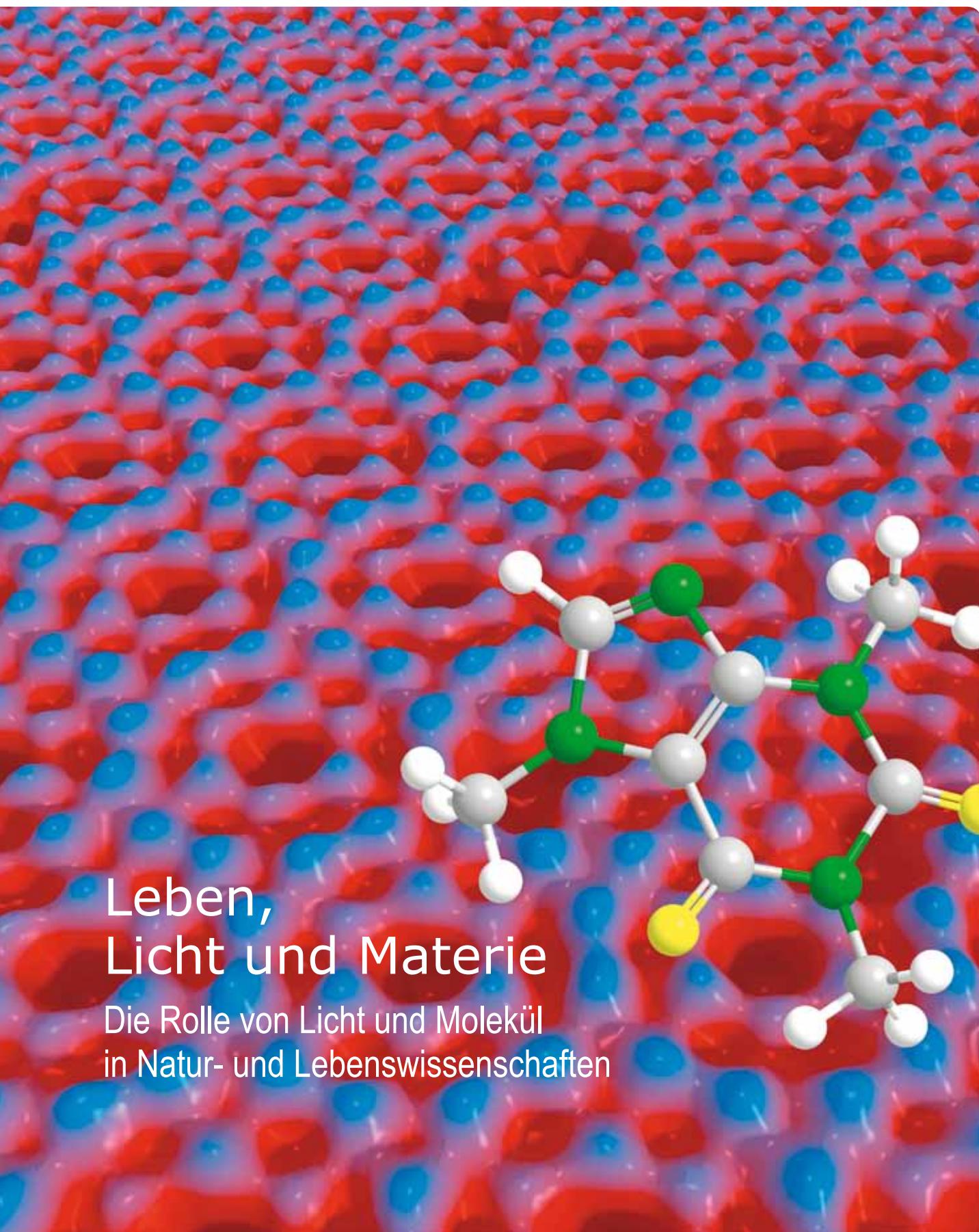


Traditio et Innovatio

Forschungsmagazin der Universität Rostock



14. Jahrgang | Heft 3 | 2010 | ISSN 1432-1513 | 4,50 Euro



Leben, Licht und Materie

Die Rolle von Licht und Molekül
in Natur- und Lebenswissenschaften



Liebe Leserin, lieber Leser,

die dritte Ausgabe des Jahres 2010 unseres Forschungsmagazins stellt die Profillinie „Leben, Licht und Materie“ („Science and Technology of Life, Light and Matter“) vor. Der Wissenschaftsbereich zwischen Licht und Materie gilt als Wachstumsbranche mit herausragendem Zukunftspotential. Im Mittelpunkt der Forschungen steht dabei die neue Rolle von Licht und Molekül in den Natur- und Lebenswissenschaften. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler untersuchen und gestalten atomare sowie molekulare Prozesse und verbinden Laser-Optik mit Lebenswissenschaften. Ziel ist es, aus der Grundlagenforschung heraus neue Konzepte für zukünftige Technologien zu entwickeln.

Die ersten drei Jahre von 2007 bis 2010 des Bestehens des Departments waren durch die Konsolidierung und Vernetzung von Arbeitsgruppen und Themen aus den verschiedenen Wissenschaftsdisziplinen gekennzeichnet. Die herausgebildeten drei Projektbereiche „Atomare und molekulare Prozesse“, „Neue Materialien und Systeme“ und „Rekonstruktion biologischer Funktionen“ stehen dabei keineswegs getrennt nebeneinander, sondern sind durch stark miteinander verzahnte Forschungsachsen verbunden. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Departments spüren den kleinsten Grundbausteinen nach. Denn Grundbausteine und ihre Wirkungen sichtbar zu machen, heißt zugleich sie zu verstehen und schließlich zu steuern. Erfahren Sie, wie sich mit Hilfe bioaktiver Materialien und neuer Technologien biologische Funktionen wieder herstellen lassen oder wie mittels der Nanostrukturierung und katalytischer Verfahren neue Materialien und Wirkstoffe geschaffen werden können.

Entdecken Sie bei Ihrer Lektüre das Zusammenspiel der verschiedenen Wissenschaftsbereiche. Ich wünsche Ihnen eine aufschlussreiche Lektüre.

Ihr

Prof. Dr. Wolfgang Schareck
Rektor



Titelbild: Prof. Dr. Karl-Heinz Meiwes-Broer

Layout: Hinstorff Media, Matthias Timm

Druck: Stadtdruckerei Weidner GmbH

Auflage: 3.000 Exemplare

ISSN 1432-1513

Die Rechte der veröffentlichten Beiträge einschließlich der Abbildungen, soweit nicht anders gekennzeichnet, liegen bei der Universität Rostock. Copyright nur bei vorheriger Anfrage in der Redaktion und mit Angabe der Quelle.

Wie Naturwissenschaftler, Ingenieure und Mediziner wissenschaftliches Neuland entdecken

Karl-Heinz Meiwes-Broer

Wenn heute von neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen und neuen Technologien gesprochen wird, fällt mit Sicherheit ein Begriff: Interdisziplinäre Forschung. Sie kreiert völlig neue Forschungsgebiete, bringt Wissenschaftler der unterschiedlichsten Gebiete zusammen und schafft neue Lösungen, wo die klassischen Disziplinen kaum zur Fragestellung gelangt wären. Beispiele für interdisziplinäre Forschungen gibt es reichlich. Und täglich werden es mehr. So benötigt die Implantatmedizin den intensiven Dialog mit den Natur- und Ingenieurwissenschaften, um biologische Funktionen zu rekonstruieren oder Ersatzsysteme durch Hochtechnologie zu entwickeln. Oft sind es vollständig neue Materialien, die mit physikalischen und chemischen Methoden im Nanometerbereich entdeckt und nutzbar gemacht werden, damit Proteine oder biologische Zellen in gewünschter Weise arbeiten. Die Verwendung von Lasern hat hier der Wissenschaft in der Grenzregion von Licht und Materie völlig neue Horizonte geöffnet.

Kooperation über klassische Fächergrenzen hinweg

In diesen Grenzbereichen versagt die herkömmliche Forschungslogik. Die Universität Rostock hat aus diesem

Grund im Jahr 2007 das Department Life, Light & Matter (Leben, Licht & Materie) unter dem Dach der Interdisziplinären Fakultät gegründet. Hier forschen zahlreiche Wissenschaftler und Studierende fast aller Fakultäten. Wichtigstes Merkmal: keine Trennungen, sondern engste Kooperation über klassische Fächergrenzen hinweg. Damit wir auf neue wissenschaftliche Erkenntnisse und gesellschaftliche bzw. technische Anforderungen schnell reagieren können, bleiben die Strukturen offen und dynamisch. So können sich die Projektbereiche weiter entwickeln und auch völlig neue entstehen, wenn es die Situation erfordert. Das Zusammenspiel von Wissenschaftlern aus mehreren Fakultäten führt auf wissenschaftliches Neuland und bringt eine Innovationskraft und Leistungsfähigkeit hervor, die wie eine Revolution in der fast 600-jährigen Geschichte der Universität Rostock alles Dagewesene in den Schatten stellt.

Mit der Nanotechnik in neue Welten vordringen

Neue Technologien ergeben sich häufig aus der Entwicklung von Materialien mit besonderen Eigenschaften. High-Tech-Verbindungen aus Kunststoffen und Metallen haben den Leichtbau revolutioniert, und organische Materialien sollen

Der Autor



Prof. Dr. rer. nat. habil.
Karl Heinz Meiwes-Broer

1980 Dipl.-Physiker, Univ. Bielefeld; 1983 Dr. rer. nat., Univ. Bielefeld; Habilitation 1989 Dr. rer. nat. habil. (Oberflächen- und Clusterphysik), Univ. Bielefeld; 1984 Postdoc an der Univ. Nijmegen (Niederlande); 1984–1992 wiss. Mitarbeiter und Hochschulassistent an der Univ. Bielefeld; 1988 Gastdozent an der Nankai-Univ. in Tiensin (China); 1992–1993 Ruf auf eine C4-Professur und Vertretungsprofessor an der Univ. Rostock; seit 1993 Professor (C4) für Molekül- und Clusterphysik, Univ. Rostock; seit 2003 Koordinator des DFG-Schwerpunktprogramms 1153 „Cluster in Kontakt mit Oberflächen: Elektronenstruktur und Magnetismus“; seit 2005 Sprecher des Sonderforschungsbereichs (SFB) 652 „Starke Korrelationen und kollektive Phänomene im Strahlungsfeld: Coulombsysteme, Cluster und Partikel“; seit 2007 Leiter des Departments „Life, Light and Matter“

Universität Rostock
Institut für Physik
Universitätsplatz 3, 18059 Rostock
Fon +49(0)381 498-6800
Mail meiwes@uni-rostock.de



in der Zukunft zu einer Elektronik aus Plastik und zu großflächigen Solarzellen führen. Grundlage hierfür ist die Nanotechnik, mit der wir immer weiter auf die molekulare Ebene vordringen.

Weitere Hoffnungsträger sind Materialien, die aus vielen molekularen Komponenten bestehen und bei denen jede Molekülsorte eine oder auch mehrere

Aufgaben übernehmen kann. Zum Beispiel muss in einer organischen Photozelle zur Energiegewinnung aus Sonnenlicht eine Kaskade komplexer und teils extrem schneller Vorgänge durchlaufen werden. Jeder Einzelschritt davon stellt ein umfangreiches wissenschaftliches Teilproblem dar, in dem Licht, Energie und molekulare Materie miteinander verwoben sind.

Wachstumsbranche mit Zukunftspotenzial

Ähnliche Funktionen kommen den Molekülen zu, um mittels der (Photo-) Katalyse umweltschädigende Substanzen abzubauen oder komplexe Vorgänge in der Erdatmosphäre zu verstehen. Das Forschungsfeld zwischen Licht und Materie gilt neben seiner Bedeutung für viele



Department Science and Technology of Life, Light & Matter



Das Forschungsprogramm des Departments Life, Light and Matter an der Rostocker Universität verknüpft Fragestellungen aus den Fächern Physik, Chemie und Katalyse, Atmosphärenforschung, Ingenieurwissenschaften, Biologie, Medizin, Mathematik und Informatik. Dabei spannen die Katalyse, Fragen der Photonik, der Medizin sowie der Simulationstechniken den Rahmen, der von drei Projektbereichen ausgefüllt wird:

Der Projektbereich **Atomare und Molekulare Prozesse** hat das Ziel, die Grundbausteine und ihre Wirkungen sichtbar zu machen, zu verstehen und schließlich zu steuern. Eine tragende Säule dieser Thematik ist der in Rostock angesiedelte DFG-Sonderforschungsbereich 652, der sich mit dem Zusammenspiel von Licht und Materie befasst.

Im Projektbereich **Rekonstruktion Biologischer Funktionen** wird dieses Wissen genutzt, um mit Hilfe bioaktiver Materialien und neuer Technologien biologische Funktionen zum Beispiel bei Zellen, Blutgefäßen, Sinnesorganen oder dem Knochenbau wieder herzustellen. Auch hier ist es die DFG, die die Arbeiten mit einer Sonderförderung unterstützt, und zwar in dem Transregio: Mikro- und Nanosysteme für die Medizin, gemeinsam mit den Universitäten Hannover und Aachen.

Der Projektbereich **Neue Materialien und Systeme** schafft mit Hilfe von Nanostrukturen und katalytischen Verfahren neue Materialien und Wirkstoffe. Hier befinden sich besonders enge Kontaktstellen zu technischen Anwendungen.

*Ansicht auf den Forschungsbau „Komplexe molekulare Systeme“ des Departments Life, Light and Matter.
Stand 1.9.2010; Bildquelle: Gerber Architekten GmbH*

Wissensgebiete als Wachstumsbranche mit herausragendem Zukunftspotential. Deshalb wurde die Thematik „Komplexe molekulare Systeme“ im Rahmen des Forschungsbau-Programms des Bundes und der Länder gefördert. Damit werden die für eine interdisziplinäre Forschung und Ausbildung im Department LL&M notwendigen räumlichen und geräte-technischen Voraussetzungen geschaf-

fen, da in dem Gebäude Aktivitäten der Fachgebiete Chemie, Physik, Biologie und Medizin sowie der Ingenieurwissenschaften gebündelt werden. Für den Forschungsbau stehen etwa 20 Mio. Euro zur Verfügung, der erste Spatenstich ist noch für dieses Jahr geplant. Ein Anliegen des Rostocker Departments LL&M ist es daher, im Labor erzielte Erfolge nicht auf die Grundlagenforschung zu

beschränken. In enger Zusammenarbeit mit außeruniversitären Forschungsinstituten und Unternehmen wollen wir technische Innovationen möglichst rasch in Produkte und Dienstleistungen umsetzen. So entstehen z. B. Werkzeuge für die Medizin, die mit ultrakurzen Laserpulsen Augenkrankheiten diagnostizieren oder sogar ohne chirurgische Schnitte zur Heilung beitragen. ■

Editorial

Vorwort des Rektors

Prof. Dr Wolfgang Schareck

Wie Naturwissenschaftler, Ingenieure und Mediziner wissenschaftliches Neuland entdecken

Karl-Heinz Meiwes-Broer

2

Atomare und Molekulare Prozesse

Ultrakurze Blitze und der Kraftstoff von morgen

Höllisches Tempo im Molekularbereich hilft neue Energiequellen zu erschließen

Stefan Lochbrunner

3

Moleküle in Bewegung

Oliver Kühn

Vegetationsbrände verändern Böden

Analyse der molekularen Zusammensetzung von organischen Bodensubstanzen

Kristian Kiersch, Peter Leinweber und Ralf Zimmermann

10

15

Ionische Flüssigkeiten – die Allesköninger

Wie flüssige Salze Wissenschaft und Wirtschaft verändern

Ralf Ludwig und Udo Kragl

18

„Leuchtende Nachtwolken“

Mit modernster Lasertechnik den globalen Klimawandel verstehen lernen

Franz-Josef Lübben

20

Planeten im Computer

Ronald Redmer

22

In der Nanowelt ist alles anders

Rostocker Physiker beobachten Elektronen in kleinsten Teilchen

Roland Knauer (freier Journalist)

24

Laserlicht in Glasfasern: Nichtlineare Optik

Im Institut für Physik wird das eigenartige Verhalten von kurzen Laserlichtpulsen in Glasfasern untersucht.

Fedor Mitschke

26

Auf dem Weg zu Kraftstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen

Charakterisierung der Biomassepyrolyse mit Echtzeitmassenspektrometrie

Ralf Zimmermann, Thorsten Streibel und Alois Fendt

28

Ionische Flüssigkeiten – die Allesköninger

Ralf Ludwig und Udo Kragl

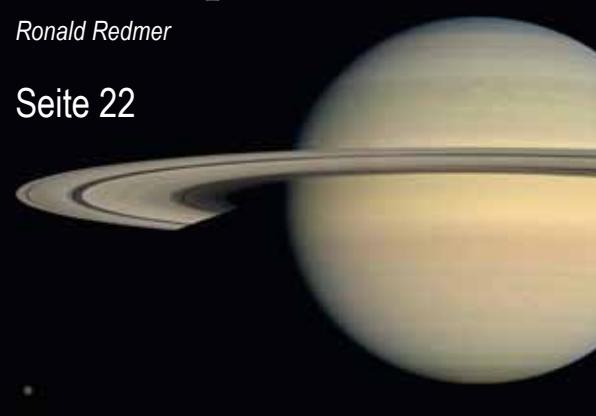
Seite 18



Planeten im Computer

Ronald Redmer

Seite 22



Mit Wasserstoff in die Zukunft

Matthias Beller und Henrik Junge

Seite 31





Zuverlässigkeit und Energieeffizienz in der Nanoelektronik

Stephan Kubisch und Dirk Timmermann

Seite 41



Stents: Große Architektur im Miniformat

Klaus-Peter Schmitz und Katrin Sternberg

Seite 46



Knochenersatz aus dem 3D-Drucker

Hermann Seitz

Seite 52

Neue Materialien und Systeme

Mit Wasserstoff in die Zukunft

31

Matthias Beller und Henrik Junge

Wirkstoffeffekten auf der Spur

33

Patch-on-Chip-System hilft bei Wirkstofftests an lebenden Zellverbänden

Philipp Julian Köster, Carsten Tautorat, Werner Baumann und Jan Gimsa

Entwicklung von neuartigen Koronarstents

36

Fluid- und strukturmechanische Untersuchungen von Stents zur Verminderung des Thromboserisikos

Alfred Leder, Daniel Quasdorf, Heiner Martin, Daniel Lootz und Klaus-Peter Schmitz

Modellkörper

39

Im Computer nachgebildet verstehen

Forscher die Biologie besser

Roland Knauer (freier Journalist)

Zuverlässigkeit und Energieeffizienz in der Nanoelektronik

41

Stephan Kubisch und Dirk Timmermann

Rekonstruktion biologischer Funktionen

44

Neue Methoden zur Erforschung der Alterssichtigkeit

Heinrich Stolz, Oliver Stachs und Rudolf F. Guthoff

Stents: Große Architektur im Miniformat

46

Klaus-Peter Schmitz und Katrin Sternberg

Zell-Material-Interaktion

48

Grenzflächenphänomene an plasma-chemisch und topographisch modifizierten Biomaterialoberflächen

J. Barbara Nebe und Klaus-Dieter Weltmann

Die Informatik der biologischen Zelle

50

Lars Schwabe und Adelinde M. Uhrmacher

Knochenersatz aus dem 3D-Drucker

52

Innovative Fertigungsverfahren ermöglichen die Herstellung maßgeschneiderter Knochenersatzimplantate

Hermann Seitz

Ultrakurze Blitze und der Kraftstoff von morgen

Höllisches Tempo im Molekularbereich hilft
neue Energiequellen zu erschließen

Stefan Lochbrunner

Moleküle, also Verbindungen aus wenigen bis hin zu vielen Atomen, sind die Bausteine der uns umgebenden Materie. Um Stoffeigenschaften, biologische Vorgänge oder Nanotechniken zu verstehen und zu gestalten, ist die Analyse des Verhaltens der beteiligten Moleküle oft der Schlüssel dazu.

