

# Komplexe Systeme und Nichtlineare Dynamik



TECHNISCHE UNIVERSITÄT  
CHEMNITZ

Arbeitsgruppe  
und  
Projekte

**Liebe Studierende,  
sehr geehrte Damen und Herren,**

dieses Heft soll Ihnen einen kleinen Einblick in die Forschungsaktivitäten der Professur Komplexe Systeme und Nichtlineare Dynamik geben. Die Theoretische Physik, die wir in Forschung und Lehre vertreten, hat zwar wesentlich zur Entwicklung dieses Gebiets beigetragen, aber die Tragweite der erzielten Ergebnisse geht weit über die Physik hinaus: Nichtlineare Dynamik ist ein essentieller Aspekt vieler komplexer Systeme, wie man sie in den Natur- oder Ingenieurwissenschaften, der Medizin oder sogar in den Geisteswissenschaften findet.



Sie ist eine typische Querschnittswissenschaft mit interdisziplinärem Charakter. Eine vertiefte Beschäftigung mit diesem Gebiet stellt daher eine solide Grundlage für die Analyse und Lösung vieler Probleme dar.

Unsere Forschung deckt das Spektrum von innovativen Anwendungen über Datenanalyse und Modellbildung bis hin zu den theoretischen Grundlagen komplexer Systeme ab. Auf den folgenden Seiten

wird dies anhand einiger Projekte gezeigt. Dabei werden Fragestellungen der Festkörperphysik, Atmosphärendynamik, Plasmaphysik, der Dynamik von Werkzeugmaschinen oder der biologischen Evolutionsdynamik behandelt.

Studierenden sollen die folgenden Projektbeschreibungen Anhaltspunkte geben, wie man sich in Form von Studienabschlussarbeiten oder einer Promotion in unsere Forschung einbringen kann. Die angesprochenen Gebiete sind ständig im Wandel begriffen, die Projektliste ist nicht vollständig und wir sind stets offen für neue Ideen. Bei Interesse an unseren Aktivitäten kontaktieren Sie einfach einen der Mitarbeiter oder mich. Auch allen anderen Interessenten hoffen wir einen Eindruck vermitteln zu können, wie spannend und vielfältig Forschung auf dem Gebiet Komplexe Systeme und Nichtlineare Dynamik sein kann.

Ihr

**Prof. Dr. Günter Radons**



Leiter der Professur Theoretische Physik I –  
Komplexe Systeme und Nichtlineare Dynamik  
des Instituts für Physik  
an der Technischen Universität Chemnitz



Prof. Dr. Günter Radons

Physikgebäude - Raum: P210

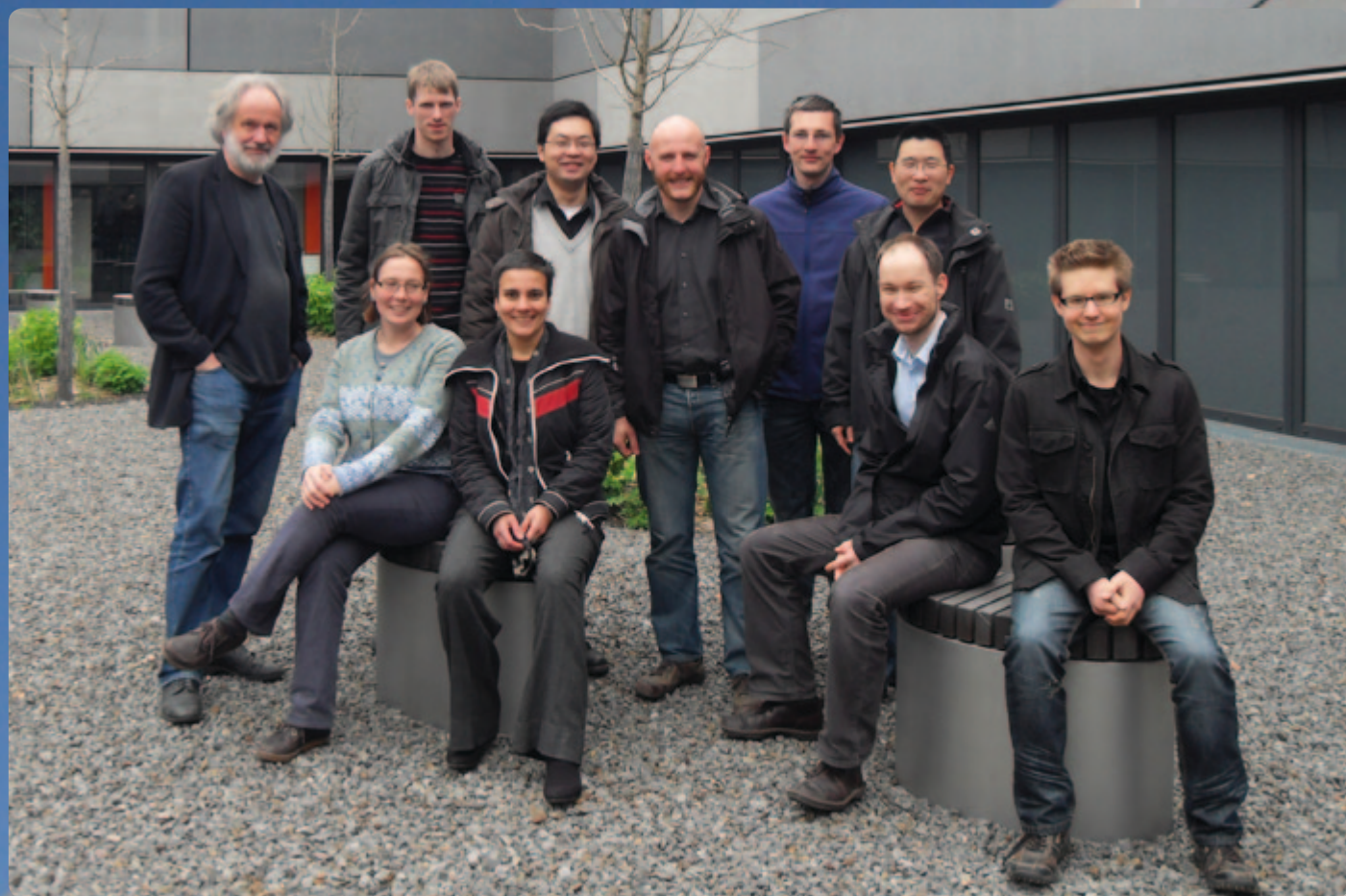
Tel.: +49 (371) 531 21870

Fax: +49 (371) 531 21959

radons@physik.tu-chemnitz.de

[www.tu-chemnitz.de/physik/KSND](http://www.tu-chemnitz.de/physik/KSND)







