  
0327357B/C

## IMPRESSUM

■ ISSN  
0937 – 8367

■ Herausgeber  
FIZ Karlsruhe  
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1  
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

■ Nachdruck  
Nachdruck des Textes nur zulässig bei vollständiger Quellenangabe und gegen Zusendung eines Belegexemplares; Nachdruck der Abbildungen nur mit Zustimmung der jeweils Berechtigten.

■ Autor  
Dr. Franz Meyer

## BINE Informationsdienst Kompetenz in Energie

BINE informiert zu Energieeffizienztechnologien und erneuerbaren Energien:

In kostenfreien Broschüren, unter [www.bine.info](http://www.bine.info) und per Newsletter zeigt BINE, wie sich gute Forschungsideen in der Praxis bewähren.

BINE ist ein vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderter Informationsdienst von FIZ Karlsruhe.

#### Kontakt

Fragen zu diesem **projektinfo**?  
Wir helfen Ihnen weiter:

**Tel.: 0228 92379-44**

 **BINE**  
Informationsdienst

FIZ Karlsruhe, Büro Bonn  
Kaiserstraße 185 – 197  
53113 Bonn

Tel.: 0228 92379-0  
Fax: 0228 92379-29

[bine@fiz-karlsruhe.de](mailto:bine@fiz-karlsruhe.de)  
[www.bine.info](http://www.bine.info)