Laserpulse zur Beobachtung von Molekülen

Zur Beobachtung dieser werden im Department Life, Light & Matter ultrakurze Laserpulse eingesetzt, um damit Spektroskopie mit extrem hoher Zeitauflösung zu betreiben. Auf diese Weise kann be-

obachtet werden, wie Moleküle sich verändern und umordnen. Zeitweise gelingt mit dem Laserlicht sogar die Steuerung dieser Vorgänge. Dabei muss alles blitzschnell gehen. Molekulare Vorgänge können in extrem kurzen Zeiten ablaufen, weil sich die Akteure aufgrund ihrer winzigen Massen schon bei geringen Energien sehr schnell bewegen. Es werden Zeitspannen bis herab zu 10 Femtosekunden, das heißt ein Hundertstel von einem Millionstel einer Millionstel Sekunde, betrachtet. Diese unvorstellbar kurze Zeit verhält sich zu einer Minute wie eine Minute zum gesamten Zeitalter des Universums.

Moleküle in Aktion

Elektronische Messmethoden sind viel zu langsam, um solche Vorgänge zu beobachten. Dies wurde erst mit der Entwicklung von Lasern möglich, die Lichtblitze mit Pulsdauern im Femto-



Abbildung 1: Aufbau für die Laserspektroskopie mit höchster Zeitauflösung (30 Femtosekunden)



Abbildung 2: Leuchtende Farbstoffe. Sie sollen in Solarzellen das Sonnenlicht absorbieren und die Energie der Lichtteilchen weitergeben.

sekundenbereich erzeugen. Wie in der Fotografie mit Hilfe eines Blitzes ein Standbild von einem laufenden Sportler aufgenommen wird, so werden mit diesen Laserpulsen Momentaufnahmen von Molekülen in Aktion gemacht. Auf diese Weise kann festgestellt werden, wie sich Molekülteile bei einer chemischen Reaktion bewegen, umordnen und neue Verbindungen eingehen. Dadurch lässt sich der Ablauf der Reaktion wesentlich genauer als bisher analysieren, was für die Verbesserung chemischer Verfahren ebenso wie für das Verständnis biomolekularer Vorgänge wichtig ist.

Zeitaufgelöste Spektroskopie

Im Rostocker Sonderforschungsbereich 652 wird die zeitaufgelöste Spektroskopie eingesetzt, um den Energietransport in organischen Materialien zu untersuchen. Das ist ein wichtiger Aspekt bei der Entwicklung von Solarzellen. Im Zentrum steht die Suche nach Materialien, in denen die Energie des absorbierten

Lichtes über relativ weite Strecken wandern kann. Denn die Energie muss in der Zelle die Zonen erreichen, in denen die für den Strom notwendigen Ladungen erzeugt werden. Daher führt eine hohe Mobilität der absorbierten Energie zu einer höheren Ausbeute. Ein weiteres Anwendungsfeld ist die Photokatalyse. Auch hier wird Sonnenlicht als Energiequelle eingesetzt, aber nun um chemische Reaktionen zu treiben.

Der Erfolg in beiden Themenbereichen kann über die Energiebasis der Zukunft entscheiden.

Mit dem Rostocker Leibniz Institut für Katalyse wird daran gearbeitet, auf diese Weise effizient Wasserstoff zu erzeugen. Wasserstoff ist ein vielversprechender Kraftstoff, da bei seiner Verbrennung kein Kohlendioxid, sondern nur Wasser entsteht. Eines der weltweit gravierendsten Energieprobleme – der Treibhauseffekt – wäre damit entschärft. ■

Der Autor



Prof. Dr. rer. nat. Stefan Lochbrunner

1967 in Regensburg geboren; Physikstudium an der TU München; 1997 Promotion am MPI für Quantenoptik; 1999 Forschungsaufenthalt am Steacie Institute for Molecular Sciences, Ottawa; 2004 Habilitation an der LMU München; seit 2007 Professor für Experimentalphysik an der Universität Rostock

Forschungsthemen:
Dynamik molekularer Systeme und Materialien, Ladungs- und Energietransfer, ultraschnelle Photoreaktionen, Wellenpaketsdynamik, ultrakurze Laserpulse

Universität Rostock
Institut für Physik
Universitätsplatz 3, 18055 Rostock
Fon +49(0)381 498-6960
Mail stefan.lochbrunner@uni-rostock.de
www.physik.uni-rostock.de/dynamics

Moleküle in Bewegung

Oliver Kühn

Die molekulare Welt befindet sich in ständiger Bewegung. Ein Blick auf die spiegelglatte Oberfläche der Warnow beispielsweise verrät dem menschlichen Auge jedoch nicht, welche faszinierenden Prozesse sich auf molekularer Ebene im Wasser abspielen. Wassermoleküle, H_2O , gehen beständig neue Bindungen untereinander ein, sogenannte Wasserstoffbrückenbindungen, um sie kurz darauf wieder zu brechen und sich einen neuen Partner zu suchen. Die dabei stattfindende Schwingungsbewegung eines Wasserstoffatoms, H, vollzieht sich in dem unvorstellbar kurzen Zeitbereich von einigen Femtosekunden (1 Femtosekunde = 0,000 000 000 000 001 Sekunden). Obwohl man zunächst der Meinung sein könnte, dass derartige

Phänomene für unsere makroskopische Welt keine Bedeutung haben, ist es jedoch das konzertierte Zusammenspiel des Netzwerks von Wasserstoffbrücken, welches für die Eigenschaften des Wassers verantwortlich ist.

Dies setzt sich in anderen Bereichen der molekularen Welt fort, d. h. komplexe Prozesse lassen sich oftmals auf elementare Schritte wie dem Aufbrechen von chemischen Bindungen oder dem Transfer von Ladungen oder Energie zurückführen. Die Untersuchung dieser elementaren physikalischen Phänomene führt zunächst zum Verständnis von Vorgängen in der Natur selbst. Darüber hinaus werden völlig neue Möglichkeiten eröffnet, die sich durch die Anwendung

von Konzepten, z. B. zum Design von Bauelementen im Nanometerbereich für die molekulare Elektronik, ergeben.

Eine Katze springt eine Strecke von 10 cm innerhalb von 0,05 s. Das Fotografieren von derartigen Bewegungsabläufen in der Tierwelt, die sogenannte Chronofotografie, wurde im späten 19. Jahrhundert möglich, wobei man sich zunächst sukzessiv auslösender Fotoapparate bediente. In 10 Femtosekunden bewegt sich ein Atom typischerweise um eine Strecke von 0,000 000 000 01 m. Für das „Fotografieren“ molekularer Bewegung bedurfte es also völlig neuer physikalischer Erkenntnisse und Konzepte, die mit der Entwicklung des Lasers möglich wurden. Der Durchbruch kam Ende der 1980er-Jahre, als es der Gruppe um den späteren Nobelpreisträger A. H. Zewail erstmals gelang, mit extrem kurzen „Laserblitzen“ den Bruch einer chemischen Bindung auszulösen und in Echtzeit zu beobachten. Die Technik ist heute in vielen experimentellen Laboren verbreitet und wird auch durch Arbeitsgruppen am Department Light, Life & Matter intensiv genutzt.

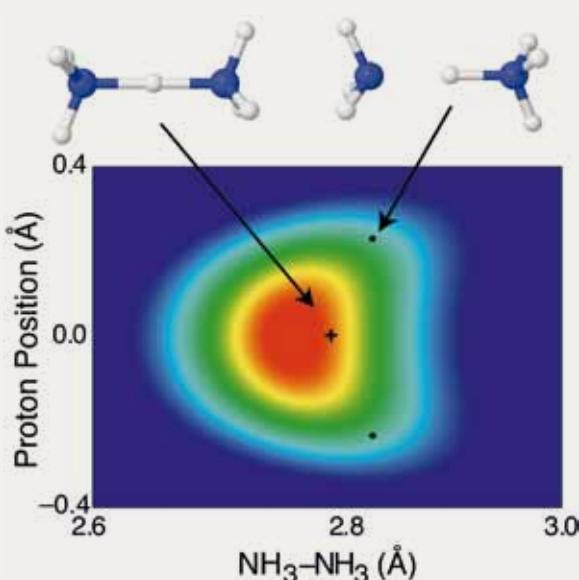


Abbildung 1: Quantenmechanische Wahrscheinlichkeitverteilung für die Position des Protons und den Abstand der Ammoniakmoleküle im protonierten Ammoniakdimer. Die Punkte entsprechen den klassischen Werten, für die eine asymmetrische Struktur (oben rechts) vorliegt. Die symmetrische Struktur (oben links, Erwartungswert mit Kreuz markiert) ist eine Folge der Nullpunktsschwingung.

Im Bereich der Atome und Moleküle sind es nicht die Gesetze der klassischen Mechanik, die wir aus täglicher Erfahrung kennen, sondern die der Quantenmechanik, welche die Bewegungsabläufe bestimmen. Dazu gehört die Beschreibung durch Wahrscheinlichkeiten, die zur Folge hat, dass z. B. der Aufenthaltsort eines Atoms im Raum „verschmiert“ ist. Auch bei der Wechselwirkung von Molekülen mit dem Licht, z. B. eines Lasers, kommt die Quantenmechanik zum Tragen. So kann ein Molekül nicht Licht beliebiger Wellenlänge absorbieren und emittieren und die entsprechenden Spektren können als charakteristischer molekularer Fingerabdruck zur Identifizierung genutzt werden.

Vor diesem Hintergrund beschäftigt sich meine Arbeitsgruppe „Molekulare Quantendynamik“ am Institut für Physik mit der theoretischen Beschreibung und numerischen Simulation molekularer Elementarprozesse insbesondere auf ultrakurzen Zeitskalen. Im Rahmen des Departments Light, Life & Matter werden dabei speziell Brücken zur Chemie sowie zur Bodenkunde geschlagen. Einige

Beispiele aus unserer Arbeit werden im Folgenden näher erläutert.

Quantenmechanik bestimmt die molekulare Struktur von Clustern

Protonierte Cluster, d. h. positiv geladene Komplexe aus einigen wenigen über Wasserstoffbrückenbindungen zusammengehaltenen Molekülen, bilden ein wichtiges Strukturmotiv insbesondere in biologischen Systemen. Dazu gehören die intensiv erforschten Wassercluster, die u. a. als Protonendrähte in Proteinen fungieren, oder die in unserer Arbeitsgruppe untersuchten protonierten Ammoniakcluster. Letztere findet man beispielsweise bei Ammoniakanälen in Zellmembranen, die für den Stickstoffmetabolismus von Pflanzen und Bakterien wichtig sind. Neben diesen in der Natur vorkommenden Systemen, gibt es Bestrebungen, Nanodrähte für den Transport von Protonen durch speziell angeordnete Ammoniakmoleküle zu realisieren. Besonders interessante Eigenschaften hat der kleinste Cluster,

bei dem ein Proton zwei Ammoniakmoleküle verbindet (siehe Abbildung 1). Nach den Gesetzen der klassischen Newtonschen Mechanik würde dieser Cluster eine Struktur annehmen, bei der sich das zentrale Proton an einem der beiden Ammoniakmoleküle befindet. Durch quantenmechanische Simulationen konnten wir jedoch zeigen, dass die Aufenthaltswahrscheinlichkeit des Protons symmetrisch bezüglich der Verbindungslinie der Stickstoffatome ist. Grund dafür ist die quantenmechanische Nullpunktsschwingung des Protons, eine Konsequenz der Heisenbergschen Unschärferelation. Beobachten kann man den Effekt dieser Symmetrisierung mit spektroskopischen Mitteln, wobei das detaillierte Studium von derartigen Clustern in der Gasphase erst mit der Entwicklung von Freie-Elektronen-Lasern in den vergangenen Jahren möglich wurde. In Kooperation mit der Arbeitsgruppe von Dr. K. Asmis (Fritz Haber Institut Berlin) konnten wir zeigen, dass sich die Wellenlänge der durch das Proton absorbierten Infrarotstrahlung durch die quantenmechanische Symmetrisierung um einen Faktor 5 im Vergleich zum klassischen Fall ändert. Die genaue

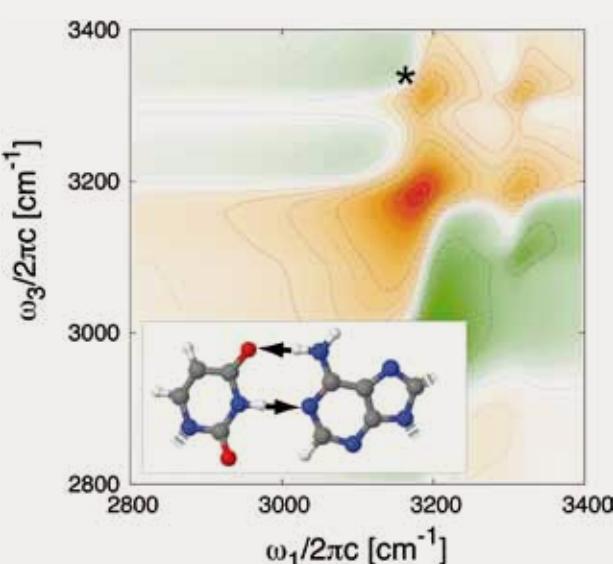


Abbildung 2: Signal der zweidimensionalen Schwingungsspektroskopie eines modifizierten Nukleinsäurebasenpaars in Lösung. Gezeigt ist der Bereich der NH-Streckschwingungen der Wasserstoffbrücken (durch Pfeile markiert). Entlang der Koordinatenachsen sind die Frequenzen der Antwort des molekularen Systems auf die Wechselwirkung mit zwei Laserfeldern aufgetragen. Aus der Form des mit einem Stern gekennzeichneten Maximums kann man Rückschlüsse auf die korrelierte Schwingungsdynamik der Basenpaare ziehen.

Zuordnung von Absorptionsspektren ermöglicht die Identifizierung derartiger prototypischer Strukturmotive auch in komplexeren Systemen.

Dynamik von DNS-Bausteinen

Eines der prominentesten Beispiele für Wasserstoffbrücken ist die Doppelhelix der Desoxyribonukleinsäure (DNS). Diese speichert den genetischen Code in Form der über Wasserstoffbrücken verbundenen Nukleinsäurebasen Adenin, Thymin, Guanin und Cytosin. Dabei hat man zunächst ein statisches Bild vor Augen, welches die Mittelwerte der thermischen Bewegung der Atome widerspiegelt. Bei der damit verbundenen Temperatur handelt es sich für gewöhnlich um die Körpertemperatur des betrachteten Organismus. Nun haben die Basenpaare aber noch eine andere wichtige Eigenschaft, die essentiell für die Stabilität der Erbinformation speziell in der Frühphase der Entwicklung war, als die Erde im Vergleich zu heute noch stärker hochenergetischer Strahlung im ultravioletten Spektralbereich ausgesetzt gewesen ist. Basenpaare wirken wie Photostabilisatoren, d. h. die absor-

bierte Energie der Sonnenstrahlung wird innerhalb einiger 100 Femtosekunden in Schwingungsenergie zunächst der Basenpaare umgewandelt. Mit anderen Worten: Die Basenpaare werden lokal aufgeheizt und daran anschließend wird die Energie auf die weiteren DNS-Bestandteile und die Umgebung verteilt. Es ist weitgehend ungeklärt, wie diese ersten Prozesse der Schwingungsenergieumverteilung, ausgehend von den Wasserstoffbrücken, stattfinden.

In unserer Arbeit beschäftigen wir uns mit der Schwingungsdynamik der Wasserstoffbrücken von Basenpaaren auf der Grundlage von ab initio (d. h. auf grundlegenden Prinzipien beruhenden) Methoden. Dabei ist es hilfreich, zunächst einzelne Basenpaare, wie das in Abbildung 2 gezeigte modifizierte Adenin-Uracil-Paar, in Lösung zu untersuchen. Hier sind es wieder spektroskopische Experimente, die wir zur Charakterisierung vor Augen haben. Im statischen Fall wird z. B. die Schwingung eines Wasserstoffatoms in der Wasserstoffbrücke zur Absorption eines Photons bei genau einer charakteristischen Wellenlänge führen. Aufgrund der thermischen Bewegung der Atome ändern sich jedoch die Kräfte auf das

Wasserstoffatom ständig und damit auch die Wellenlänge für die Absorption. Dies führt dazu, dass das Absorptionspektrum nicht aus einer Linie, sondern aus einer breiten Bande besteht. Detaillierte Information über die Dynamik der Fluktuation der Absorptionswellenlänge sind mit nur einem absorbierten Photon nicht zugänglich. Dazu muss man, wie in den bereits erwähnten Experimenten von Zewail, zwei Laserpulse verwenden, wobei der erste die Schwingungsdynamik gezielt beeinflusst und der zweite die daraus resultierenden Änderungen beobachtet. Damit ist es möglich, die typische Zeitskala für den Schwingungsenergiefluss zu bestimmen, die im vorliegenden Beispiel ca. 400 fs ist. Da wir es bei den Basenpaaren nicht nur mit einer Wasserstoffbrücke zu tun haben, stellt sich die interessante Frage, inwieweit die Dynamik der H-Brücken miteinander korreliert ist. Die Antwort darauf ermöglicht eine Technik der Ultrakurzzeitspektroskopie, die sich erst in den letzten Jahren als mächtiges Werkzeug entwickelt hat: die zweidimensionale Infrarot-Spektroskopie. Dabei wirken die Schwingungen der beiden Wasserstoffatome wie Antennen, die Auskunft über die Änderung der Längen der beiden Wasserstoffbrücken und damit auch

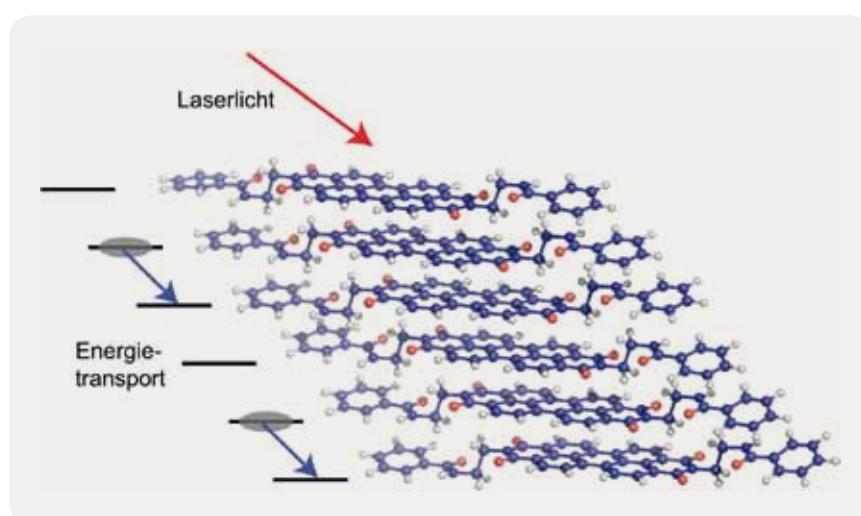


Abbildung 3: Molekulares Aggregat bestehend aus mehreren Farbstoffmolekülen. Die bei der Absorption von Licht aufgenommene Energie kann durch das Aggregat als Anregungszustand (graue Ellipsen) transportiert werden. Die Transporteigenschaften sowie die Wechselwirkung zwischen mehreren gleichzeitig vorhandenen Anregungszuständen sind Gegenstand unserer Untersuchungen.