# Forschungsprojekte

Dynamische Systeme mit Hysterese .....	6
Stabilität spanender Bearbeitungsprozesse.....	8
Musterbildung in Systemen mit fluktuierender Verzögerung .....	10
Hyperbolizität und Lyapunov-Analyse .....	12
Chaos in ungeordneten Hamilton-Systemen.....	14
Anomaler Transport .....	16
Diffusion in ultradünnen Flüssigkeitsfilmen.....	18
Diffusion in strukturierten dynamischen Umgebungen .....	20
Vorhersage von Extremereignissen .....	22
Lyapunov-Vektoren in minimalistischen Atmosphärenmodellen .....	24

# Dynamische Systeme mit Hysterese

Hysterese ist ein allgegenwärtiges Phänomen, welches beispielsweise das unterschiedliche Verhalten ferromagnetischer Materialien bei der Magnetisierung und Entmagnetisierung beschreibt. Dieser Effekt wird unter anderem in modernen Festplattenspeichern genutzt. Die in unserer Gruppe untersuchten Hysterese-Modelle finden außerdem Anwendung beim Bestimmen des Feuchtegehalts von porösen Materialien, Böden oder katalytischen Oberflächen, der Beschreibung und Kontrolle mechanischer

Systeme mit Reibung und in der Mikroökonomie zum Erfassen hysteretischer Effekte in Wirtschaftsprozessen.

Die weite Verbreitung der Modelle gründet auf ihrem phänomenologischen Charakter und ihrer einfachen Struktur, welche es aber ermöglicht, die beobachteten komplexen, gedächtnisbehafteten Prozesse vorherzusagen.



*Der Wassergehalt eines Schwammes hängt hysteretisch vom Wasserangebot ab.*



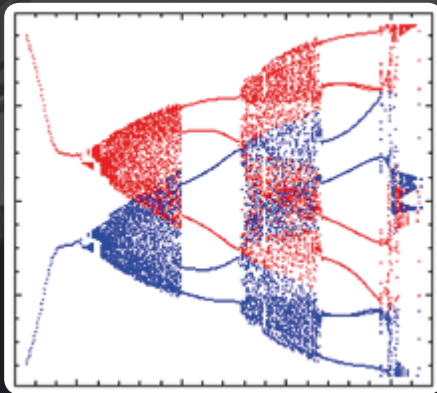
*Ferromagnetische Hysterese in der Speichertechnologie*



*Die Modellstruktur findet sich im abgebildeten Demonstrator wieder.*



Neben der Erforschung allgemeiner Eigenschaften der Modellklasse interessiert uns die Entwicklung von Methoden zur Charakterisierung der Dynamik von an Hysterese gekoppelten dynamischen Systemen. Hier sind nicht alle etablierten Methoden der nichtlinearen Dynamik und Zeitreihenanalyse ohne Weiteres anwendbar.



*Bifurkationsdiagramm für ein periodisch getriebenes ferromagnetisches Pendel*

Die von uns gefundenen Ergebnisse, etwa, dass seltene Extremereignisse die Systemeigenschaften auf sehr langen Zeitskalen entscheidend mitbestimmen können, sind relevant für alle genannten Anwendungsgebiete.

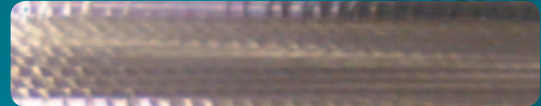


Dr. Sven Schubert

Physikgebäude - Raum: P215  
Tel.: +49 (371) 531 35649  
svs@physik.tu-chemnitz.de

# Stabilität spanender Bearbeitungsprozesse

Ratterschwingungen an Werkzeugmaschinen während der spanenden Bearbeitung, wie dem Drehen oder Fräsen, wirken sich negativ auf den Produktionsprozess aus, da sie den Verschleiß erhöhen und zu schlechter Oberflächenqualität führen. Häufigste Ursache für das Rattern sind selbsterregte Schwingungen, hervorgerufen durch die regenerative Kopplung zwischen dem dynamischen Maschinenverhalten und den Schnittkräften. Um einen instabilen Zerspanungsprozess auszuschließen, müssen oftmals Einbußen bei der



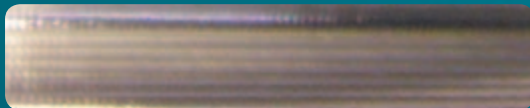
*Werkstückoberfläche bei instabiler Bearbeitung (Rattermarken)*



*Drehbearbeitungsprozess*

Materialabtragsrate in Kauf genommen werden. Eine Strategie, um das Leistungspotential der Werkzeugmaschinen besser auszunutzen und eine höhere Stabilität zu erreichen, ist die aktive Variation der Spindeldrehzahl. Dazu wird für Dreh- und Fräsprozesse der Einfluss variabler Drehzahlen auf die Stabilität untersucht und versucht ein allgemeines Verständnis für die Ergebnisse

zu entwickeln. Außerdem werden in unserer Arbeitsgruppe auch passive Drehzahlschwankungen modelliert und analysiert, welche durch die

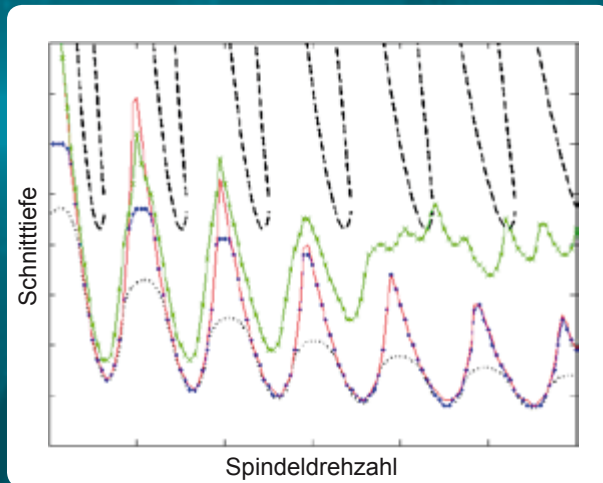


*Werkstückoberfläche bei stabiler Bearbeitung*



Wirkung von Prozessmomenten auf den Spindeltrieb entstehen.

Im BMBF-Verbundprojekt „Virtualisierung spanender Bearbeitungsprozesse in der Maschinenentwicklung und der Prozessoptimierung“ (VispaB) bearbeiten wir diese Probleme gemeinsam mit führenden Maschinen-, Software- und Werkzeugherstellern, sowie anderen universitären Einrichtungen.



*Stabilitätsgrenzen beim Drehen mit verschiedenen periodischen Drehzahlvariationen*



Andreas Otto, M.Sc.

Physikgebäude - Raum: P216

Tel.: +49 (371) 531 37717

[andreas.otto@physik.tu-chemnitz.de](mailto:andreas.otto@physik.tu-chemnitz.de)

[www.tu-chemnitz.de/~otan/](http://www.tu-chemnitz.de/~otan/)

# Musterbildung in Systemen mit fluktuierender Verzögerung

Musterbildung ist ein in verschiedenen Zusammenhängen auftretender, zeitlich begrenzter, dynamischer Prozess, bei dem selbstständig periodische Muster bzw. Strukturen entstehen. Dieser tritt ein, nachdem ein ursprünglich räumlich homogener Zustand instabil geworden ist, also ein Phasenübergang stattgefunden hat. Muster findet man in der Natur sehr häufig, z.B. in der Fellzeichnung von Tieren, in Stockflecken und in Form von wellenförmigen Strukturen im Sand der Wüste. Musterbildung kann räumlich, zeitlich oder räumlich und zeitlich stattfinden. Von Strukturen spricht man, wenn die Muster räumlich und nicht nur vorübergehend auftreten,

d.h. wenn sich temporäre räumliche Muster stabilisieren.

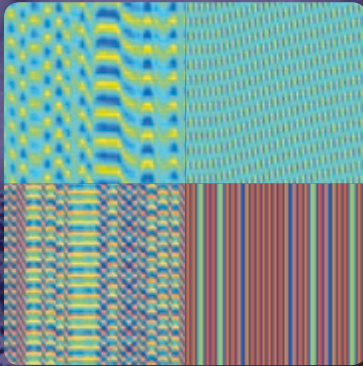


*Beispiele der Musterbildung in der Natur*

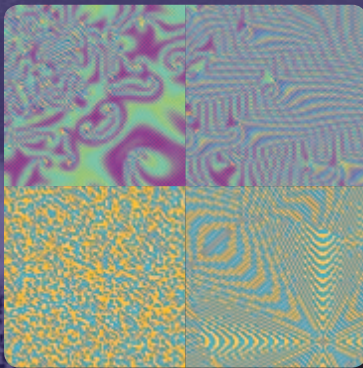
In unserer Forschung untersuchen wir ein- und zweidimensionale räumlich ausgedehnte Populationsmodelle. Hierbei handelt es sich um sogenannte Coupled-Map-Lattices und Reaktions-Diffusions-Gleichungen mit fluktuierend verzögerten Abhängigkeiten im Reaktionsterm. Der Schwerpunkt unserer Arbeit liegt auf dem Verständnis der Zusammenhänge zwischen Musterbildung, Verzögerung und Diffusionskoeffizient. Methoden zur Untersuchung dieser Abhängigkeiten sind beispielsweise die Berechnung von dynamischen Struktur Faktoren und Lyapunov-Spektren.

Methoden zur Untersuchung dieser Abhängigkeiten sind beispielsweise die Berechnung von dynamischen Struktur Faktoren und Lyapunov-Spektren.





*Raum-zeitliche Strukturen in ein-dimensionalen Systemen*



*Schnappschüsse von Zuständen in zweidimensionalen Systemen*



Jian Wang, M.Sc.

Physikgebäude - Raum: P216  
Tel.: +49 (371) 531 38157  
[jian.wang@physik.tu-chemnitz.de](mailto:jian.wang@physik.tu-chemnitz.de)

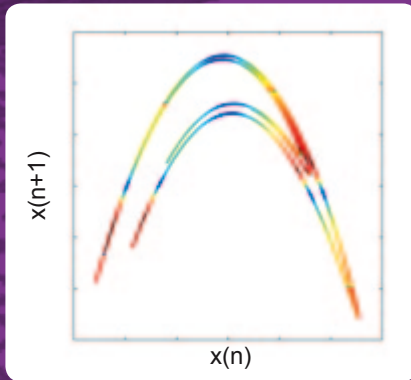
# Hyperbolizität und Lyapunov-Analyse

Hyperbolizität ist eine wichtige mathematische Idealisierung dynamischer Systeme, die es erlaubt viele weitgehende Eigenschaften zu beweisen. Die meisten in der Praxis vorkommenden dynamischen Systeme sind jedoch nicht hyperbolisch. Daher ist es von großem Interesse, weniger restriktive Bedingungen an dynamische Systeme zu stellen und deren Auswirkungen zu untersuchen. Das „Dominated Splitting“ ist eine solche Eigenschaft. Diese kann, genauso wie Hyperbolizität, aus den Fluktuationen der Finite-Time-Lyapunov-Exponenten bestimmt werden. Hierzu benötigt man die sogenannten kovarianten Lyapunov-Vektoren, deren numerische Berechnung, auch für hochdimensionale Systeme, erst seit Kurzem möglich ist.