über den Abstand zwischen den beiden Basenpaaren geben. Eine theoretische Vorhersage für ein entsprechendes Mess-Signal, die auf Berechnungen von Dr. Yun-an Yan in meiner Arbeitsgruppe basiert, ist für den Fall des Adenin-Uracil-Paars in Abbildung 2 zu sehen. Aus der Form des markierten Signals kann man ablesen, dass die Fluktuationen der beiden Wasserstoffbrücken positiv korreliert sind, d. h. dass die beiden Bindungsabstände gleichphasig periodisch moduliert werden.

Artifizielle Photosynthese

Die Lösung des Energieproblems ist zweifelsohne von hoher Priorität und die Sonne als unbegrenzte Energiequelle spielt dabei eine herausragende Rolle. Das Problem der Umwandlung der solaren Strahlungsenergie in eine nutzbare Form ist im Prinzip in der Natur durch die Photosynthese gelöst. Hier hat die Verbindung von Ultrakurzzeitspektroskopie und Röntgenstrukturaufklärung in den letzten 15 Jahren wesentlich zum Verständnis speziell der primären Lichtreaktionen beigetragen. So sind z. B. Struktur und Funktion von bakteriellen Photosyntheseapparaten sehr gut verstanden. Die untersuchten Purpurbakterienarten zeichnen sich beispielsweise dadurch aus, dass die Photonen in sogenannten Lichtsammelantennen eingefangen und dann in Form von elektronischer Anregungsenergie zu einem Reaktionszentrum transportiert werden. Die Lichtsammelantennen bestehen aus kreisförmig um das Reaktionszentrum angeordneten Pigment-Protein-Komplexen und wirken als Energieträger. Inspiriert durch die Entdeckungen von Konstruktions- und Wirkungsprinzipien in der Natur gelangte ein alter Traum wieder in

den Fokus: die artifizielle Photosynthese im Sinne einer gezielten Umwandlung von Licht in speicherbare und im Weitern nutzbare Energieformen.

Vor diesem Hintergrund sind wir in zwei Richtungen aktiv. Im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 652 untersuchen wir gemeinsam mit der experimentellen Arbeitsgruppe von Prof. Stefan Lochbrunner die Eigenschaften von aus Farbstoffmolekülen aufgebauten molekularen Aggregaten, siehe Abbildung 3. Dabei geht es zunächst um prinzipielle Fragen, z. B. die Geschwindigkeit des Anregungsenergetransports und die darauf einwirkenden Faktoren betreffend. Spannend ist auch das Verhalten von mehreren gleichzeitig im Aggregat vorhandenen Anregungszuständen. Ein Zustand mit mehreren Anregungen ist aus der Sicht potentieller Anwendungen interessant, erhöht er doch die Energie dichte. Dem entgegen wirkt der Umstand, dass das Zusammentreffen zweier Anregungen auf einem Molekül dazu führt, dass eine Anregung ausgelöscht und die dabei freiwerdende Energie in Wärme umgewandelt wird. Die Frage, der wir uns nun stellen, betrifft einerseits den genauen Mechanismus dieser Ausschaltung, andererseits die Möglichkeit, diesen Prozess gezielt, z. B. mit geeignetem Laserlicht, zu beeinflussen.

Ein weiteres Projekt ist in das, im Rahmen des BMBF-Programms „Spitzenforschung und Innovation in den Neuen Ländern“ bewilligte, in Rostock unter Federführung des Leibniz-Instituts für Katalyse laufende, Vorhaben „Light2Hydrogen“ eingebettet. Gegenstand dieses Vorhabens ist Schaffung der Grundlagen zur direkten Nutzung des Sonnenlichts für die Wasserstoffgewinnung aus Wasser. Unser Schwerpunkt liegt dabei auf der theoretischen Untersuchung von

Der Autor



Prof. Dr. rer. nat. Oliver Kühn

Physikstudium an der Humboldt-Universität zu Berlin; 1995 Promotion an der Humboldt-Universität; 1995 – 1997 Postdoctoral Fellow an der University of Rochester (USA) und an der Universität Lund (Schweden) als Stipendiat des DAAD; 2000 Habilitation an der Freien Universität Berlin; 2002 – 2003 Gastprofessor am Institute for Molecular Science in Okazaki, Japan; 2004 – 2007 Oberassistent am Institut für Chemie der Freien Universität; seit 2008 Professor für Theoretische Physik an der Universität Rostock

Forschungsschwerpunkte:
Theoretische Molekülfysik, Quantendynamik in Gas- und kondensierter Phase, Ultrakurzzeitspektroskopie, Ladungs- und Energietransport, Laserkontrolle

Universität Rostock
Institut für Physik
Wismarsche Str. 43–45, 18057 Rostock
Fon +49(0)381 498-6950
Mail oliver.kuehn@uni-rostock.de

Modellsystemen der photokatalytischen Wasserspaltung.

Vom Beobachten zum Gestalten

Traditionelle Methoden der Kontrolle z. B. von chemischen Reaktionen basieren auf Veränderungen von Parametern wie Temperatur, Konzentration etc. und sind in der Regel nicht sehr spezifisch, da nur Gleichgewichtsbedingungen in

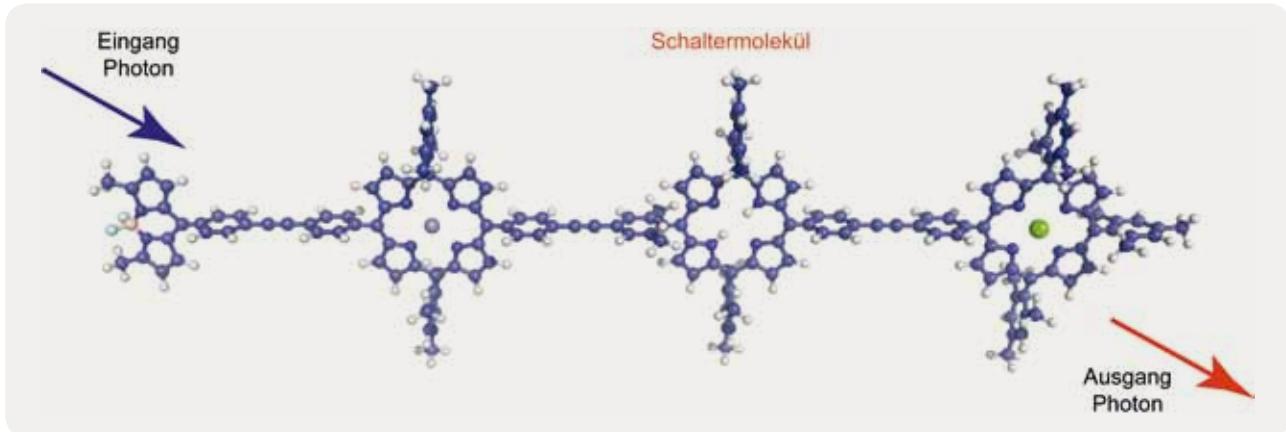


Abbildung 4: Molekularer Draht für den Transfer von Anregungsenergie (Photonendraht). Ein Donatormolekül (links) absorbiert zunächst ein Photon, die damit verbundene Anregungsenergie wird über Brückenmoleküle zu einem Akzeptormolekül (rechts) transportiert, welches die Energie in Form eines Photons wieder abgibt. Durch Beeinflussung z. B. der Position der Wasserstoffatome (weiß) im als Schalter bezeichneten Brückenmolekül, können die Transporteigenschaften modifiziert werden.

einem statistischen Ensemble von Molekülen verändert werden. Mit der Erfahrung des Lasers in den 1960er-Jahren glaubte man der Erfüllung des Traums der Kontrolle elementarer molekularer Prozesse, wie dem gezielten Aufbrechen von Bindungen, nahe gekommen zu sein. Es bedurfte jedoch mehrerer Jahrzehnte intensiver Forschung, bevor dieser Traum in den 1990er-Jahren Realität wurde. Auf theoretischer Seite wurde z. B. erkannt, wie man quantenmechanische Effekte bei der Wechselwirkung der Moleküle mit dem Laserlicht gezielt ausnutzen kann. In experimenteller Hinsicht gelang es, Methoden zu entwickeln, mit denen nahezu beliebig strukturiertes Laserlicht erzeugt werden kann.

Meine Arbeitsgruppe entwickelt theoretische Szenarien für die Laserkontrolle molekularer Dynamik in unterschiedlichen Situationen. Ein aktuelles Beispiel knüpft an die bereits genannte Problematik des Energietransfers in molekularen Aggregaten an. In Abbildung 4 ist ein Aggregat gezeigt, dass sich dadurch auszeichnet, dass die Energie eines Photons gezielt an einem Donatormolekül aufgenommen und an einem Ak-

zeptormolekül abgegeben wird. Damit transportiert dieses Aggregat, dessen Länge durch weitere zwischen Donator und Akzeptor eingebrachte Brückenmoleküle vergrößert werden kann, Photonen auf einer Nanometerskala und wird als Photonendraht zur Realisierung elementarer Funktionen für nanoskalige Bauelemente diskutiert. Der Anregungsenergietransport hängt im vorliegenden Fall von der Position der beiden zentralen Wasserstoffatome in dem als Schalter fungierenden Brückenmolekül ab. Im Rahmen seiner Doktorarbeit geht Mahmoud Abdel-Latif nun der Frage nach, inwieweit die Position der zentralen H-Atome durch Laserlicht gezielt beeinflusst werden kann. Gelingt dies, könnte der Transport von Anregungsenergie auf einer Zeitskala von ungefähr einer Pikosekunde (= 1000 fs) geschaltet werden.

Eine weitere Klasse von Systemen, die im Fokus unserer Arbeit stehen, sind metallorganische Komplexe. Diese spielen insbesondere in biologischen Systemen eine große Rolle. Beispiele sind Enzyme oder das von uns untersuchte Myoglobin, ein Protein, welches für die Sauerstoff-

speicherung im Blut der im Meer lebenden Säugetiere verantwortlich ist. Neben Sauerstoff kann das aktive Zentrum des Proteins auch durch Kohlenmonoxid besetzt und damit „vergiftet“ werden. Um herauszufinden, welche Wechselwirkungen dabei eine Rolle spielen, führen wir u. a. Simulationen mit dem Ziel durch, die Bindung zwischen dem Kohlenmonoxid und dem Eisenatom des aktiven Zentrums gezielt aufzubrechen.

Die aufgeführten Beispiele sollten illustrieren, dass sich die Theoretische Molekulphysik in den vergangenen Jahren hin zu immer komplexer werdenden Systemen entwickelt hat. Ermöglicht wird dies einerseits durch die verfügbare Leistung parallel arbeitender Rechnercluster sowie durch die Weiterentwicklung numerischer Methoden zur Lösung quantenmechanischer Probleme. Auf der anderen Seite hat insbesondere die Zusammenarbeit von Theorie und Experiment auf dem Gebiet der Ultrakurzzeitspektroskopie entscheidend zum aktuellen Kenntnisstand beigetragen. Dabei sind die traditionellen Grenzen zwischen den Disziplinen längst verschwunden und Interdisziplinarität wird täglich gelebt. ■

Vegetationsbrände verändern Böden

Analyse der molekularen Zusammensetzung von organischen Bodensubstanzen

Kristian Kiersch, Peter Leinweber und Ralf Zimmermann

Die Verbrennung von Biomasse setzt jährlich rund 6 Mrd. t Kohlenstoff (C) frei. Sie hat den CO₂-Anstieg in der Atmosphäre und letztlich den globalen Klimawandel initiiert. Umgekehrt haben Langzeituntersuchungen gezeigt, dass

die Stärke und Frequenz von Vegetationsbränden mit der Erderwärmung zugenommen haben. So verbrennen jährlich bis zu 56 Mio. km² Wald, ausgelöst durch natürliche Ereignisse, wie z. B. Blitzeinschläge oder durch den mensch-

lichen Einfluss (Abbildung 1). Deshalb ist es nicht verwunderlich, dass der Einfluss von Vegetationsbränden auf Ökosysteme und deren Böden angesichts des globalen Klimawandels verstärkt in den Fokus der Forschung rückt. Diese Thematik ist Gegenstand eines aktuellen interdisziplinären Forschungsprojektes im Bereich „Atomare und Molekulare Prozesse“ des Departments „Science and Technology of Life, Light and Matter“ in der Interdisziplinären Fakultät (INF).

Methodische Probleme und Lösungsansätze

Bei Vegetationsbränden kommt es zur Bildung von leichtflüchtigen bis schwer abbaubaren aromatischen Verbindungen aus der Biomasse sowie zu hitzebedingten Veränderungen der organischen Bodensubstanz (OBS), die bekanntlich zu den kompliziertesten organischen Molekülstrukturen in der Natur gehören. Die hitzebedingt entstandenen stabilen Verbindungen stellen möglicherweise eine wichtige Senke in den globalen C- und N-Kreisläufen dar, und würden somit der CO₂-Anreicherung in der Atmosphäre entgegenwirken. Die Erforschung der geochemischen Prozesse auf molekularer Ebene, die diese Senkenfunktion bedingen, ist methodisch kompliziert. Die gängigsten Methoden sind derzeit die gaschromatographisch-massenspektrometrische Bestimmung von Markersubstanzen wie aromatische Polycarbonsäuren, die Thermogravimetrie, teilweise gekoppelt mit massenspektrometrischen (MS)-Techniken, die



*Abbildung 1: Wald in den Rocky Mountains (Kanada) nach einem Vegetationsbrand
(Foto: Peter Leinweber, Juni 2009)*

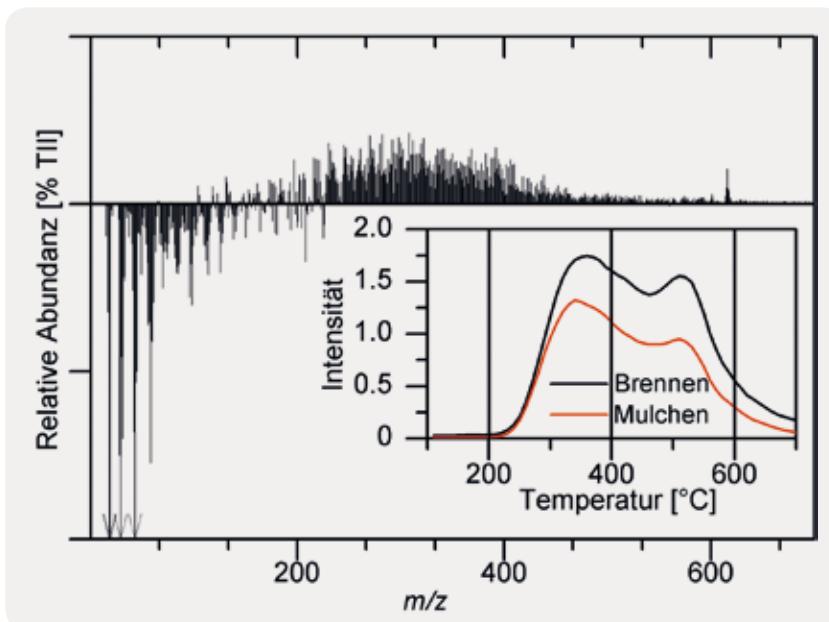


Abbildung 2: Differenz-Pyrolyse-Feldionisation Massenspektren: „Brennen“ minus „Mulchen“ und die entsprechenden Thermogramme der Gesamtionenintensität (unten rechts)

¹³C- und ¹⁵N-Festkörper-Kern(spin)-resonanz (NMR) Spektroskopie sowie hoch- und ultra-hochauflösende MS-Techniken. Die auf Basis eines INF-Stipendiums durchgeführten Forschungsarbeiten verfolgen nun das Ziel, schnelle und sensitive Methoden zu entwickeln, mit denen die Strukturen dieser ubiquitären pyrolysierten organischen Substanzen sowie ihre Verteilung und Reaktivität in der Umwelt sicher erfasst werden kön-

nen. Die interdisziplinäre Arbeitsgruppe aus den Bereichen Bodenkunde (Prof. Peter Leinweber) und Analytischer Chemie (Prof. Ralf Zimmermann) mit Dipl.-Chem. Kristian Kiersch als Doktoranden will verbesserte Analysetechniken entwickeln, mit denen die pyrolysierte Biomasse und andere durch Hitzeeinwirkung entstandene zyklische Verbindungen in Böden vor dem Hintergrund der nativen OBS und anthropogener Ein-

träge von z. B. Ruß und Kohlenstäuben bestimmt werden können.

Erste Ergebnisse aus Parzellen von Bracheversuchen

Der Ansatz ist multi-methodisch und basiert auf Proben aus Labor- und kontrollierten Feldversuchen sowie aus realen Brandereignissen in der Landschaft. Erste vielversprechende Ergebnisse liegen von Proben aus einem Feldversuch vor, in dem Parzellen jeweils periodisch gemulcht, abgebrannt oder der natürlichen Sukzession überlassen wurden. Die Pyrolyse-Feldionisation Massenspektrometrie (Py-FIMS) zeigte eine Verschiebung der thermischen Freisetzung der organischen Substanzen zu höheren Temperaturen in der abgebrannten im Vergleich zu der gemulchten Variante (Abbildung 2). Dies äußert sich vor allem in der Verschiebung des ersten Maximums von 370 °C (Mulchen) zu 390 °C (Brennen) und in der Zunahme des zweiten Maximums bei der Variante „Brennen“ in Relation zum ersten Maximum. Noch deutlicher sind die Unterschiede zwischen beiden Varianten in den Signalmustern der Massenspektren

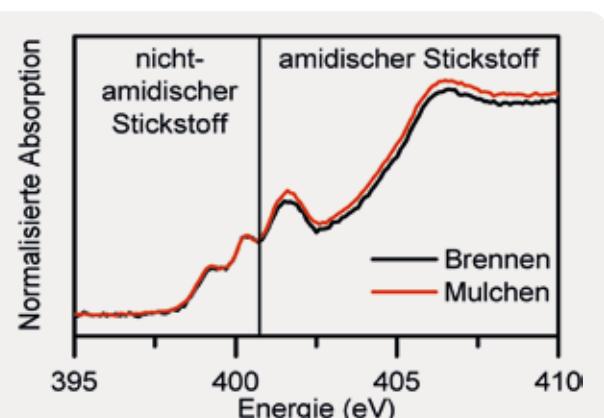


Abbildung 3: Überblick über den Speicherring des Synchrotrons „CLS“ (links; Foto: Kristian Kiersch) und N XANES-Spektren von Bodenproben aus den Varianten „Brennen“ und „Mulchen“ eines Feldversuches in Baden-Württemberg (rechts)

anhand des in Abbildung 2 dargestellten Differenzspektrums. Dies zeigt den höheren prozentualen Anteil von Molekülen mit $m/z > 200$ in der Variante „gebrannt“ im Vergleich zu „Mulchen“. Diese Veränderung ist mit hitzebedingter Freisetzung von niedermolekularen Verbindungen in die Atmosphäre oder ihre Umwandlung in höhermolekulare Substanzen zu erklären. Besonders deutlich werden solche Stoffumwandlungen durch das Auftreten von $m/z > 600$, die nur in den Massenspektren der Variante „gebrannt“ detektiert wurden (Abbildung 2). Diese Proben wurden bereits mit Röntgenabsorptionsspektroskopie (C und N XANES) am Synchrotron „Canadian Light Source“ (CLS) in Saskatoon, Kanada, untersucht (Abbildung 3). Die N XANES-Spektren beider Proben wiesen auf drei Verbindungsklassen hin, und zwar Heterocyclen und Nitrile (399,2 und 400,3 eV) sowie Amide (401,6 eV). In der Variante „Brennen“ nahm die Intensität im amidenischen Bereich ab, was mit der bereits erwähnten N-Freisetzung bei Bränden erklärt wird.