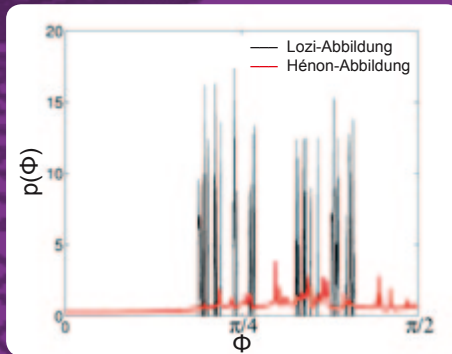
Diese verändern sich ständig entlang einer Trajektorie, wobei die Fluktuationen der Zwischenwinkel ebenfalls Aussagen über Hyperbolizität oder Dominated Splitting zulassen. Hier interessiert insbesondere die Frage, ob und wo im Zustandsraum des Systems Zwischenwinkel verschwinden. Letzteres deutet auf Berührungspunkte zwischen stabilen und instabilen Mannigfaltigkeiten hin, die weitreichende Konsequenzen für das grundlegende Verhalten der betrachteten dynamischen Systeme haben. Entsprechende numerische Untersuchungen werden an verschiedenen paradigmatischen Systemen durchgeführt, die von zeitlich und räumlich diskreten, gekoppelten Abbildungen bis zu nichtlinearen, partiellen Differentialgleichungen reichen.

*Geodäten auf dieser Fläche konstanter negativer Krümmung definieren ein hyperbolisches dynamisches System.*





Variation des Winkels  $\Phi$  (Farbcode) zwischen stabiler und instabiler Mannigfaltigkeit der Hénon-Abbildung



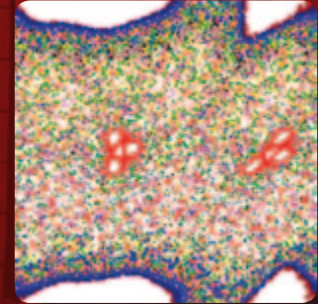
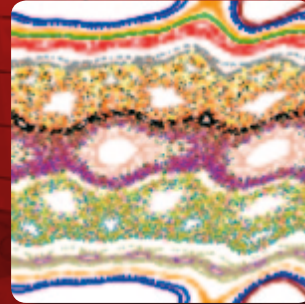
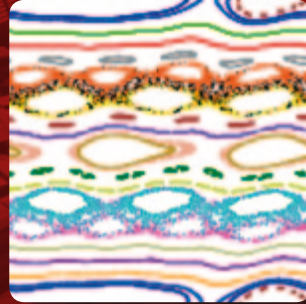
Wahrscheinlichkeitsdichte des Zwischenwinkels  $\Phi$  für ein hyperbolisches (schwarz) und ein nicht-hyperbolisches System (rot)



Dr. Hong-liu Yang

Physikgebäude - Raum: P142  
 Tel.: +49 (371) 531 33292  
 haya@physik.tu-chemnitz.de

# Chaos in ungeordneten Hamilton-Systemen

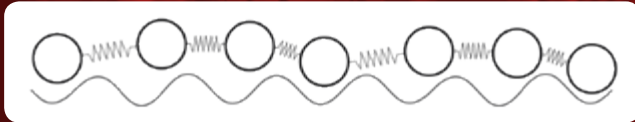


*Veränderung der Strukturen im Phasenraum mit zunehmender Störung:  
Verschiedene Farben kennzeichnen verschiedene Trajektorien.*

Untersuchungen an niedrigdimensionalen klassischen Hamilton-Systemen sind von großer Bedeutung für so unterschiedliche Gebiete wie die Fusionsforschung und die Festkörperphysik. Zum Einen wird mit diesen Systemen der Verlauf der Magnetfeldlinien in einem Fusionsreaktor beschrieben, zum Anderen kann man aus der Stabilität ihrer Lösungen auf die Festigkeit amorpher Festkörper schließen. Wir betrachten ungeordnete Varianten der viel untersuchten Standardabbildung. Die Kombination von eingefrorener Unord-

nung und nichtlinearer Dynamik ist bisher kaum verstanden und stellt eine besondere wissenschaftliche Herausforderung dar.

Der Phasenraum der betrachteten Hamilton-Systeme ist durch eine Mischung aus deterministischem Chaos und regulärem Verhalten charakterisiert. Mit zunehmender Nichtlinearität verformen sich die regulären Trajektorien zunächst zu KAM-Tori, die den chaotischen Transport in Impulsrichtung blockieren. Bei weiterer Erhöhung werden schließlich alle relevanten Tori zerstört, es setzt



*Modell für den Grundzustand amorpher Festkörper*

chaotische Diffusion in Impulsrichtung ein. Da das Plasma in einem Fusionsreaktor nur solange eingeschlossen bleibt, wie beschränkende Tori existieren, ist deren Existenz von entscheidender Bedeutung. Für ungeordnete Systeme, wie sie für die Tokamakdynamik relevant sind, existieren noch grundlegende Verständnislücken, die mit unserer Forschung geschlossen werden sollen.



*Verlauf der Magnetfeldlinien in einem Tokamak*



Ines Hartwig, M.Sc.