In weiteren Untersuchungen werden Proben aus Laborexperimenten, in denen die Hitzeeinwirkung auf den Boden unter kontrollierten Bedingungen simuliert wird, sowie von realen Brandereignissen bearbeitet. Die einzusetzenden und auf diese Problemstellung zu optimierenden Techniken umfassen zum einen die Py-FIMS, die C und N XANES in Kombination mit Röntgentransmissionsmikroskopie (engl. Scanning Transmission X-ray Microscopes – STXM) sowie Kopplungen von Pyrolysetechniken und thermischer Analysen mit Photoionisations-Massenspektrometrie (SPI- bzw. REMPI-MS) sowie mit GC / MS-Analytik. Schließlich wird diese Forschung auch ein erstes Anwendungsbereich der Analytik mit einem neuen Fouriertrans-

Die Autoren



Prof. Dr. rer. nat. Ralf Zimmermann

geboren 1963; Studium der Chemie und Physik an der Technischen Universität München und Ludwig-Maximilians-Universität München; Promotion 1995; Habilitation 2001; 2001 – 2008 Professor für Analytische Chemie an der Universität Augsburg, Arbeitsgruppenleiter am GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit (heute Helmholtz-Zentrum München), Abteilungsleiter am bifa Umweltinstitut GmbH; seit 2008 Professor für Analytische Chemie an der Universität Rostock; Mitglied der Interdisziplinären Fakultät (LLM) und Leiter des gemeinsamen Massenspektrometrie-Zentrums der Universität Rostock und des Helmholtz Zentrums München; Entwicklung von Massenspektrometrie- und Kopplungstechniken, multidimensionale chromatographische Verfahren, massenspektrometrische Analytik von Verbrennungs- und Pyrolyseprodukten und thermischen Prozessen, Metabolomics und Atemgasanalytik sowie Aerosolforschung

Universität Rostock

Institut für Chemie
Dr.-Lorenz-Weg 1, 18059 Rostock
Fon +49(0)381 498-6460
Mail ralf.zimmermann@uni-rostock.de



Dipl.-Chem. Kristian Kiersch

geboren 1983; Studium der Chemie an der Universität Rostock; seit April 2009 Promotionsstipendiat der Interdisziplinären Fakultät – Department Life, Light and Matter der Universität Rostock

Universität Rostock

Institut für Landnutzung
Justus-von-Liebig-Weg 6, 18059 Rostock
Fon +49(0)381 498-3190
Mail kristian.kiersch@uni-rostock.de



Prof. Dr. agr. Peter Leinweber

geboren 1959; Studium der Landwirtschaft an der Universität Rostock; Promotion 1988; Habilitation 1994; seit 1998 Professor für Bodenkunde an der Universität Rostock; Mitglied der Interdisziplinären Fakultät (LLM) und des gemeinsamen Massenspektrometrie-Zentrums der Universität Rostock

Forschungsschwerpunkte:

Organische Bodenstoffe, Nähr- und Schadstoffverhalten in Böden

Universität Rostock

Institut für Landnutzung
Justus-von-Liebig-Weg 6, 18059 Rostock
Fon +49(0)381 498-3120
Mail peter.leinweber@uni-rostock.de

formations-Ionencyclotronresonanz-Massenspektrometer (FT-ICRMS), das nach der erfolgten Genehmigung des entsprechenden Großgeräteantrags (HBFG INST 26 / 56-1 FUGG) gegenwärtig beschafft und die analytische Ausstattung des Departments „Science and Technology of Life, Light and Matter“ deutlich verbessern wird. ■

Ionische Flüssigkeiten – die Allesköninger

Wie flüssige Salze Wissenschaft und Wirtschaft verändern

Ralf Ludwig und Udo Kragl

Ionische Flüssigkeiten und ihre Eigenschaften stehen wie schon vor rund einhundert Jahren heute wieder im Fokus unserer Forschung. Bereits 1914 stellte der Chemiker Paul Walden das erste „flüssige Salz“ her. In Erinnerung an den Rostocker Gelehrten (1919–1934) verleiht ein Schwerpunktprogramm der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) jährlich einen Preis für herausragende Forschung auf dem Gebiet der ionischen Flüssigkeiten. Der erste Preisträger, Prof. Hiroko Ohno, Universität Tokyo, erhielt im Dezember 2008 diese Auszeichnung in Rostock. Nicht nur wegen Paul Walden fiel die Wahl auf die Hansestadt. Aktuell sind vier Forschergrup-

pen aus der Rostocker Chemie in dem Forschungsprogramm der DFG aktiv. Fast einhundert Jahre nach Herstellung der ersten ionischen Flüssigkeit konnten Rostocker Chemiker nun deren Struktur aufklären. Das von Walden synthetisierte Ethylammoniumnitrat bildet ein ähnliches Netzwerk aus Wasserstoffbrücken wie das Lebenselixier Wasser. Solche Wasserstoffbrücken sind nicht nur für das Leben und biologische Funktionen wichtig. Sie bestimmen ebenfalls die Eigenschaften von ionischen Flüssigkeiten und damit auch mögliche technische Anwendungen. Ionische Flüssigkeiten sind „flüssige Salze“ und bestehen aus geladenen Teilchen, den negativen Anio-

nen und den positiven Kationen. Obwohl solche Substanzen schon lange bekannt sind, wurden ihre nahezu unbegrenzten Möglichkeiten erst in den letzten Jahren erkannt. Wie herkömmliche Salze leiten ionische Flüssigkeiten den elektrischen Strom, sind aber bei Raumtemperatur flüssig. Sie könnten industrielle Anwendungsbereiche revolutionieren, so bei der Herstellung und Verarbeitung von Cellulose, bei der Entwicklung von Solarzellen oder in der Metallverarbeitung.

Gezielte Suche nach besonderen Eigenschaften

Auf der Suche nach den gewünschten Eigenschaften müssen die geladenen Teilchen geeignet kombiniert werden. Zielloses Ausprobieren hilft hier nicht weiter. Bereits die Kombination der bisher bekannten Anionen und Kationen führt auf die astronomische Zahl von einer Billiarde Möglichkeiten. Aber die Herstellung so vieler ionischer Flüssigkeiten ist weder machbar noch wünschenswert. Vielmehr ist es das Ziel, die physikalisch-chemischen Merkmale der „flüssigen Salze“ zu verstehen, um mit geeigneten Kombinationen der Ionen die gewünsch-



Abbildung 1: 3-Phasen-System mit ionischer Flüssigkeit

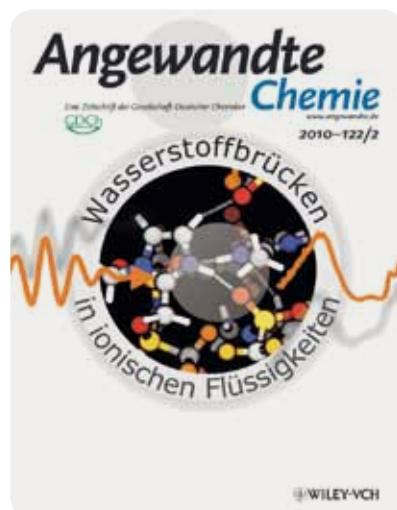
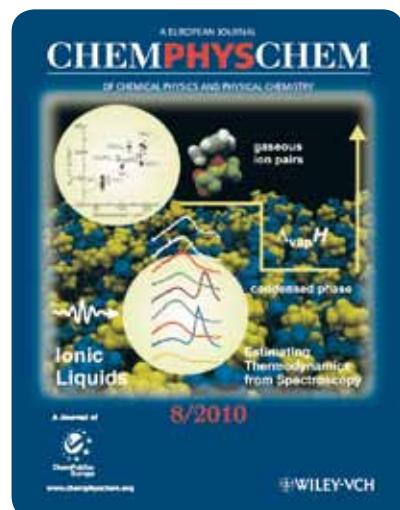


Abbildung 2: Titelseiten über Rostocker Arbeiten zu ionischen Flüssigkeiten



ten Materialien zu erhalten. Mit diesem Wissen öffnet sich die Tür für zahlreiche neue Anwendungsbereiche. Neuere Entwicklungen zeigen das Potential von ionischen Flüssigkeiten als „engineering fluids“ z. B. als Schmiermittel für Getriebe in Windkraftanlagen. Ionische Flüssigkeiten lassen sich hervorragend als Lösungsmittel einsetzen. Die Suche nach umweltfreundlichen und nachhaltigen Lösungsmitteln, die gleichzeitig chemische und katalytische Reaktionen beschleunigen, gehört zu den großen Aufgaben unserer Zeit. Ionische Flüssigkeiten können aufgrund ihres geringen Dampfdrucks und hoher Siedepunkte herkömmliche Lösungsmittel ersetzen. Im Gegensatz zu Ethern oder Alkoholen sind sie weder brennbar noch tragen sie zur Verunreinigung der Atmosphäre bei. Ein weiterer Vorteil: Als Katalysatoren können sie leicht abgetrennt und damit wiederverwertet werden.

Trennung von Produkt und Katalysator

Übergangsmetallkatalysatoren, wie sie die chemische Industrie in vielen Verfahren nutzt, sind oftmals recht kostspielig. Daher bemüht man sich um eine optimale Rückgewinnung. Verwendet man dabei ionische Flüssigkeiten, reduziert sich das Recycling des teuren Reaktionsbeschleunigers auf einen rein physikalischen Prozess. Ein Beispiel dafür ist der sogenannte Difasol-Prozess. Der Katalysator wird direkt in der ionischen Flüssigkeit gelöst. Die eingesetzten Reagenzien und Reaktionsprodukte hingegen sind darin unlöslich. Die obere Produktschicht wird einfach entnommen, während der Katalysator erneut eingesetzt werden kann. Eine Weiterentwicklung ist der SILP-Prozess, bei der die katalysatorhaltige ionische Flüs-

Die Autoren



Prof. Dr. rer. nat. Udo Kragl

Chemiestudium Universität Bonn; Promotion 1992; Habilitation 1998; Ernennung zum Professor für Technische Chemie Dezember 1998; Anfang 2007 Visiting Professor National University of Singapore; seit Oktober 2007 Dekan der Interdisziplinären Fakultät der Universität Rostock

Forschungsinteressen:

Biotkatalyse, ionische Flüssigkeiten, Membranverfahren; Gründungsdekan der interdisziplinären Fakultät der Universität Rostock und Vorsitzender des Vereins [Rostock denkt 365^o]

Universität Rostock

Institut für Chemie
Albert-Einstein-Str. 3a, 18059 Rostock
Fon +49(0)381 498-6450
Mail udo.kragl@uni-rostock.de



Prof. Dr. rer. nat. Ralf Ludwig

Studium der Physik in Aachen; 1991 Promotion in der Physikalischen Chemie an der RWTH Aachen; 1993–95 Postdoktorand an der University of Wisconsin-Madison, USA; 1999, Habilitation an der Universität Dortmund im Fach Physikalische Chemie; 2004 Gastprofessor an der Université Louis Pasteur, Straßburg, Frankreich; 2004 Professur für Physikalische und Theoretische Chemie an der Universität Rostock; seit 2006 geschäftsführender Direktor des Instituts für Chemie an der Universität Rostock; seit 2007 assoziierter Professor am Leibniz-Institut für Katalyse (LIKAT); seit 2008 Sekretär der European Molecular Liquids Group (EMLG); Mitglied in den DFG-Programmen FOR 436, SPP 1191 und SFB 652; Projektleiter „Nano4Hydrogen“

Universität Rostock

Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät
Physikalische und Theoretische Chemie
Dr.-Lorenz-Weg 1, 18059 Rostock
Fon +49(0)381 498-6524
Mail ralf.ludwig@uni-rostock.de

sigkeit auf einem heterogenen Träger immobilisiert wird. Auch Biokatalysatoren, nämlich Enzyme, sind in ionischen Flüssigkeiten wesentlich stabiler und beeinflussen vorteilhaft den Ablauf einer Reaktion. Haben die Enzyme ihre Arbeit im Reaktor erledigt, muss nur noch das Reaktionsprodukt abdestilliert werden. Auf Grund der vielfältigen Lösungseigenschaften sind ionische Flüssigkeiten auch für die Aufarbeitung von Materialien interessant, die bislang so in dieser Form nicht möglich waren. Bei-

spielsweise lässt sich Holz vollständig in ionischen Flüssigkeiten auflösen und in seine Bestandteile zerlegen.

Ionische Flüssigkeiten sind also wahre Alleskönner. Sie ermöglichen ökonomisch effizientere und umweltfreundlichere Verfahren zur Produktion und Reinigung von Pharmaka, Chemikalien und Brennstoffen. Die Rostocker Chemiker möchten dieser faszinierenden neuen Materialklasse weitere Überraschungen entlocken.

„Leuchtende Nachtwolken“

Mit modernster Lasertechnik den globalen Klimawandel verstehen lernen

Franz-Josef Lübken



Abbildung 1: Das Leibniz-Institut für Atmosphärenphysik e. V. an der Universität Rostock (IAP) in Kühlungsborn.
Mit dem grünen Laserstrahl werden empfindliche Messungen bis zu einer Höhe von etwa 100 km durchgeführt.

Sogenannte „leuchtende Nachtwolken“ erscheinen gelegentlich im Sommer in mittleren Breiten. Nach ihrer englischen Bezeichnung „noctilucent clouds“ werden diese Wolken kurz als „NLC“ bezeichnet. Es handelt sich bei diesem Phänomen um Sonnenlicht, das an Eisteilchen in etwa 83 km Höhe gestreut wird. Man kann die Wolken mit dem bloßen Auge sehen, allerdings nur in der Zeit kurz nach Sonnenuntergang bzw. kurz vor Sonnenaufgang. Dies liegt daran, dass das gestreute Licht schwach ist und der Beobachter im Dunkeln stehen muss. Wenn dagegen die Sonne zu weit unter dem Horizont steht, werden die Eisteilchen nicht mehr angestrahlt. Man weiß aus Laser- und Satellitenmessungen, dass NLC zu polaren Breiten hin verstärkt auftreten. Die Eisteilchen entstehen paradoxe Weise im Sommer, weil

dann in der oberen Atmosphäre trotz praktisch permanenten Sonnenscheins extrem niedrige Temperaturen von bis zu -150 °C herrschen. Im Winter dagegen ist es trotz Dunkelheit um bis zu 70 Grad wärmer. NLC sind also Anzeichen eines sehr merkwürdigen Zustandes der Atmosphäre und somit interessanter Forschungsgegenstand in der Atmosphärenphysik. Wichtig ist auch, dass „leuchtende Nachtwolken“ möglicherweise empfindliche Indikatoren für Klimaänderungen in der oberen Atmosphäre sind.

Größte Datensammlung am Leibniz-Institut für Atmosphärenphysik

NLC-Teilchen werden seit etwa 20 Jahren mit modernen Lasermethoden ver-

messen. Das Leibniz-Institut für Atmosphärenphysik der Universität Rostock mit Sitz in Kühlungsborn (IAP) verfügt hierbei über die weltweit meisten und am weitesten zurückreichenden Daten. Entsprechende Messungen werden hauptsächlich in Kühlungsborn und in Nordnorwegen (69°N) durchgeführt. Bevor man NLC als mögliche Klimaindikatoren nutzen kann, muss man die natürlichen Variationen verstehen. Hierbei hat es in den letzten Jahren einige Überraschungen gegeben. Man hat allgemein angenommen, dass eine große Aktivität der Sonne eine geringe NLC-Häufigkeit zur Folge hat, da starke Sonnenstrahlung den zur Bildung von Eisteilchen erforderlichen Wasserdampf zerstört. Seit 2002 nimmt die solare Aktivität stetig ab und befindet sich seit etwa drei Jahren im Minimum. Die NLC-Häufigkeit

stieg jedoch nicht so stark wie erwartet, sondern nahm teilweise sogar ab. Erst im Jahre 2009 haben wir dann doch einen starken Anstieg der Häufigkeit und Helligkeit gemessen und teilweise sogar Rekordwerte beobachtet. Was bedeutet das? Wodurch wird die Variation der NLC bestimmt?

Den Ursachen für Schwankungen von NLC-Parametern auf der Spur

Modellrechnungen des IAP zeigen, dass neben dem Einfluss der Sonne auch tiefere Schichten (Stratosphäre) die NLC-Häufigkeiten beeinflussen können, da sie zu einer kleinen, aber bedeutsamen Temperaturänderung in NLC-Höhen führen. NLC reagieren also sehr empfindlich auf Änderungen der Bedingungen in der Atmosphäre, die ihrerseits durch verschiedene Prozesse beeinflusst werden. Um die Ursachen für natürliche und vom Menschen verursachte Schwankungen von NLC-Parametern beurteilen zu können, müssen auch die mikrophysikalischen Prozesse bei der Entstehung von Eisteilchen verstanden

sein. Bisher war man davon ausgegangen, dass winzige Staubteilchen, die aus dem Verdampfen von Meteoren entstehen, als Nukleationskeime dienen. Neue Messungen mit Höhenforschungsraaketen am IAP, sowie Modellrechnungen in Schweden und den USA legen jedoch den Verdacht nahe, dass die Anzahl dieser Staubteilchen im Sommer zu gering ist. Jetzt untersuchen wir alternative Szenarien, wie zum Beispiel die Bedeutung von geladenen Teilchen für die Eisbildung. Die Untersuchung von leuchtenden Nachtwolken mit Lasern und die Erforschung von geladenen Staubplasmen passt hervorragend ins Department „Leben, Licht & Materie“ der Universität Rostock.

Ziel dieser Forschungen ist es, mit modernster Messtechnik und Modellrechnungen besser zu verstehen, wie der globale Klimawandel funktioniert und wie er sich in den oberen Schichten der Atmosphäre auswirkt. Unsere Forschungen liefern dazu wichtige Erkenntnisse. Wir stehen am Anfang hoch spannender Forschungen, die mit Sicherheit noch für einige Überraschungen sorgen werden. ■

Der Autor



Prof. Dr. rer. nat. Franz-Josef Lübken

1954 geboren in Löningen, Niedersachsen; Diplom und Promotion (1985) am Physikalischen Institut der Universität Bonn; Gastaufenthalt an der York University in Toronto; 1993 Habilitation Univ. Bonn; 1994 Professor am Phys. Inst. Univ. Bonn; 1999 Berufung an die Universität Rostock; Direktor des IAP in Kühlungsborn; Mitglied in verschiedenen Gremien des DLR, DFG, ESA, WGL, SCOSTEP etc.; Sprecher des Schwerpunktprogramms CAWSES der DFG; Mitherausgeber internationaler Fachzeitschriften; ca. 160 Publikationen

Forschungsschwerpunkte:
Atmosphärenphysik von der Tropo- bis zur Thermosphäre, Messungen auf Höhenforschungsraaketen, Lidars, Spurengase, thermische und dynamische Struktur der Mesosphäre, Turbulenz, Eisschichten an der Mesopause, leuchtende Nachtwolken, polare Radarechos

Leibniz Institut
für Atmosphärenphysik e. V.
an der Universität Rostock
Schlossstr. 6, 18225 Kühlungsborn
Fon +49(0)38293 680
Mail luebken@iap-kborn.de

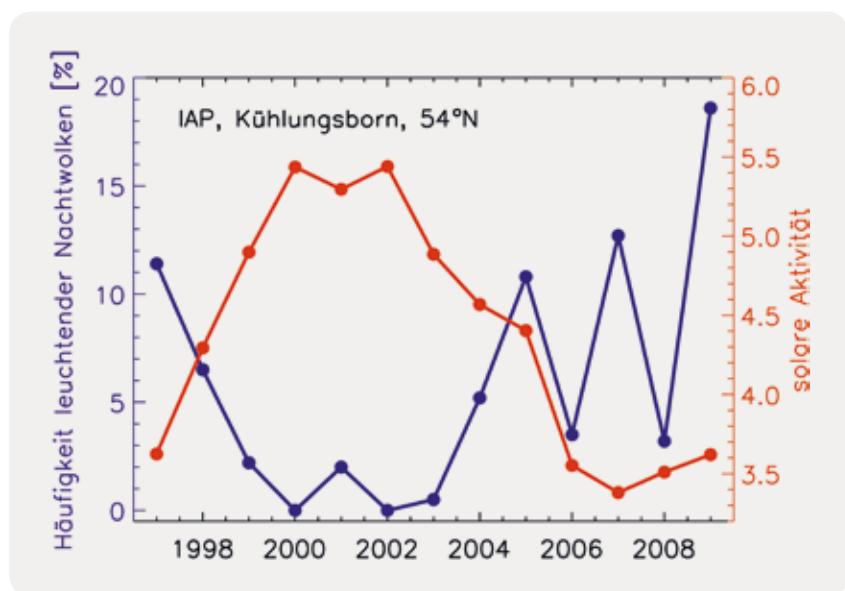


Abbildung 2: Lasermessungen von leuchtenden Nachtwolken über Kühlungsborn: die Häufigkeit während der Sommersaison (blaue Kurve) im Vergleich zur solaren Aktivität (rote Kurve). Man erkennt, dass die erwartete Antikorrelation zwischen NLC-Häufigkeit und solarer Aktivität in den letzten Jahren gestört ist.

Planeten im Computer

Ronald Redmer

Die Planeten Jupiter und Saturn gehören zu den auffälligsten Objekten am Nachthimmel und haben schon immer die Phantasie der Menschen inspiriert. Jupiter, nach der Sonne das weitaus größte Objekt in unserem Sonnensystem, symbolisiert die Grenzenlosigkeit und das Streben nach geistigem Wachstum. Saturn hingegen gilt als strenger Lehrmeister, der bewertet, Regeln aufstellt und uns mit der Realität konfrontiert. Beide gehören zusammen mit Uranus und Neptun zu den sogenannten Riesenplaneten in unserem Sonnensystem, die vor allem aus den beiden leichtesten Elementen Wasserstoff und Helium sowie einfachen Verbindungen wie Wasser, Ammoniak und Methan bestehen. Durch diese chemische Zu-

sammensetzung unterscheiden sie sich auch in der Größe stark von den vier inneren Gesteinsplaneten Merkur, Venus, Erde und Mars.

Materie unter Extrembedingungen

Unsere Arbeitsgruppe beschäftigt sich mit dem Verhalten von Materie unter extremen Bedingungen, wie sie typisch sind für das Innere von Riesenplaneten. Drücke von einigen Millionen Atmosphären und Temperaturen von einigen Zehntausend Kelvin können gleichzeitig nur sehr schwer im Labor hergestellt werden. Deswegen versuchen wir, die Eigenschaften dieser Materie aus den

elementaren Gesetzen der Quantenphysik abzuleiten. Die dafür notwendigen Simulationsmethoden bedürfen sehr leistungsfähiger Computersysteme, die an der Universität Rostock im Department „Life, Light & Matter“ aufgebaut werden. Im Ergebnis erhalten wir die dringend gebrauchten Informationen über die fundamentalen Eigenschaften der Bausteine der Riesenplaneten, etwa von Wasserstoff-Helium-Gemischen und von Wasser unter hohem Druck. Zwei Rostocker Doktoranden ist es dabei gelungen, spektakuläre Effekte vorherzusagen, die für die Planetenphysik von enormer Bedeutung sind.

Energiefreisetzung im Innern des Saturns

Winfried Lorenzen hat in seinen Berechnungen zeigen können, dass im Inneren vom Saturn die Entmischung von Wasserstoff und Helium auftreten muss. Diese beiden Hauptbestandteile der Planeten Jupiter und Saturn lassen sich unter gewöhnlichen Bedingungen gut mischen, wie beispielsweise Kaffee



Abbildung 1: Jupiter Detail
(Quelle: NASA, Cassini-Mission
29.12.2000)



Abbildung 2: Saturn-Ringe
(Quelle NASA: Cassini Mission,
04.10.2004)

und Milch, verlieren diese Eigenschaft aber oberhalb eines Drucks von etwa einer Million Atmosphären in Abhängigkeit von der Temperatur. Diese Bedingungen sind im Saturn bis auf die äußerste Schicht im gesamten Inneren bis zum Kern erfüllt. Im größeren und damit auch wärmeren Jupiter treffen sie – wenn überhaupt – nur in einer kleinen Schicht zu. Infolge der Entmischung sinken Helium-Tröpfchen langsam in tiefere Schichten ab und geben dabei Gravitationsenergie frei. Dieser bisher nur vermutete Prozess kann das Rätsel um die verborgene Energiequelle im Saturn lösen.

Der Magnetfeldstruktur von Uranus und Neptun auf der Spur

Im Mittelpunkt der Forschungen von Martin French stand das Wasser – allerdings ebenfalls unter extremen Bedingungen, wie sie besonders für das Innere von Uranus und Neptun typisch sind. Unter diesen Bedingungen tritt Wasser nicht als Flüssigkeit oder festes Eis auf, sondern in einem sonderbaren Zwitter-

zustand: Der Sauerstoff bildet ein festes Gitter, durch das sich der Wasserstoff fast frei bewegen kann. Dieses „superionische“ Wasser ist sehr gut leitfähig und damit ein Kandidat, um die Ursachen der im Vergleich zum Dipolfeld der Erde völlig anderen Magnetfeldstruktur von Uranus und Neptun zu erklären.

Geheimnisvolle Riesenplaneten

Diese Daten werden benötigt, um Modelle der inneren Struktur von Riesenplaneten zu konstruieren. Nadine Nettelmann hat in ihrer Promotionsarbeit, die sie Ende 2009 an der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Rostock erfolgreich verteidigt hat, neue Strukturmodelle für Jupiter und Co. entwickelt, die erstmals auf den präzisen Materialdaten von Winfried Lorenzen, Martin French und einem anderen Doktoranden, Bastian Holst, basieren. Dadurch ist bereits ein neues Verständnis des inneren Aufbaus von Riesenplaneten in unserem Sonnensystem gelungen.

Astrophysiker beschäftigten sich in den letzten Jahren wieder verstärkt mit den Eigenschaften der Riesenplaneten. Sie sind vor etwa 4,5 Milliarden Jahren aus einer großen Molekülwolke zusammen mit unserer Sonne entstanden. Der Bildungsprozess selbst, die weiteren Phasen ihrer Entwicklung bis heute sowie ihr bisher nicht aufgeklärter innerer Aufbau sind dabei die Schlüsselprobleme. Ein Grund für das gewachsene Interesse an Jupiter und Saturn ist die Entdeckung von Planeten um andere Sterne im Jahr 1996. Bis heute sind mehr als 400 jupiterähnliche extrasolare Planeten-Kandidaten entdeckt worden. Ulrike Kramm hat sich in ihrer Diplomarbeit mit zwei

Der Autor

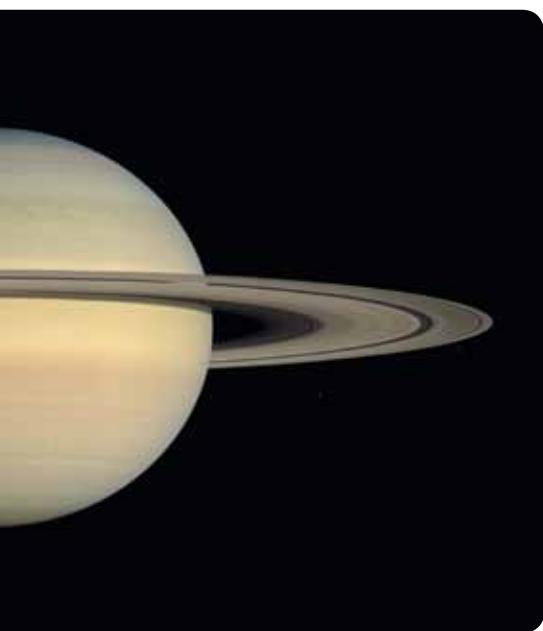


Prof. Dr. rer. nat. Ronald Redmer

Physik-Studium in Chemnitz und Rostock; Promotion 1986 und Habilitation 1991 in Rostock; 1992–1993 Oregon State University / USA; 1993–2004 Prof. für Dichte Plasmen (C3), Prof. für Statistische Physik (C4) seit 2004 an der Universität Rostock; 1998–2002 Dekan der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät; 2006–2008 Prorektor; 2007 Ehrenpromotion der Russischen Akademie der Wissenschaften; Mitglied im Vorstand des SFB 652; ca. 140 Publikationen

Universität Rostock
Institut für Physik
Wismarsche Straße 43–45,
18057 Rostock
Fon +49(0)381 498-6911
Mail ronald.redmer@uni-rostock.de

dieser Planeten, GJ-436b und HAT-P-13b, beschäftigt und aus den wenigen bisher bekannten Daten wie Masse und Radius den möglichen inneren Aufbau berechnet. Mit neuen Methoden und speziellen Satelliten wollen Astronomen bald auch kleinere, erdähnliche Planeten um andere Sterne nachweisen. Bei einigen könnten die Voraussetzungen zur Entwicklung von Lebensformen wie auf der Erde gegeben sein, so dass die Frage „Sind wir allein im All?“ bald fundierter beantwortet werden könnte. ■



In der Nanowelt ist alles anders

Rostocker Physiker beobachten Elektronen in kleinsten Teilchen

Roland Knauer (freier Journalist)

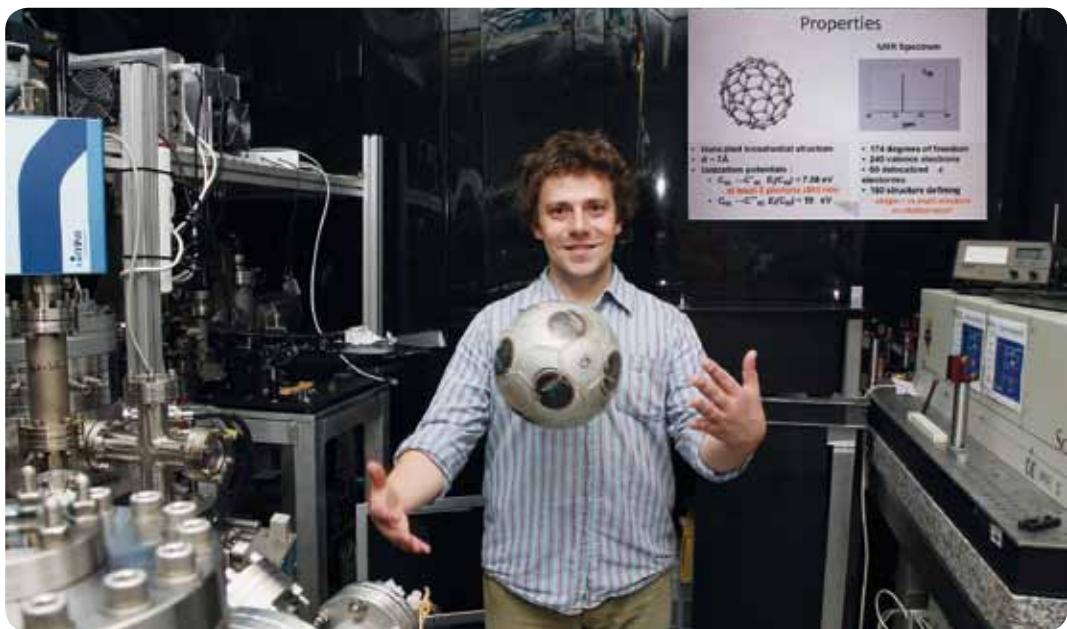
In letzter Zeit fehlt Slawomir Skruszewicz immer öfter die Zeit zum Üben auf der Klarinette. Stattdessen beobachtet der polnische Physiker als Promotionsstudent des Departments Life, Light & Matter an der Interdisziplinären Fakultät der Rostocker Universität mit einem selbst entwickelten „Abbildenden Elektronen-Spektrometer“, wie ein spezieller Laser Elektronen aus winzigen Nanoteilchen heraus katapultiert. Geplant aber war eine andere Reihenfolge: „Ich habe Musik in Stettin studiert und übte jeden Tag drei oder vier Stunden für meine nächsten Auftritte auf der Klarinette“, erzählt

Slawomir Skruszewicz. Für die restlichen Stunden des Tages suchte er sich ein anspruchsvolles Hobby und hängte ein Studium der Physik an. Daraus ist deutlich mehr geworden: Inzwischen steckt Slawomir, wie ihn jeder in der Gruppe nennt, in die Nanophysik-Arbeitsgruppe von Karl-Heinz Meiws-Broer in seiner Promotion. Und man merkt dem Forscher sofort an, dass ihm beides, Musik und Physik, unwahrscheinlich Spaß machen.

Karl-Heinz Meiws Broer stellt die Forschung seiner Gruppe so vor: „Wir arbeiten mit Nanoteilchen, die aus fünf oder

zwanzig oder ein paar Hundert Atomen bestehen. In diesen aber gilt eine ganz neue Physik.“ Bei solchen kleinen Teilchen stoßen die Naturgesetze nämlich im Wortsinn so schnell an ihre Grenzen, dass die Gesetze der Quantenmechanik viel wichtiger als bei größeren Teilchen werden. Ein silberner Löffel zum Beispiel besteht aus sehr vielen Silber-Atomen, von denen jedes eine positive elektrische Ladung trägt. Zwischen diesen Ionen aber flitzen genauso viele Elektronen umher, dass ihre negative elektrische Ladung die positive Ladung der Silber-Ionen genau ausgleicht. Innerhalb des Silberlöffels bewegen sich diese Elektronen völlig frei. Legt man nun einen elektrischen Strom an beide Enden des Löffels an, tragen diese frei beweglichen Elektronen den Strom im Silber weiter.

Was im silbernen Löffel noch hervorragend klappt, muss aber noch lange nicht für ein Nanoteilchen Silber gelten, das aus ein paar hundert oder vielleicht sogar nur zwanzig Silberatomen besteht. Bauen zum Beispiel 64 Silber-Atome einen Nanowürfel auf, dessen Kanten



„Der Fußball hat genau 60 Ecken, ebenso wie ein Nanoteilchen aus 60 Kohlenstoff-Atomen besteht“, zeigt Slawomir eindrucksvoll vor seiner Apparatur.

aus jeweils vier Silber-Atomen bestehen, stoßen die eigentlich frei beweglichen Elektronen spätestens nach vier Atomen an ihre Grenzen und es ist vorbei mit der Freiheit. „Solche Silber-Cluster sind daher keine elektrischen Leiter mehr, sondern bestenfalls noch Halbleiter oder werden sogar zu Isolatoren“, erklärt Karl-Heinz Meiwes-Broer.

Natürlich ändern sich auch andere Eigenschaften solcher Metall-Winzelinge. So benötigen Elektronen sehr viel Energie, um die Oberfläche eines Silberlöfels verlassen zu können. Da ein Nanoteilchen aber im Verhältnis sehr viel mehr Oberfläche hat, klappt das viel leichter. Genau diesen Vorgang untersucht Slawomir Skruszewicz mit einem Femtosekundenlaser, der Lichtblitze abgibt, die gerade einmal den tausendsten Teil des Millionstel Teils einer Millionstel Sekunde lang sind. „Diese extrem kurzen Lichtpulse haben daher extrem hohe Leistungen, die durchaus ein paar Milliarden Watt pro Quadratzentimeter betragen können“, erklärt Karl-Heinz Meiwes-Broer.

Mit solchen extremen Leistungen aber schießt der Laser immer wieder Elektronen aus Nanoteilchen heraus, die Slawomir Skruszewicz mit einem „Abbildenden Elektronen-Spektrometer“ beobachtet, das er in seiner Master-Arbeit entwickelt hat. Zunächst arbeitet er mit winzigen Nanofußbällen, von denen jeder aus genau 60 Kohlenstoff-Atomen besteht und die „Fullerenen“ genannt werden. Auch dort bewegen sich Elektronen frei umher. „Weil Fullerenen aber sehr symmetrisch gebaut sind, lässt sich das Verhalten der Elektronen in ihnen viel einfacher berechnen“, erklärt Slawomir Skruszewicz. Dadurch können auch die Forscher besser verstehen, wie die Elektronen aus den Fullerenen herausgeschlagen werden und wie die neue Physik in den

Die Forscher



Prof. Dr. rer. nat. Markus Rapp

1970 in Koblenz geboren; Studium der Physik, Universität Bonn; 1996 – 1999 Promotionsstudium, Schwerpunkt Atmosphärenphysik an der Universität Bonn; 2005 Gastprofessor an der Universität Stockholm; 2004 Habilitation an der Universität Rostock; seit 2008 Professor (W2) für Experimentelle Atmosphärenphysik an der Universität Rostock und Leiter der Abteilung „Radarsondierungen und Höhenforschungsraketen“ am Leibniz-Institut für Atmosphärenphysik e. V.