Physikgebäude - Raum: P301  
Tel.: +49 (371) 531 37217  
[ines.hartwig@physik.tu-chemnitz.de](mailto:ines.hartwig@physik.tu-chemnitz.de)



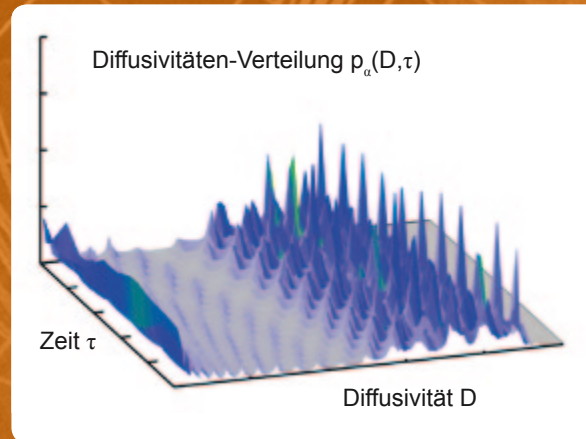
# Anomaler Transport

Die Forschung der letzten Jahrzehnte hat gezeigt, dass viele in der Natur vorkommende Transportvorgänge nicht den Gesetzen der wohl bekannten normalen Diffusion folgen. Systeme, in denen ein solcher anomaler Transport beobachtet wird, sind in der Physik, Biologie und der Epidemiologie vertreten. Konkrete Beispiele sind die Ausbreitung von Partikeln in turbulenten Strömungen, die Bewegung von Proteinen auf der Zellmembran lebender Zellen sowie die Ausbreitung von Krankheiten.

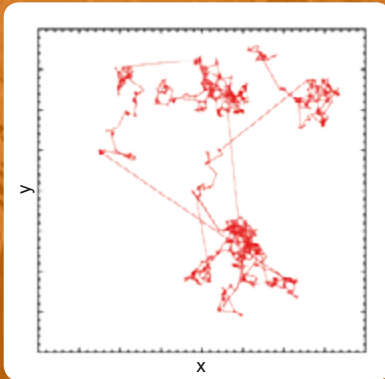
Im Fokus unserer Untersuchungen stehen grundlegende Aspekte des anomalen Transports in nichtlinearen Hamilton-

Systemen, welche unter anderem durch Fragen und Problemstellungen der Plasmaphysik motiviert sind. Zusätzlich zur Analyse dieser deterministischen Systeme beschäftigen wir uns mit der numerischen Simulation und analytischen Untersuchung stochastischer Modelle wie beispielsweise Continuous Time Random Walks. Der Vergleich der beiden Modellklassen erlaubt es die Mechanismen zu verstehen, welche in deterministischen Systemen zu anomalem Transport führen.

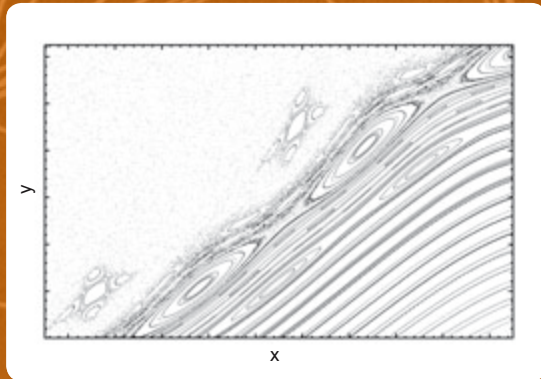
Dabei bedienen wir uns unter anderem der Diffusivitäten-Verteilung, die sich auch in anderen Projekten bewährt hat.



*Zeitabhängigkeit der Diffusivitäten-Verteilung für die Standardabbildung*



*Trajektorie eines zweidimensionalen Lévy Walks als Beispiel für einen Continuous Time Random Walk*



*Ausschnitt aus dem Phasenraum eines nichtintegrablen Hamilton-Systems*



Dipl.-Phys. Tony Albers

Physikgebäude - Raum: P301  
Tel.: +49 (371) 531 39353  
[tony.albers@physik.tu-chemnitz.de](mailto:tony.albers@physik.tu-chemnitz.de)

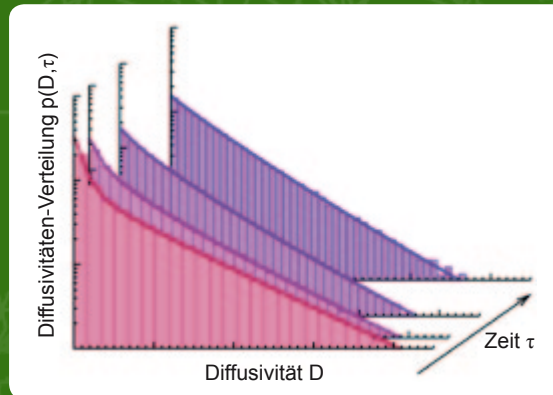
# Diffusion in ultradünnen Flüssigkeitsfilmen

Diffusionsprozesse sind eine weit verbreitete Erscheinung in Natur, Technik und Wirtschaft. Prominente Beispiele sind der Transport in Flüssigkeiten und Gasen, oder in biologischen Zellen, sowie die Ausbreitung von Krankheiten.

Zum besseren Verständnis solcher Prozesse untersuchen wir die Diffusion von Molekülen in ultradünnen Flüssigkeitsfilmen auf Festkörperoberflächen. Um den Einfluss des Systems auf diffundierende Teilchen zu verstehen, wird die Bewegung fluoreszierender Moleküle mit Hilfe eines Videomikroskops aufgenommen. Die Schwierigkeit besteht darin, aus diesen zwei-dimensionalen Beobachtungen des inhomogenen Diffusionsprozesses auf die ursprüngliche, dreidimensionale Trajektorie und die Systemeigen-