Forschungsthemen:

Thermische und dynamische Struktur der Atmosphäre; Atmosphärische Aerosolphysik: z. B. mikrophysikalische Prozesse der Nukleation und des Wachstums, Wechselwirkung mit geladenen Teilchen etc.; Entwicklung von in-situ Messtechniken zum Einsatz auf Höhenforschungsraketen; Radarfernkundung der mittleren Atmosphäre

Leibniz-Institut
für Atmosphärenphysik e. V.
an der Universität Rostock
Schlossstr. 6, 18225 Kühlungsborn
Fon +49(0)382 9368200
Mail rapp@iap-kb.de
Web www.iap-kb.de



Dipl.-Phys. Slawomir Skruszewicz

1980 in Lubraniec (Polen) geboren; 2000 – 2005 Hochschule für Musik in Pozen (Polen); 2002 – 2006 Physikstudium an der Universität Stettin (Polen) und 2006 – 2008 an der Universität Rostock; seit 2009 Stipendiat im Department Science and Technology of Light, Life and Matter, Interdisziplinäre Fakultät

Forschungsthemen:

winkelaufgelöste Photoelektronenspektroskopie, Massenspektrometrie, Molekül- und Clusterphysik, Wechselwirkung von intensiven Laserfeldern mit Atomen und Molekülen, VUV Spektroskopie

Universität Rostock

Institut für Physik
Universitätsplatz 3, 18055 Rostock
Fon +49(0)381 498-6816
Mail slawomir.skruszewicz@uni-rostock.de



**Prof. Dr. rer. nat. habil.
Karl Heinz Meiwes-Broer**

Vita siehe Seite 3

Universität Rostock

Institut für Physik
Universitätsplatz 3, 18059 Rostock
Fon +49(0)381 498-6800
Mail meiwes@uni-rostock.de

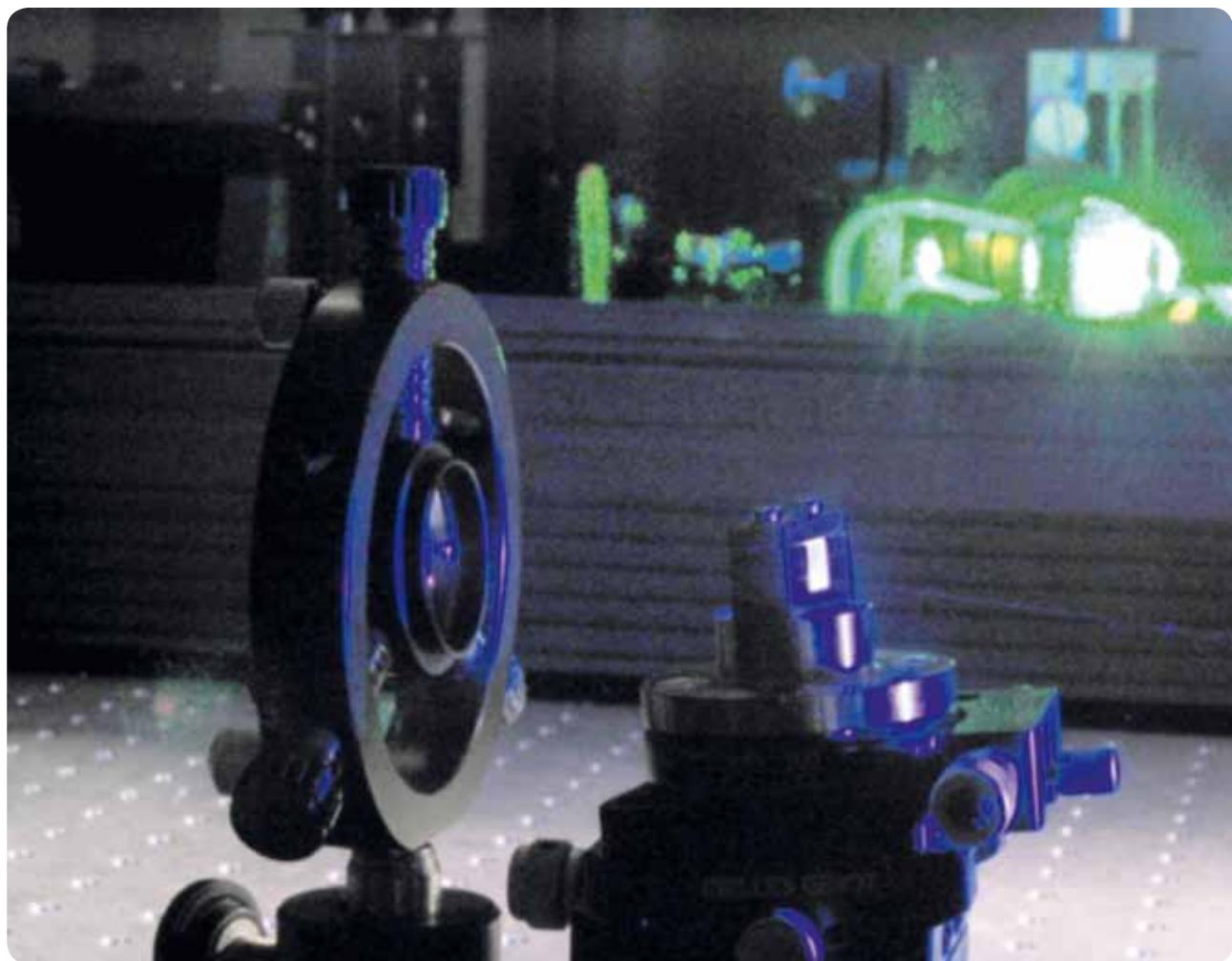
Laserlicht in Glasfasern: Nichtlineare Optik

Im Institut für Physik wird das eigenartige Verhalten von kurzen Laserlichtpulsen in Glasfasern untersucht.

Fedor Mitschke

Was ist „Nichtlineare Optik“?

Jeder kennt das: Einen elastischen Körper kann man innerhalb gewisser Grenzen dehnen oder stauchen und er nimmt danach seine Ursprungsform wieder an. Man spricht generell von linearem Verhalten, wenn die Veränderung zur Einwirkung proportional ist. Gerade aber jenseits – im nichtlinearen Bereich – treten interessante Erscheinungen auf. Tsunamis sind Wasserwellen im nichtlinearen Bereich. Bei Schwingungen in Musikinstrumenten bewirken die Nichtlinearitäten u. a. die charakteristische Klang-



Ein infraroter Laserstrahl (unsichtbar) trifft von links auf eine Linse und wird dadurch in einen nichtlinearen Kristall fokussiert. Dort wird die Frequenz des Lichts verdoppelt; der entstehende blaue Lichtstrahl verlässt den Kristall nach rechts.

färbung der jeweiligen Instrumente, die ihnen zur Ausdrucksstärke verhelfen: Ohne Nichtlinearität kein Musikgenuss! In der Nachrichtentechnik werden Nichtlinearitäten zur Frequenzumsetzung verwendet, und nur dadurch können die gewaltigen Datenmengen übertragen werden, die heutzutage unsere Kommunikation ausmachen. Beim Licht, dem höherfrequenten Verwandten der Radiowellen in der elektromagnetischen Familie, bewirken Nichtlinearitäten eine Veränderung der optischen Eigenschaften des Materials, durch das die Lichtwelle läuft, wie Extinktion (Abschwächung einer Lichtwelle) oder Brechungsindex (der angibt, um wie viel langsamer als im Vakuum sich das Licht durch das Material ausbreitet). Darauf aufbauend werden Frequenzmischung und -umsetzung realisiert (Bild) und heute routinemäßig eingesetzt.

Datenübertragung

Die Arbeitsgruppe Nichtlineare Optik des Instituts für Physik befasst sich mit Lichtimpulsen in Glasfasern, wie sie in der optischen Telekommunikation im großen Stil genutzt werden. Die enorme Bedeutung dieser Technik wird durch die Verleihung des Physik-Nobelpreises 2009 an Charles Kao unterstrichen. Keine andere Technologie könnte die von Jahr zu Jahr immer größeren Datenmengen bewältigen. Allerdings ist absehbar, dass man in einigen Jahren an fundamentale Grenzen stoßen wird. Die Arbeitsgruppe entwickelt Ideen, wie man diese Grenze weiter hinausschieben kann. Dazu betrachtet sie eine bestimmte physikalische Realisierung der Signale durch besondere Lichtpulse (Solitonen), die die Nichtlinearität von vornherein berücksichtigen und ausnutzen, um damit ihre eigene Form zu stabilisie-

ren. Die Rostocker haben entdeckt, dass derartige Solitonen sogar „Moleküle“ bilden, die zur Lösung des Problems beitragen könnten. PROFILE hat vor einiger Zeit darüber berichtet (Heft 3/2008).

Weißes Licht aus Lasern?

Dieselben physikalischen Mechanismen lassen sich auch in eine ganz andere Richtung steuern. Lichtimpulse können sich unter den richtigen Umständen in Glasfasern in einer solchen Weise verformen, dass ihre spektrale Zusammensetzung sich dramatisch verändert und ein sehr breites Spektrum entsteht. Dieses breite Spektrum wird als Superkontinuum bezeichnet. Kurioserweise wird dadurch also aus einem Laser, der ja immer als Beispiel für eine monochromatische Quelle gilt, das genaue Gegenstück erzeugt, wie man es sonst von einer Glühlampe kennt. Nun wäre zweifellos eine Glühlampe einfacher und billiger als ein lasererzeugtes Superkontinuum. Der entscheidende Unterschied liegt in der sogenannten räumlichen Kohärenz, die beschreibt, wie gut sich das Licht auf einen kleinen Fleck bündeln (fokussieren) lässt. Bei Lampenlicht ist das Unterfangen ziemlich hoffnungslos. Das Superkontinuum hingegen lässt sich perfekt fokussieren, und man erhält um einige Zehnerpotenzen mehr Intensität. Die Arbeitsgruppe Optik verfolgt einen Ansatz zur Erzeugung von Superkontinuum, der vom „mainstream“ etwas abweicht und möglicherweise Kosten verringern kann.

Praktische Anwendungen für Superkontinuum liegen u. a. in der Medizin: Die Kohärenztomographie liefert dreidimensionale Bilder von Körpergewebe mit Mikrometer-Auflösung. In der Präzisionsmetrologie steht ein Superkontinuum auch hinter der Frequenzkamm-

Der Autor



Prof. Dr. rer. nat. Fedor Mitschke

Studium und Promotion in Hannover; 1985–1986 Forschungsaufenthalt bei AT&T Bell Laboratories, New Jersey, USA; danach Habilitation, Heisenbergstipendiat und Apl-Professur in Hannover; 1994–1997 C3-Professur in Münster; seit 1997 in Rostock, Inhaber des Lehrstuhls für Experimentalphysik: Optik

Universität Rostock

Institut für Physik
Universitätsplatz 3, 18059 Rostock
Fon +49(0)381 498-6820
Mail fedor.mitschke@uni-rostock.de

technik, für die Theodor W. Hänsch und John L. Hall 2005 den Physik-Nobelpreis erhielten.

Photonik

Das Fernziel der Arbeiten zur Nichtlinearen Optik – in Rostock und anderswo – ist die Entwicklung einer neuen Technologie namens Photonik, in der Photonen (Lichtquanten) in ähnlich virtuoser Weise eingesetzt werden wie heute bereits die Elektronen (Quanten der elektrischen Ladung) in der Elektronik. In Ansätzen ist diese Technologie bereits erkennbar, aber es wird noch vieler grundlegender Untersuchungen bedürfen, bevor die Photonik so verbreitet sein wird wie heute die Elektronik. Dazu leistet auch die Universität Rostock mit mehreren Arbeitsgruppen ihren Beitrag. ■

Auf dem Weg zu Kraftstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen

Charakterisierung der Biomassepyrolyse mit Echtzeitmassenspektrometrie

Ralf Zimmermann, Thorsten Streibel und Alois Fendt

Hintergrund und Motivation

Vor dem Hintergrund geringer wendender oder schwieriger auszuschöpfender Ressourcen fossiler Rohstoffe gewinnt die verstärkte Nutzung erneuerbarer Energieträger zunehmend an Bedeutung. Biomasse ist die einzige regenerative Energiequelle, die Kohlenstoff enthält, und kann daher als Rohstoff für die Erzeugung von Kraftstoffen und chemischen Grundstoffen dienen. Die verstärkte Nutzung von Biomasse ist in letzter Zeit in die Diskussion geraten, da

ein Konflikt zwischen „Teller und Tank“ befürchtet wird, der zur Verknappung der Anbaufläche von Nahrungsmitteln und zur Verteuerung von Lebensmitteln führen könnte. Daher ist die Nutzung von Rest- und Abfallbiomasse wie Stroh und Altholz in den Fokus gerückt (Biokraftstoffe zweiter Generation). Am Forschungszentrum Karlsruhe wurde das bioliq®-Verfahren (Biomass to Liquid) konzipiert, bei dem Biomasse einer Schnellpyrolyse bei 500 °C unterzogen wird. Aus dem entstandenen Pyrolyseöl und -koks wird eine pump- und lagerfähige Suspension (BioSyncrude) her-

gestellt, welche anschließend in einem Flugstromvergaser mit reinem Sauerstoff bei erhöhten Drücken bis zu 100 bar zu einem teerfreien Synthesegas umgesetzt wird. Daraus können Kraftstoffe, aber auch Chemikalien wie Methanol und Dimethylether mit bekannten Technologien (z. B. dem Fischer-Tropsch-Verfahren) erzeugt werden. Die spezifischen Besonderheiten des Prozesses sind bisher unzureichend erforscht worden. Beispielsweise ist relativ wenig über die Primärprodukte der Schnellpyrolyse oder den Mechanismus der thermischen Zersetzung von Biomasse bekannt.

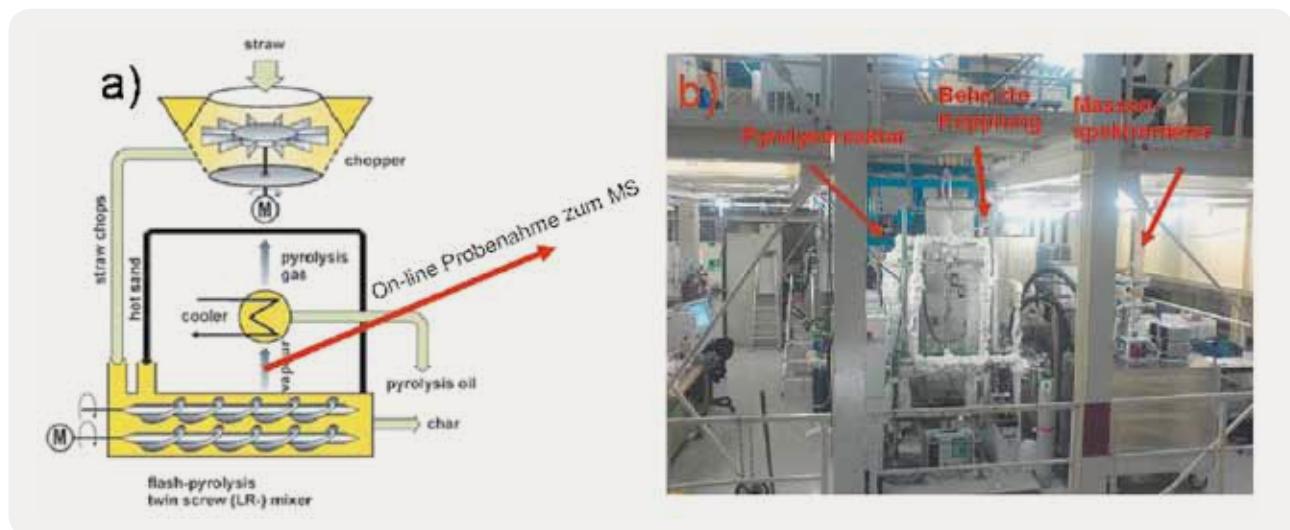


Abbildung 1: a) Schema des Technikumsreaktors zur Biomassepyrolyse am Forschungszentrum Karlsruhe
b) Foto der Anlage mit dem mobilen Photoionisationsmassenspektrometer

Die Autoren

**Dr. rer. nat. Thorsten Streibel**

2001 Promotion Uni Karlsruhe (TH); 2002 wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Augsburg / Helmholtz Zentrum München; seit 2008 wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Rostock, Institut für Chemie und Massenspektrometriezentrum Universität Rostock / Helmholtz Zentrum München

Universität Rostock
Institut für Chemie
Lehrstuhl für Analytische Chemie
Dr.-Lorenz-Weg 1, 18059 Rostock
Fon +49(0)381 498-6536
Mail thorsten.streibel@uni-rostock.de

**Dipl.-Chem. Alois Fendt**

2005 Diplom (Chemie) an der Universität Köln; 2005 wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Köln; 2007 Doktorand an der Universität Augsburg / Helmholtz Zentrum München; seit 2008 Doktorand an der Universität Rostock, Institut für Chemie und Massenspektrometrie-Zentrum Universität Rostock / Helmholtz Zentrum München

Universität Rostock
Institut für Chemie
Lehrstuhl für Analytische Chemie
Dr.-Lorenz-Weg 1, 18059 Rostock
Fon +49(0)381 498-6533
Mail alois.fendt@uni-rostock.de

**Prof. Dr. rer. nat. Ralf Zimmermann**

Vita siehe Seite 17

Universität Rostock
Institut für Chemie
Dr.-Lorenz-Weg 1, 18059 Rostock
Fon +49(0)381 498-6460
Mail ralf.zimmermann@uni-rostock.de

Experimentelle Methoden und Versuchsaufbau am Technikumsreaktor

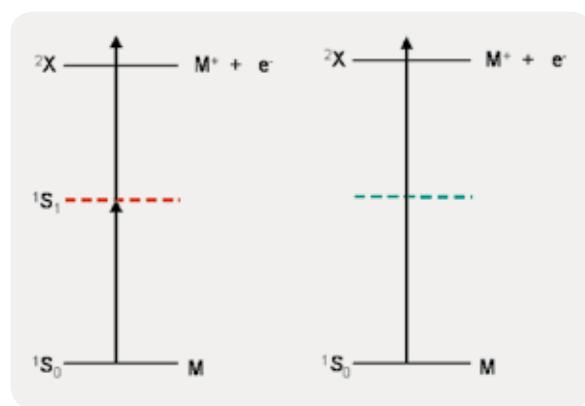
In einem vom BMBF über die Universität Augsburg geförderten Teilvorhaben eines Verbundprojekts werden am Lehrstuhl für Analytische Chemie (Massenspektrometriezentrum) organische Komponenten im Pyrolysegas von Biomasse in einem Technikumsreaktor des Projektpartners am Forschungszentrum Karlsruhe (Abbildung 1a) untersucht.

Dazu wird direkte Flugzeitmassenspektrometrie (TOFMS, von time-of-flight mass spectrometry) mit weichen Photoionisationsmethoden – resonance-enhanced multiphoton ionisation (REMPI)

und single photon ionisation (SPI) – zur Detektion der Pyrolyseprodukte in Echtzeit verwendet. Abbildung 2 zeigt die Energieschemata der Photoionisationsmethoden SPI (mit VUV-Licht) und REMPI (mit UV-Laserlicht). Aufgrund der geringen Überschussenergien in den ge-

bildeten Ionen werden i.d.R. keine Fragmentierungen beobachtet. Somit kann die chemische Signatur des komplexen Prozessgases direkt erkannt werden. Die thermische Zersetzung von unterschiedlichen pflanzlichen Einsatzstoffen wie Weizenstroh, Weich- und Hartholz,

Abbildung 2:
Schema REMPI (links)
und SPI (rechts).
 S_0 = elektronischer
Grundzustand;
 S_1 = elektronischer
Zwischenzustand,
 2X = Ionengrund-
zustand;
 M, M^+ = Molekül,
Molekülion



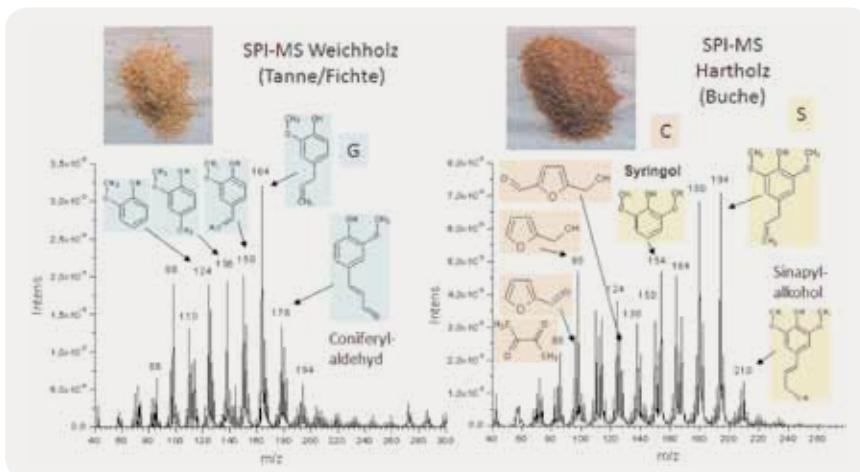


Abbildung 3: SPI-TOF Massenspektren des Pyrolysegases von Weichholz (links) und Hartholz (rechts). Die detektierten Pyrolyseprodukte sind farblich markiert nach dem Biopolymer, aus dessen Zerfall sie herrühren (G = Lignin aus Guaiacyl-Einheiten; C = Cellulose, S = Lignin aus Syringyl-Einheiten)

Heu, Weizenkleie, Rapsschrot sowie Energiepflanzen wie Miscanthus wurden bereits untersucht. Abbildung 1b zeigt ein Foto der Versuchsanlage.