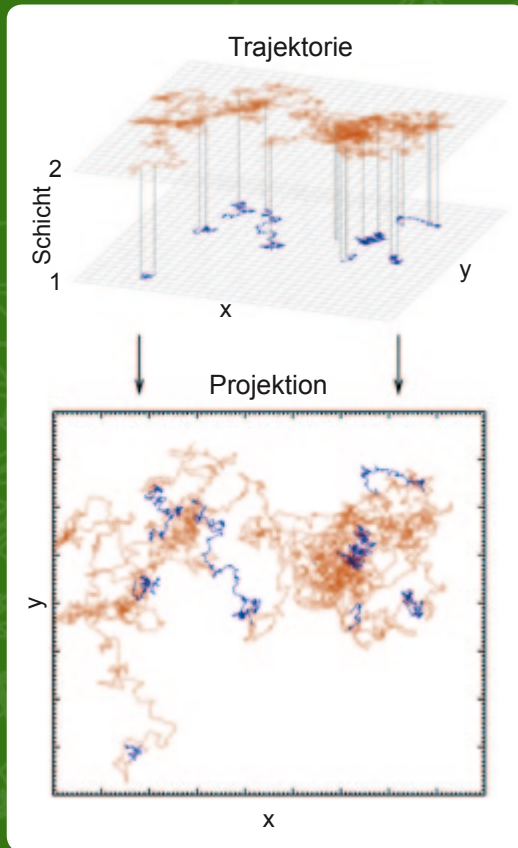
schaften zu schließen. Deshalb führen wir Simulationen durch und bestimmen daraus Diffusivitäten-Verteilungen. Der Vergleich mit experimentell ermittelten Verteilungen erlaubt es, Abschätzungen zur Inhomogenität des Systems zu treffen.

In enger Zusammenarbeit mit Experimentatoren der Professur „Optische Spektroskopie und Molekülphysik“ können die theoretischen Modelle und Auswerteverfahren direkt an realen Systemen getestet und optimiert werden. Fragestellungen zu komplementären Diffusionsmessungen, etwa mittels NMR, werden mit Experimentatoren der Universität Leipzig verfolgt. Unsere Untersuchungen sind dabei in die DFG-Forschergruppe 877 „From Local Constraints to Macroscopic Transport“ eingebunden.



*Die Veränderung der Diffusivitäten-Verteilung weist auf einen heterogenen Diffusionsprozess hin.*





*Durch die Projektion wird eine Trajektorie zweidimensional im Videomikroskop beobachtet und verfolgt.*

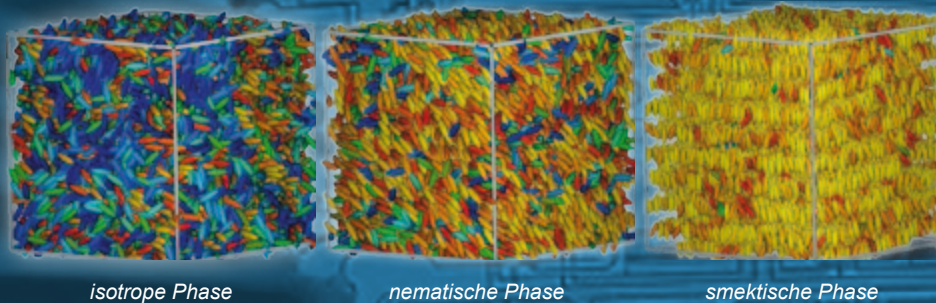


Michael Bauer, M.Sc.

Physikgebäude - Raum: P301  
 Tel.: +49 (371) 531 37511  
[michael.bauer@physik.tu-chemnitz.de](mailto:michael.bauer@physik.tu-chemnitz.de)

# Diffusion in strukturierten dynamischen Umgebungen

Die Diffusion und damit der Transport einzelner Flüssigkeitsmoleküle in einer strukturierten dynamischen Umgebung ist durch die aktuelle Miniaturisierung von mikromechanischen Elementen in der Medizintechnik wie Lab-on-a-chip Devices und Mikropumpen in den Blickpunkt der Forschung gerückt. Außerdem sind die mikrorheologischen Eigenschaften von Flüssigkeiten in biologischen Systemen insbesondere für das Verständnis des Transports innerhalb von Zellen relevant. Als Modellsystem betrachten wir ultradünne Flüssigkeitsfilme auf Silizium. Weil diese Schichten nur aus wenigen Moleküllagen bestehen, können Grenzflächeneffekte einfacher beobachtet werden.



*isotrope Phase*

*nematische Phase*

*smektische Phase*

*Verschiedene Flüssigkristallphasen*

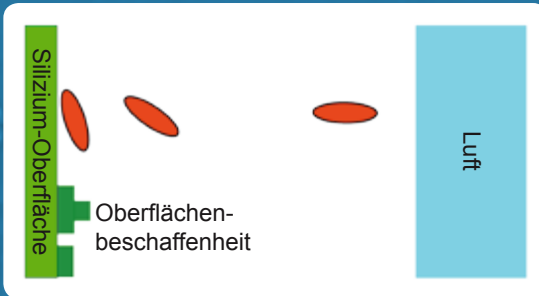
Ebenso kann durch Variation der aufgetragenen Flüssigkeiten der Einfluss der Strukturmerkmale der Flüssigkeiten untersucht werden. Insbesondere interessieren uns hierbei Flüssigkristalle.

Die Forschung gliedert sich dabei zum Einen in die

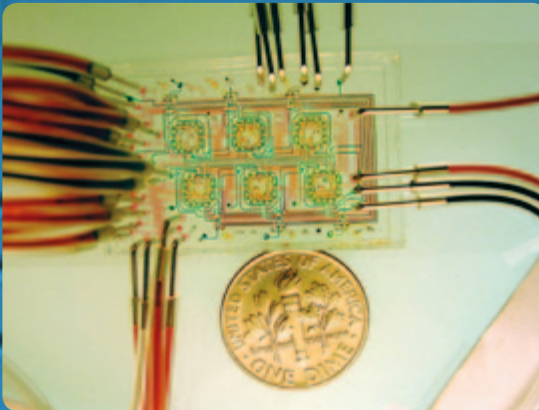
Auswertung experimenteller Daten mit neu entwickelten und etablierten Methoden der Zeitreihenanalyse. Zum Anderen entwickeln wir mit

Hilfe von Molekulardynamiksimulationen

eine grundsätzliche Vorstellung für das Diffusionsverhalten. Für diese Berechnungen kommen auch Grafikkartenprozessoren (GPU) zum Einsatz, deren hohe Rechenleistung bei maximaler Parallelität sich ausgezeichnet dafür eignet.