Massenspektren der Pyrolyseprodukte von Holz und Rapsschrot

Einer der Hauptbestandteile von Holz ist Lignin, ein Biopolymer, das aus Grundbausteinen unterschiedlich miteinander verknüpfter phenolischer Einheiten aufgebaut ist. Bei der Schnellpyrolyse zerbricht das Lignin in seine Grundbestandteile wie Phenol selbst, Guaiacol- und Syringylderivate. Diese Verbindungen können mit der REMPI-TOFMS Methode, welche selektiv aromatische Verbindungen ionisiert, direkt nachgewiesen werden. SPI-TOFMS ermöglicht darüber hinaus die Detektion von Carbonylverbindungen wie Aceton und Furanderivaten wie Furfurylalkohol. Letztere sind thermische Abbauprodukte der Cellulose, eines weiteren Hauptbestandteils von Biomasse. Die Abbildung 3 zeigt typische SPI-Massenspektren am Beispiel von Weich- und Hartholz. Farbig markiert ist die Herkunft der jeweiligen detektierten Substanz aus den verschiedenen Biopolymeren des Holzes. Dabei

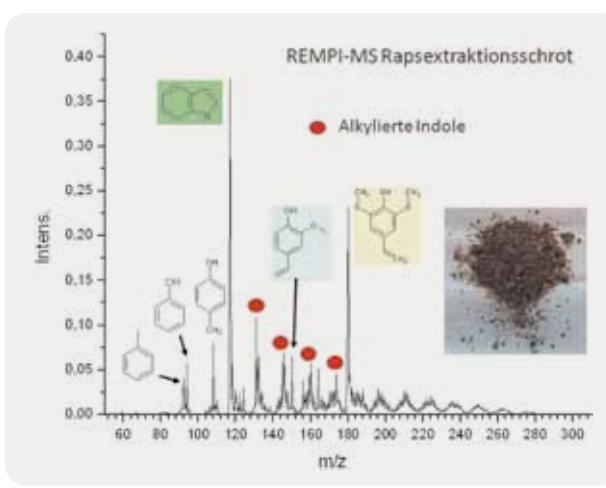
ist zu beachten, dass sich Weich- und Hartholz durch ihre jeweiligen Ligningrundbausteine unterscheiden. Weichholz beinhaltet überwiegend aus Guaiacyl-Einheiten aufgebautes Lignin (eine OCH_3 -Gruppe am Phenolring), Hartholz enthält dagegen auch Lignin aus Syringylgrundbausteinen (zwei OCH_3 -Gruppen am Phenolring), was sich in den Spektren der Pyrolysegase bemerkbar macht. Rapsextraktionsschrot stellt eine interessante Biomasse dar, da es sich um einen stickstoffreichen Stoff handelt. Dies zeigt sich auch im REMPI-TOFMS-Spektrum seines Pyrolysegases (Abbildung 4), das von Indol und dessen Derivaten dominiert wird. Daneben sind ebenfalls die Ligninabbauprodukte und Toluol detektierbar.

Ausblick

Die erhaltenen Informationen können dazu genutzt werden, zwischen verschiedenen Einsatzstoffen zu unterscheiden. In der Zukunft soll in weiteren Untersuchungen geklärt werden, inwiefern die primären Pyrolysegase über die Qualität der Pyrolyseprodukte Aufschlüsse geben können, was für deren weitere Verarbeitung von Bedeutung ist.

Die Autoren danken dem BMBF für die Förderung (FKZ: 03SF0320B) und dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Technische Chemie-CPV (Dr. Dahmen) für die gute Kooperation und die Messmöglichkeiten am Campus Nord. ■

Abbildung 4:
REMPI-TOF
Massenspektrum
des Pyrolysegases
von Rapsextrak-
tionsschrot



Mit Wasserstoff in die Zukunft

Matthias Beller und Henrik Junge

Neue Technologien für die Energieforschung

Ob an der Zapfsäule oder bei der Stromrechnung – auch an den Energiepreisen zeigt sich, dass die Ära fossiler Rohstoffe langfristig zu Ende geht. Wissenschaftler am Leibniz-Institut für Katalyse an der Universität Rostock (LIKAT) erkunden daher Alternativen. Dazu zählt Wasserstoff, der in einer Brennstoffzelle über chemische Oxidation in nutzbare Elektroenergie umgewandelt wird. Wasserstoff ist ein sauberer, sekundärer Energieträger, aus dem als Abgas lediglich Wasserdampf entsteht. Praktisch gibt es allerdings ein Problem: Wasserstoff ist ein Gas und lässt sich weniger gut transportieren und speichern als etwa Flüssigkeiten wie Öl und Kraftstoffe. Weltweit denken Forscher deshalb unter anderem über Möglichkeiten nach, die Brennstoffzelle nicht mit einem Wasserstoffspeicher etwa in Form eines Tanks, sondern direkt mit einem Wasserstofferzeuger zu koppeln.

Strom aus Ameisensäure

Ausreichend Wasserstoff kontrolliert und bei Zimmertemperatur aus Ameisensäure zu gewinnen und ihn zur Stromerzeugung in einer Brennstoffzelle einzusetzen – das ist eine aus wissenschaftlicher und industrieller Sicht anerkannte Leistung der Rostocker Katalytiker. Bisher entstand Wasserstoff in energieaufwändigen Prozessen oberhalb von 200



Foto (LIKAT): Katalysatorkristalle – Reaktionsgefäß im Labor des LIKAT

Grad Celsius. Neben Matthias Beller und Henrik Junge sind auch drei Nachwuchswissenschaftler an der Erarbeitung der vorliegenden Ergebnisse beteiligt: Albert Boddien, Björn Loges und Felix Gärtner.

In dem neuartigen Verfahren wird ein Katalysator auf Edelmetallbasis verwendet, der die Ameisensäure zu Kohlendioxid und Wasserstoff zersetzt. Anfänglich konnte ein Katalysatormolekül lediglich ca. 1.000 Moleküle der Amei-



Erneuerbare Energien (Catalysis),
Foto: vario images

sensäure in die gewünschten Produkte umwandeln. Optimierungen und intensive Forschung erlauben heute ein Verhältnis von eins zu > 260.000. Anders formuliert: 5 Milligramm eines im LIKAT entwickelten Rutheniumkatalysators setzen aus 233 Millilitern Ameisensäure 125 Liter gasförmigen Wasserstoff frei. Ein weiterer Vorteil: Ein einfacher Aktivkohlefilter reicht aus, um das Gas für den Betrieb der Brennstoffzelle zu reinigen. Die Forscher im LIKAT untersuchen gegenwärtig auch die Möglichkeit das CO₂ nachfolgend mit Wasserstoff, der aus erneuerbaren Rohstoffen gewonnen wird, wieder zu Ameisensäure umzusetzen. So schließt sich der Kreis: Ameisensäure kann zur CO₂-neutralen Speicherung von Wasserstoff eingesetzt werden und ist dabei ungiftig, einfach zu lagern und zu handhaben.

Schon in absehbarer Zeit, so die Forscher, ist eine mögliche Anwendung der

Die Autoren



Prof. Dr. Matthias Beller

Jahrgang 1962; Studium der Chemie an der Georg-August-Universität Göttingen; 1989 Promotion im Arbeitskreis von Prof. L.-F. Tietze; Liebig-Stipendiat des Verbandes der Chemischen Industrie und Postdoktorand in der Arbeitsgruppe von Prof. K. Barry Sharpless am Massachusetts Institute of Technology in Cambridge/USA; 1991 – 1995 Mitarbeiter der Hoechst AG; 1996 – 1998 C3-Professor für Anorganische Chemie an die TU München; seit 1998 Leitung des heutigen Leibniz-Instituts für Katalyse e. V. an der Universität Rostock sowie eine C4-Professur „Katalyse“ an der Universität Rostock.

Leibniz-Institut für Katalyse e. V.
an der Universität Rostock
Albert-Einstein-Str. 29a, 18059 Rostock
Fon +49(0)381 1281113
Mail matthias.beller@catalysis.de



Dr. Henrik Junge

1966 in Rostock geboren; 1986 – 1991 Studium der Chemie, Universität Rostock; 1991 Diplom; 1995 Promotion; Postdoktorand, Universität Rostock; 1999 – 2000 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Organische Katalyseforschung Rostock; 2000 – 2002 Mitarbeiter und zuletzt stellvertretender Fachgebietsleiter in der Landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalt Rostock; seit 2003 wissenschaftlicher Mitarbeiter, Leibniz-Institut für Katalyse Rostock; seit 2009 Themenleiter auf dem Gebiet der Katalyseanwendungen im Energiebereich; seit 2008 Vorstandsvorsitzender der Wasserstofftechnologie-Initiative M-V e.V.

Leibniz-Institut für Katalyse e. V.
an der Universität Rostock
Albert-Einstein-Str. 29a, 18059 Rostock
Fon +49(0)381 1281174
Mail henrik.junge@catalysis.de

Erde in Mengen zur Verfügung steht. Dazu haben sich unter Koordination des LIKAT international führende Forschergruppen mit ausgewiesenen Expertisen zu einem Wissenschaftscluster zusammengeschlossen.

Neben dem LIKAT umfasst der Cluster Arbeitsgruppen der Universität Rostock, des Leibniz-Instituts für Plasmaforschung und Technologie Greifswald (INP), der Technischen Universität Berlin, des Max-Planck-Instituts für Kolloid- und Grenzflächenforschung Golm, des Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie GmbH sowie der Schweizer Exzellenzuniversität Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne und des Katalysezentrums in Ottawa / Kanada. Das vom Cluster erarbeitete Strategiekonzept „Energie für die Zukunft – Photokatalysierte Spaltung von Wasser zu Wasserstoff (Light2Hydrogen)“ steht auf soliden wissenschaftlichen Füßen und soll über einen Zeitraum von fünf Jahren vom BMBF mit einer Gesamtsumme von zehn Millionen Euro gefördert werden.

Die Wasserspaltung zu Wasserstoff und Sauerstoff soll durch die direkte photokatalytische Herstellung von Wasserstoff aus Wasser mittels Sonnenlicht gelingen. Auch erste technische Realisierungen sind Inhalt der Forschungsarbeiten des Clusters. „Wesentlicher Vorteil der direkten photokatalytischen Wasserspaltung ist die Erzeugung von Wasserstoff in nur einem Schritt mit erneuerbarer Energie und ohne Freisetzung von Treibhausgasen“, so Matthias Beller.

Perspektivisch wäre die direkte photokatalytische Erzeugung von Wasserstoff aus Wasser in der Lage, einen wesentlichen Teil des weltweiten Energieverbrauchs zu sichern. ■

katalytischen Erzeugung von Wasserstoff beispielsweise in tragbaren Anwendungen wie in Laptops oder ähnlichen Dingen des täglichen Lebens durchaus realisierbar. „Der Laptop der Zukunft könnte nicht mit einer Batterie sondern mit einer – heute schon verfügbaren – Brennstoffzelle im Miniformat und einer austauschbaren Kartusche aus Amiensäure und Katalysator ausgerüstet sein“, erklärt Henrik Junge. Auch Träumen gehört dazu: falls es gelänge, die Produktivität der Katalysatoren noch weiter zu steigern, also die Anzahl der Wasserstoffmoleküle, die mit Hilfe eines

Moleküls des verwendeten Katalysators entstehen, noch weiter zu erhöhen, sollte es auch gelingen – langfristig, vielleicht sogar sehr langfristig – Autos mit diesem Prinzip der Stromerzeugung anzutreiben.

Wasser und Katalyse als eine mögliche Lösung der Energieprobleme

Eine visionäre Vorstellung ist die Gewinnung von Wasserstoff aus Wasser – ein „Rohstoff“, der auf unserem Planeten

Wirkstoffeffekten auf der Spur

Patch-on-Chip-System hilft bei Wirkstofftests an lebenden Zellverbänden

Philip Julian Köster, Carsten Tautorat, Werner Baumann und Jan Gimza

Das Patch Clamp – Die Membranfleck-Klemme

Wenn man in der kalten Jahreszeit mal wieder einen Schnupfen bekommt, der Hals weh tut und sich der Husten einstellt, lässt sich mancher gern ein schnell wirkendes Medikament verschreiben. In den meisten Fällen tut man dieses allerdings ohne nach möglichen Nebenwirkungen zu fragen. Diese Frage stellen sich aber Pharmakologen und nutzen zur Beantwortung eine große Auswahl verschiedenster Analysetechniken.

Eine davon ist das Patch-Clamp (patch = Fleck; clamp = Klemme), welches in den 1970er-Jahren von Erwin Neher und Bert Sakmann (Nobelpreis für Physiologie oder Medizin, 1991) an der Universität Göttingen entwickelt wurde. Die Ergebnisse ihrer Arbeiten zum Patch-Clamp und deren Verfeinerung an Einzelzellen wie z. B. Nervenzellen, die auf Glasschalen adhärent wachsen, stellten den Durchbruch in der Beurteilung von Effekten von Medikamenten auf menschliche Zellen dar. Mit der Patch-Clamp-Technik ist es möglich, einzelne Ionenkanäle in den Zellmembranen menschlicher Zellen zu untersuchen, die Kanaldurchmesser nur von wenigen Nanometern besitzen. Die Existenz sol-

cher Kanäle wurde schon in den 1960er-Jahren theoretisch vorhergesagt, ihr Nachweis gelang allerdings erst mit dem Patch-Clamp. Diese Kanäle sind steuerbare Verbindungstore der Zellen zum Umgebungsmedium oder zu Nachbarzellen, und regeln, ebenso wie andere funktionelle Einheiten der Zelle, mitunter das Transmembranpotential der lebenden Zelle. Solche Kanäle sind grundlegend für die Funktion des Gehirns, aber auch für z. B. die gesteuerte Hormonausschüttung oder auch die Synchronisation des Herzmuskelschlages. Kurz, Ionenkanäle sind wichtig für viele

schon verstandene Prozesse, stellen aber auch mögliche Schlüssel für noch unverstandene Krankheiten und deren Therapien dar. Durch die Kanäle fließen einzelne geladene und ungeladene Teilchen (Ionen, Glukose etc.). Größere Moleküle, wie z. B. Medikamente oder auch Gifte, können die meisten Kanalarten nicht passieren, docken aber an bestimmten Stellen der Ionenkanäle an und können deren Öffnungswahrscheinlichkeit, d. h. die Aktivität der Kanäle ändern. Was dabei kaum jemand weiß: die 100 wichtigsten Medikamente, z. B. auch gegen Bluthochdruck, haben genau diese Verbindungstore als Wirkungsort. Patch-Clamp im Zellverband wachsender Zellen, wie z. B. Nervenzellen in einer Kulturschale, ermöglichte erst solche Messungen von Membranpotentialen und Ionenkanalströmen.

Die automatisierten Patch-on-Chip-Systeme

Neuere Entwicklungen lassen die automatisierte Potentialableitung an einzeln schwebenden, vom Untergrund

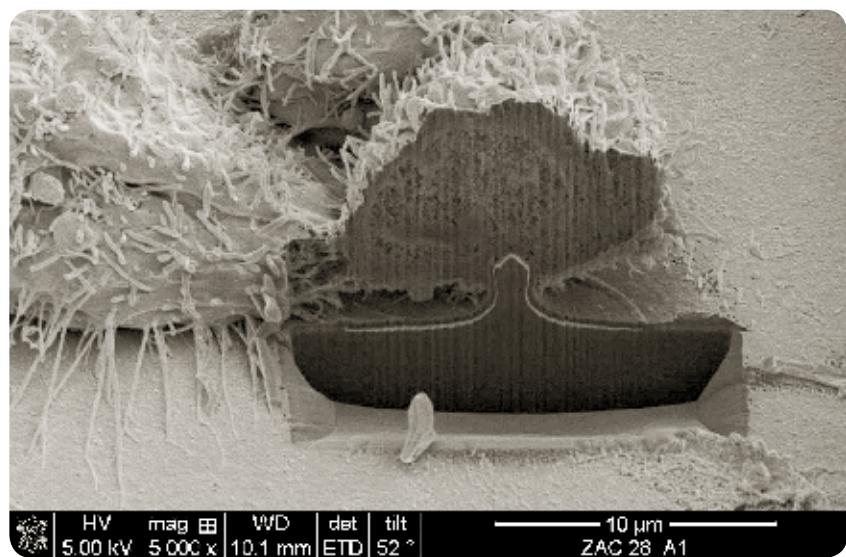


Abbildung 1: Fokussierte Ionenstrahlen schneiden weiche als auch feste Materie: Geschnittene Gewebezelle auf einer μm -dicken Nadelelektrode.

Die Autoren



Dr. rer. nat. Philipp Julian Köster

Biologe; geb. 1976 in Düsseldorf; seit 2004 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Biophysik des Instituts für Biowissenschaften, Universität Rostock; 2010 Promotion, Universität Rostock

Universität Rostock
Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät
Institut für Biowissenschaften
Lehrstuhl für Biophysik
Gertrudenstr. 11A, 18057 Rostock
Fon +49(0)381 498-6023
Mail philipp.koester@uni-rostock.de



Cand. Dr.-Ing. Carsten Tautorat

Elektrotechniker; geb. 1979 in Rostock; seit 2006 wissenschaftlicher Mitarbeiter und Doktorand am Lehrstuhl für Biophysik, Universität Rostock, Freiberufler im Bereich Veranstaltungstechnik

Universität Rostock
Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät
Institut für Biowissenschaften
Lehrstuhl für Biophysik
Gertrudenstr. 11A, 18057 Rostock
Fon +49(0)381 498-6028
Mail carsten.tautorat@uni-rostock.de



Dr. rer. nat. Werner H. Baumann

Physikstudium (1984–1990) und Promotion in Biologie (1992–1996) in Freiburg; wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Freiburg in BMBF Biosensor Forschungsprojekt (1996–1999); seit 1999 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Biophysik, Universität Rostock; Entwicklung von Zell Monitoring Mikrosystemen

Universität Rostock
Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät
Institut für Biowissenschaften
Lehrstuhl für Biophysik
Gertrudenstr. 11A, 18057 Rostock
Fon +49(0)381 498-6029
Mail werner.baumann@uni-rostock.de



Prof. Dr. rer. nat. Jan Gimsa

geboren 1958; 1979–84 Studium der Biologie an der Humboldt-Universität zu Berlin; 1984 Diplom; 1987 Promotion; 1990/91 Postdoc an der University of Minnesota, USA; 1997 Habilitation im Fach Biophysik an der Humboldt-Universität zu Berlin; 2001–2003 Vertretung des Lehrstuhls für Biophysik an der Universität Rostock und seit 2004 Lehrstuhlinhaber

Universität Rostock
Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät
Institut für Biowissenschaften
Lehrstuhl für Biophysik
Gertrudenstr. 11A, 18057 Rostock
Fon +49(0)381 498-6021
Mail jan.gimsa@uni-rostock.de

abgelösten Zellen in Suspension zu. Es muss jedoch erwähnt werden, dass 95 % der menschlichen Körperzellen im Zellverband leben und adhärent, also an anderen Zellen angeheftet, wachsen. Bezuglich dieser Zellverbände stellen die Arbeiten von Neher und Sakmann allerdings auch im Jahre 2010 grundsätzlich noch immer den Stand der Technik dar. Diese Zellen können mit derzeitigen kommerziellen automatisierten Patch-on-Chip-Systemen nicht adhärent analysiert werden. Prinzipiell funktionieren heutige Patch-Clamp-Aufbauten für adhärente Zellen wie vor 34 Jahren. Dies bedeutet für den Wissenschaftler einen sehr hohen Zeit- und Arbeitsaufwand, um eine einzelne Zelle eines Zellverbandes zu „patchen“. Zusätzlich verhindert die lange Einarbeitungszeit in die Technik einen schnellen Zugang zu Ergebnissen, so dass es an der Zeit war, die Lösung für eine elegantere Messtechnik zu finden.