*Verschiedene Randbedingungen, die in Molekulardynamiksimulationen berücksichtigt werden*



*Mikrobioreaktor zur Untersuchung kleinster Organismen, wie Einzeller und Viren*

*Bild (unten): Stephen Quake, Stanford University*



Mario Heidernätsch, M.Sc.

Physikgebäude - Raum: P301  
 Tel.: +49 (371) 531 37841  
 mario.heidernaetsch@  
 physik.tu-chemnitz.de



# Vorhersage von Extremereignissen

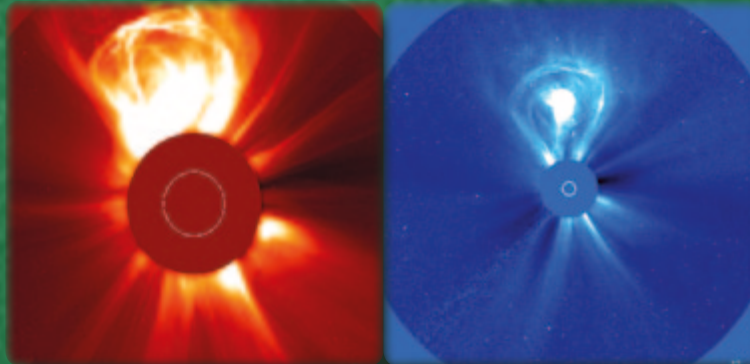
Systeme, die seltene Ereignisse mit verheerenden Folgen generieren, findet man in Natur, Technik oder Gesellschaft häufig.

Beispiele sind die elektrische Aktivität des Gehirns, welche epileptische Anfälle hervorbringen kann, Finanzmärkte, auf denen von Zeit zu Zeit drastische Kursstürze stattfinden und das Wetter, welches in der Lage ist Starkniederschläge und Stürme zu produzieren. All diese Systeme haben gemeinsam, dass eine vollständige Modellierung ihres Verhaltens aufgrund ihrer Komplexität oft nicht möglich ist. Durch die gravierenden Auswirkungen der oben

angeführten Ereignisse, besteht jedoch ein Bedarf nach Vorhersagen. Wenn keine hinreichend

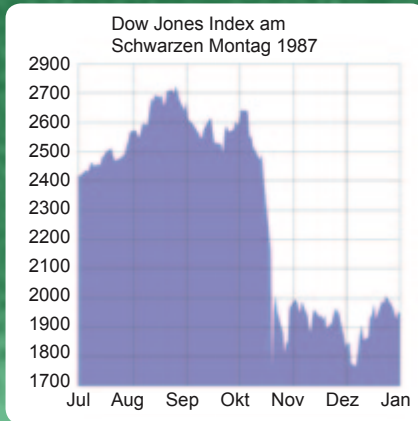
guten Modelle zur Beschreibung eines Systems vorhanden sind, versucht man vielfach Methoden der Zeitreihenanalyse einzusetzen, um Vorhersagealgorithmen zu entwickeln. Ein erfolgreicher Ansatz ist die Suche nach Vorläuferstrukturen, also typischen Mustern in einem Datensatz, die vor einem Extremereignis

auftreten. Gegenstand der aktuellen Forschung ist es, Algorithmen für die Vorhersage von Sonnenwindereignissen und von anomalen Diffusionsbewegungen zu entwickeln.



*Aufnahmen der Sonnenkorona vom SOHO-LASCO-Spektrometer*

Bild (Mitte): The CME catalog is generated and maintained at the CDAW Data Center by NASA and The Catholic University of America in cooperation with the Naval Research Laboratory. SOHO is a project of international cooperation between ESA and NASA.



*Börsencrashes als Beispiele für Extremereignisse*



*Hochwasser in Dresden, 2002*



Dr. Sarah Hallerberg

Physikgebäude - Raum: P141

Tel.: +49 (371) 531 38321

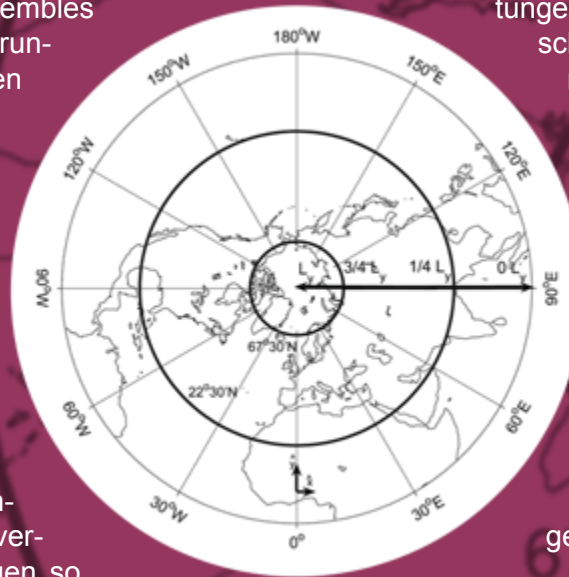
[sarah.hallerberg@physik.tu-chemnitz.de](mailto:sarah.hallerberg@physik.tu-chemnitz.de)

# Lyapunov-Vektoren in minimalistischen Atmosphärenmodellen

Eine wichtige Neuerung in der Wetter- und Klimamodellierung ist die Verwendung von Modellensembles. Diese Ensembles bestehen aus ca. 50 Realisierungen desselben mathematischen Modells für die Dynamik der Atmosphäre, die sich nur durch leicht veränderte Anfangsbedingungen unterscheiden. Damit erhält man einen Überblick über die Abhängigkeit der Simulationsergebnisse von Unsicherheiten in der Kenntnis der Anfangszustände. Da Wetter- und Klimasimulationen mit hohem Rechenaufwand verbunden sind, ist es wichtig, die verschiedenen Anfangsbedingungen so

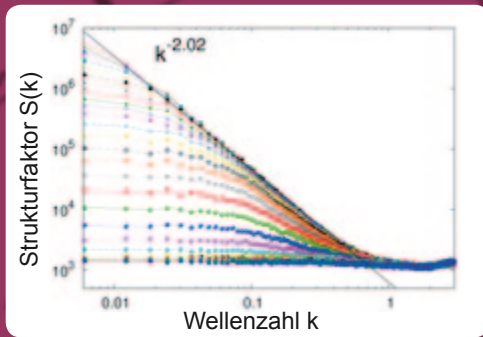
zu wählen, dass kleine Störungen durch die Modelliteration schnell anwachsen. Die Richtungen, entlang derer Störungen am schnellsten anwachsen, werden mit Hilfe von Bred-, Singulär- oder Lyapunov-Vektoren bestimmt.

In diesem Projekt berechnen wir Bred- und Lyapunov-Vektoren in einem minimalistischen quasi-geostrophischen Klimamodell und anderen Modellen mit räumlich-zeitlich chaotischem Verhalten. Insbesondere untersuchen wir die räumlichen und zeitlichen Skalierungseigenschaften der Vektoren.

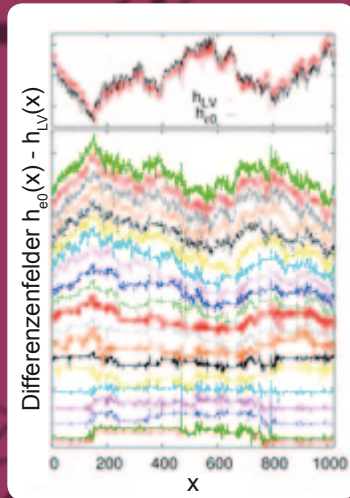


*Bereich der Nordhalbkugel, in dem die Näherung des quasi-geostrophischen Modells gültig ist*





Skalierungsverhalten von Bred-Vektoren im Lorenz'96-Modell



Differenzenfelder von Bred- und Lyapunov-Vektoren



Andreas Bier

Physikgebäude - Raum: P133  
 andreas.bier@s2008.tu-chemnitz.de

# Kontakt



Sekretariat: Angelique Gaida

Physikgebäude - Raum: P210  
Tel.: +49 (371) 531 21870  
Fax: +49 (371) 531 21959  
[a.gaida@physik.tu-chemnitz.de](mailto:a.gaida@physik.tu-chemnitz.de)

## Postanschrift

Institut für Physik  
TU Chemnitz  
D - 09107 Chemnitz



Sie finden uns im Physikgebäude.



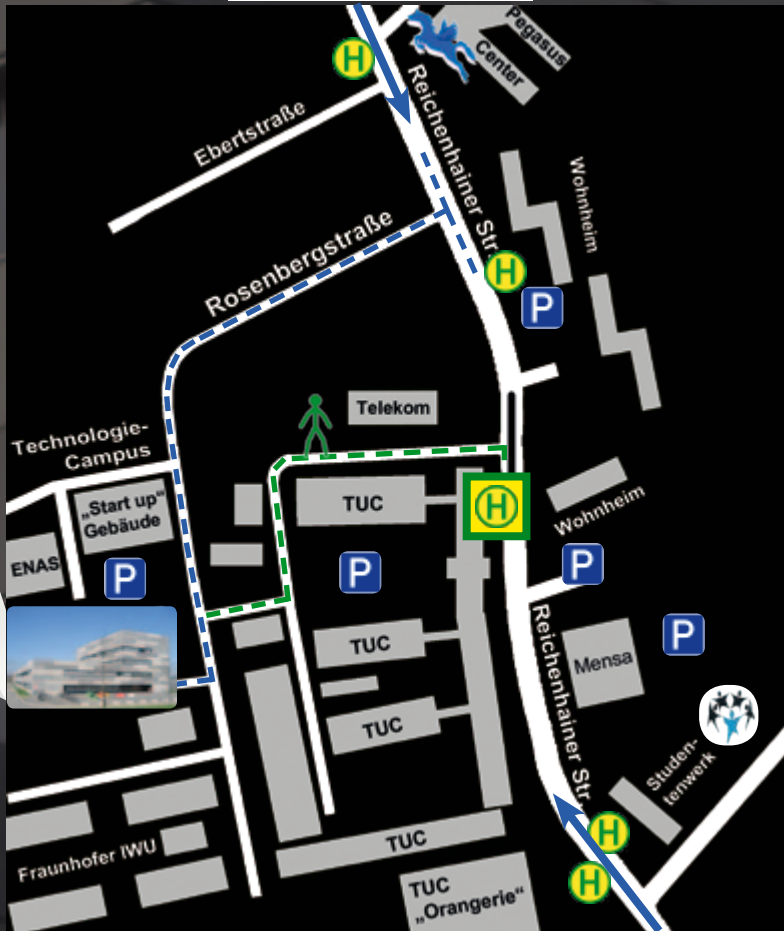
Das Sekretariat befindet sich in der zweiten Etage.

## Besucheranschrift

Professur  
Theoretische Physik I –  
Komplexe Systeme und  
Nichtlineare Dynamik

Reichenhainer Str. 70  
Physikgebäude  
D - 09126 Chemnitz

aus Richtung Zentrum




aus Richtung Südring

## Anfahrt

### mit ÖPNV

aus Richtung Hauptbahnhof / Zentrum:

- mit der Straßenbahn 2/6/522 oder Bus 23/32 zur „Zentralhaltestelle“
- vom Zentrum Bus 51/E51/X51 bis  „TU Reichenhainer Str.“
- **grüner Linie** wie in Skizze folgen

### mit PKW

aus Richtung Zentrum oder Südring:

- **Reichenhainer Str.** bis Ecke **Rosenbergstraße** fahren
- **blauer Linie** wie in Skizze folgen



# Nichtlineare Dynamik - etwas für kreative Köpfe

Die Welt der Nichtlinearen Dynamik  
trifft die Welt der Mode:

Eine unkonventionelle Anwendung  
des Bifurkationsdiagramms der  
logistischen Abbildung

$$x_{t+1} = \mu x_t(1 - x_t)$$

im Design von Kleiderstoffen\*.

\* designed and made by Eri Matsui,  
Keiko Kimoto, and Kazu Aihara