Die Vorgeschichte der eigenen Entwicklungen am Lehrstuhl für Biophysik

1998 wurden gleich zwei Patente von Dr. Werner Baumann und Kollegen sowie der Firma Micronas GmbH in Freiburg angemeldet. In den Jahren 2006 bis 2009 haben dann Dr. Philipp Julian Köster (Biologie) und cand. Dr.-Ing. Carsten Tautorat (Elektrotechnik), beide vom Lehrstuhl für Biophysik (Lehrstuhlleiter Prof. Dr. Jan Gimsa) der Universität Rostock sowie weiteren Partnern, z. B. der Universität Freiburg, in dem Projekt „Mikrostrukturen und Methoden für die Intrazelluläre Bioanalytik – MIBA“ (Rostocker Teilprojektleiter: Dr. Baumann), die Grundlagen für den Prototyp eines automatisierten Patch-On-Chip-Gerätes für adhärente Zellen geschaffen. Sie

haben in diesem Projekt die Grundlagen für ein hochinteressantes Analysegerät für die Pharmaforschung entwickelt.

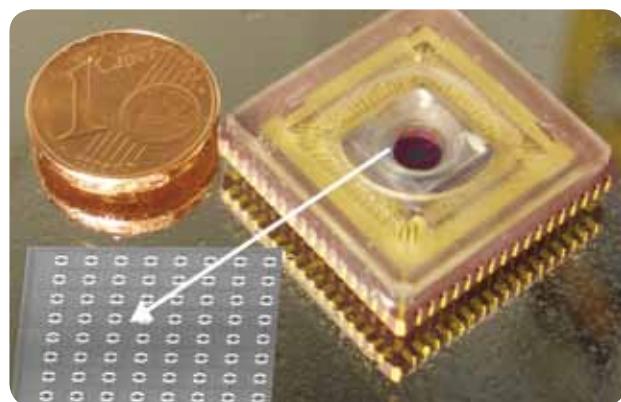
Die GO-Bio-Ausschreibung

Dr. P. Köster hat nach dem MIBA-Projekt Ende 2009 und neben der Fertigstellung seiner Dissertation innerhalb der BMBF-Ausschreibung GO-Bio (Gründungs-Offensive Biotechnologie) eine überdurchschnittliche Förderung von annähernd 2.800.000 € eingeworben. Der gebürtige Düsseldorfer ist nun seit ca. zehn Jahren in Rostock und will hier auch bleiben. Er hat sich neben fünf weiteren Preisträgern der Universitäten München, Ulm, Würzburg, Bonn und Berlin gegen 48 weitere Wettbewerber durchgesetzt. Es ist das erste Projekt („PoreGenic® – Patch-on-Chip-System für Wirkstofftests und Grundlagenforschung an adhärent vernetzten Zellen“), das im Rahmen des seit 2005 laufenden GO-Bio-Programms nach Mecklenburg-Vorpommern gekommen ist. Die Universität Rostock ist damit in dieser Ausschreibungsrunde die einzige geförderte Einrichtung aus den Neuen Ländern.

Das PoreGenic®-Projekt

Der vorwiegend am Lehrstuhl für Biophysik zu entwickelnde Prototyp PoreGenic® soll zukünftig schon während der präklinischen Phase der Untersuchung pharmazeutischer Wirkstoffeffekte an Zellverbänden dienen. Schon heute haben große Pharmafirmen Interesse an der Testung des Prototyps bekundet. Dies bestärkt das Forscherteam in seinem Ziel eine solide Firma am Standort Rostock zu gründen und aufzubauen. Das zukünftige Produkt soll die effektive Findung der Wirkstoffe beschleunigen

*Abbildung 2:
Prototyp des
PoreGenic®-Chips.
Das Patch-Clamp-
Mikroelektrodenfeld
hat eine Fläche
von nur 1 mm².*



und durch die Nutzung von Zellverbänden auch zur Reduzierung von Tierversuchen beitragen.

Mit automatisierten Konkurrenzprodukten können nur Einzelzellen und daher z. B. auch keine Effekte von Wirkstoffen auf Zellverbände untersucht werden. Das PoreGenic®-Chipsystem wird neben der Analytik an adhärenten Zellen und der Stimulation der Zellen auch die Aufzeichnung von elektrischen Biosignalen außerhalb der Zelle, z. B. von Herzmuskelzellen ermöglichen. Diese Kombination ist neben der patentierten Methodik für adhärente Zellen einzigartig und könnte die Wirkstofffindung der globalen Pharmaforschung revolutionieren. Eine breite Anwendung wird das System auch in der Grundlagenforschung an Universitäten und Forschungseinrichtungen finden, da mit dem PoreGenic®-System völlig neuartige Versuchsanordnungen mit Zellverbänden ermöglicht werden. Unter der Leitung von Dr. Köster wird die patentierte Methode zur Messung von Membranpotentialen adhärenter Zellen von Herrn Tautorat sowie einem dann insgesamt neunköpfigen Team und verschiedenen Auftragnehmern innerhalb der dreijährigen Phase 1 weiterentwickelt. Das Kernteam wurde bis zum Start des GO-Bio-Projektes im Mai 2010 glücklicherweise durch ein Projekt des Ministeriums für Bildung, Wissenschaft

und Kultur Mecklenburg-Vorpommern in Schwerin unterstützt. Nach Phase 1 schließt sich eine weitere dreijährige Phase 2 an, wenn das Forscherteam es schafft, mindestens 30 % ihrer Projekt-kosten durch Investoren zu decken.

Die Zukunft des Forscherteams

Durch die ausgezeichnete Pressearbeit des Bundesministeriums für Bildung und Forschung in Berlin sind schon Investoren auf das Forscherteam aufmerksam geworden. Das Team ist davon überzeugt, dass es diese Investoren mit dem erfolgreichen Erreichen der geplanten Meilensteine dann auch mit in das auszugründende Unternehmen einbinden kann. Langfristig plant das Team mit seinen zukünftigen Mitarbeitern die Ausgründung der Firma PoreGenic in Rostock. Die Gründung wird für 2013 angestrebt. Hierbei wird das Team durch den Projektträger Jülich, durch Coaches des neuen VentureMentor-Programms des Leibniz-Instituts für Plasmaforschung und Technologie e. V. (INP Greifswald e. V.), gefördert durch das Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur Mecklenburg-Vorpommern, den Forschungsverbund MV sowie durch das Gründerbüro der Universität Rostock unterstützt. ■

Entwicklung von neuartigen Koronarstents

Fluid- und strukturmechanische Untersuchungen von Stents zur Verminderung des Thromboserisikos

Alfred Leder, Daniel Quosdorf, Heiner Martin, Daniel Lootz und Klaus-Peter Schmitz

Einleitung

Die Implantation von Stents gehört seit vielen Jahren zu den etablierten Methoden zur Behandlung der koronaren Herzkrankheit, einer Krankheit von hoher epi-

demiologischer und volkswirtschaftlicher Bedeutung in den westlichen Industriestaaten. Ausgehend von einer Fehlfunktion des Endothels, der inneren Schicht der Gefäßwand, kommt es dabei zur Einlagerung von Kalk und Fettgewebe

bis hin zum Verschluss des betroffenen Gefäßes. Koronare Stents sind kleine gitterförmige Strukturen, die in betroffene Herzkranzgefäßabschnitte implantiert werden, um diese offen zu halten. Ihre Optimierung in Bezug auf die Blut-

Die Autoren



Prof. Dr.-Ing. Alfred Leder

geboren 1949 in Salzgitter; Physikstudium an der TU Braunschweig; Promotion und Habilitation an der Universität Siegen im Fach Strömungsmechanik; seit 1994 Professor für Strömungsmechanik an der Universität Rostock; 2004 bis 2008 Dekan der Fakultät für Maschinenbau und Schiffstechnik

Universität Rostock

Fakultät für Maschinenbau und Schiffstechnik
Lehrstuhl Strömungsmechanik
Albert-Einstein-Str. 2, 18059 Rostock
Fon +49(0)381 498-9310
Mail alfred.leder@uni-rostock.de



Dipl.-Ing. Daniel Quosdorf

geboren 1981 in Rostock; Studium Maschinenbau mit der Vertiefung Angewandte Mechanik an der Universität Rostock; seit 2007 Mitarbeiter am Lehrstuhl Strömungsmechanik

Universität Rostock
Fakultät für Maschinenbau und Schiffstechnik
Lehrstuhl Strömungsmechanik
Albert-Einstein-Str. 2, 18059 Rostock
Fon +49(0)381 498-9314
Mail daniel.quosdorf2@uni-rostock.de



PD Dr.-Ing. Heiner Martin

geboren 1958 in Dresden; Studium der Schiffstechnik an der Universität Rostock; 1986 Promotion zum Dr.-Ing. an der Universität Rostock; 2007 Habilitation auf dem Gebiet der Biomedizinischen Technik an der Universität Rostock; seit 1987 wissenschaftlicher Mitarbeiter zunächst an der Forschungsabteilung der Klinik für Innere Medizin; seit 1992 am Institut für Biomedizinische Technik der Universität Rostock

Universität Rostock

Institut für Biomedizinische Technik
Friedrich-Barnewitz-Str. 4,
18119 Rostock
Fon +49(0)381 54 345 504
Mail heiner.martin@uni-rostock.de

verträglichkeit ist Teil des vom Institut für Biomedizinische Technik der Universität Rostock koordinierten Verbundprojektes „REMEDIS – Höhere Lebensqualität durch neuartige Mikroimplantate“, das im Rahmen des Programms „Spitzenforschung und Innovation in den Neuen Ländern“ vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) von 2009 bis 2014 gefördert wird. Das hier vorgestellte Teilprojekt, das in Kooperation zwischen dem Lehrstuhl für Strömungsmechanik der Fakultät für Maschinenbau und Schiffstechnik und dem Institut für Biomedizinische Technik der Medizinischen Fakultät der Universität Rostock sowie der CORTRONIK GmbH in Warnemünde bearbeitet wird, soll zu einem besseren Verständnis der fluid- und

strukturmechanischen Eigenschaften von neuartigen Stents beitragen. Hierzu wird der Einfluss von Stents und deren Designs auf die Gefäßdurchströmung zur Optimierung unter Berücksichtigung verschiedener Disziplinen, wie z. B. Strömungsmechanik, Strukturmechanik und Werkstoffkunde, untersucht.

Einfluss der Strömungsmechanik

Die Strömung wirkt in Form von Reibungskräften auf die Gefäßwand, die sich auch als Wandschubspannungen (WSS) darstellen lassen. Viele Untersuchungen zeigen, dass diese WSS einen Einfluss auf Wachstumsprozesse der

Gefäßwandzellen haben. So stehen sie u. a. mit der Ausbildung von Durchmesser und Wandstärke eines Gefäßes in Verbindung. Von der Norm abweichende WSS führen zur Blutschädigung und tragen zu krankhaften Veränderungen wie z. B. einer Arteriosklerose bei.

Nach einer Stentimplantation setzt eine biologische Heilungsreaktion ein. Ein durch den Stent verändertes Strömungsfeld wirkt hier stimulierend auf das Zellwachstum. Es kann zu einer Wiederverengung (In-Stent-Restenose) des Gefäßes kommen, die den zuvor erzielten Behandlungserfolg mindert. Ein weiteres Problem sind Thrombosen, die sich bilden, wenn Thrombozyten aus dem Blut aktiviert werden und Gerinnungsprozesse in Gang gesetzt werden. Die Anlagerung und Aktivierung dieser Blutbestandteile wird auch von der Strömung beeinflusst.

Experiment

Die Untersuchung der Stendurchströmung findet an Ersatzmodellen mit Hilfe der Micro-Particle-Image-Velocimetry (Micro-PIV) statt. Bei dieser Technik werden dem Fluid fluoreszierende Partikel zugesetzt, deren strömungsbedingte Ortsveränderung innerhalb eines kurzen Zeitabschnittes unter dem Mikroskop beobachtet wird. Zur Auswertung stehen Korrelationstechniken sowie Particle-Tracking-Techniken zur Verfügung. Die Anregung der Fluoreszenz erfolgt dabei mit Hilfe eines Pulslasers. Besondere Anforderungen an den Versuchsstand ergeben sich aus der erforderlichen optischen Zugänglichkeit und der Entwicklung eines Fluids, das dem menschlichen Blut in seinen rheologischen Eigenschaften ähnlich ist. Zusätzlich muss eine Anpassung des Brechungs-



Dr.-Ing. Daniel Lootz

geboren 1970 in Burg; Studium Maschinenbau und Schiffstechnik mit der Vertiefung Angewandte Biomechanik an der Universität Rostock; Promotion an der Universität Rostock im Fachbereich Maschinenbau und Schiffstechnik; seit 2000 Mitarbeiter der CORTRONIK GmbH im Bereich Stententwicklung

CORTRONIK GmbH
Friedrich-Barnewitz-Str. 4a,
18119 Rostock
Fon +49(0)381 8173-7120
Mail daniel.lootz@cortronik.de



Prof. Dr.-Ing. Klaus-Peter Schmitz

geboren 1946 in Warnemünde; Studium der Angewandten Mechanik in Rostock; 1972 Promotion in Technischer Mechanik; 1980 Habilitation; 1972 – 1984 Entwicklungsingenieur in der Schiffbauindustrie; ab 1984 Tätigkeit in der Forschungsabteilung Künstliche Organe der Klinik für Innere Medizin; 1992 Professur für Biomedizinische Technik an der Universität Rostock und Direktor des Instituts für Biomedizinische Technik; seit 1993 ordentliches Mitglied der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften

Universität Rostock
Institut für Biomedizinische Technik
Friedrich-Barnewitz-Str. 4, 18119 Rostock
Fon +49(0)381 54345-500
Mail klaus-peter.schmitz@uni-rostock.de

indexes erfolgen, um optische Verzerrungen an gekrümmten Oberflächen zu verhindern. Die Abbildung 1 zeigt erste Messergebnisse, die mit Hilfe der Micro-PIV ermittelt wurden. Dargestellt ist das Geschwindigkeitsfeld.

Strukturmechanische Untersuchungen

Die Implantation eines Stents führt zu einem wesentlichen Eingriff in die strukturmechanischen Eigenschaften der Arterie. Der Stent verringert die Nachgiebigkeit des Gefäßes auf Grund seiner eigenen Struktursteifigkeit gegenüber dem physiologischen Zustand. Der Stent muss die Gefäßverengung offen halten, soll aber darüber hinaus die Nachgiebigkeit des Gefäßes, die für die Hämodynamik des Gefäßes entscheidend ist, möglichst wenig beeinflussen. In diesem Zusammenhang sind strukturmechanische Untersuchungen des Stents in Verbindung mit dem Gefäß von Interesse. Die strukturmechanische Analyse trägt

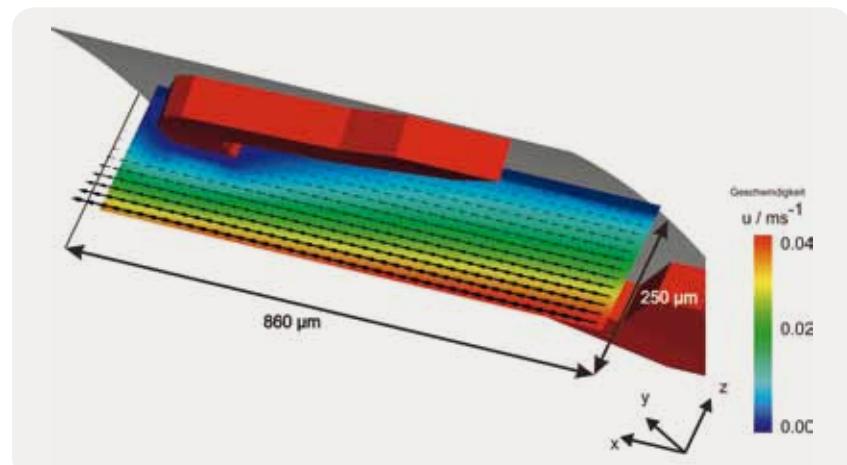


Abbildung 1: Experimentell ermitteltes Geschwindigkeitsfeld an einer Stentstruktur

nicht nur zur Einhaltung der unverzichtbaren Qualitätsparameter von Stents wie Rückfederung und Radialfestigkeit bei. Sie kann auch für eine verbesserte Anpassung der Nachgiebigkeit des Stents eingesetzt werden. Dabei geht es neben der besonders in peripheren Gefäßen wichtigen Erreichung der Biegsamkeit des gestenteten Gefäßes auch um die radiale Nachgiebigkeit des Gefäßes, die durch den Stent nicht unzulässig herabgesetzt werden soll.

Als Methode dient dazu hauptsächlich die Finite-Elemente-Analyse. Die Anwendung dieser Methode auf ein sehr feingliedriges Bauteil, wie dem Stent, im Zusammenhang mit dem Gefäß, bringt besondere Herausforderungen mit sich. Dabei sind besonders die Materialeigenschaften der biologischen Bestandteile des Gefäßes zu nennen. Die genaue Kenntnis und Nachbildung dieser Materialeigenschaften ist für die strukturmechanische Analyse des Stents in Zusammenhang mit dem Gefäß wichtig, da die Finite-Elemente-Analyse diese Kenntnis voraussetzt.

Daneben ist die Beherrschung des Kontaktproblems zwischen Stent und Gefäß von besonderer Bedeutung. Ein Stent muss den wechselnden Belastungen infolge der Bewegungen der Gefäßwand widerstehen. Dies bedeutet neben der Festigkeit gegenüber dem Stabilitätsverlust (Kollaps) auch die Gewährleistung der Betriebsfestigkeit. Derartige Berechnungen sind auf Grund der zahlreichen zu berücksichtigenden Nichtlinearitäten und der iterativen Lösung sehr anspruchsvolle Aufgaben. Abbildung 2 zeigt ein FE-Modell eines Gefäßes mit Stent zur Untersuchung der mechanischen Stent-Gefäßinteraktion. ■

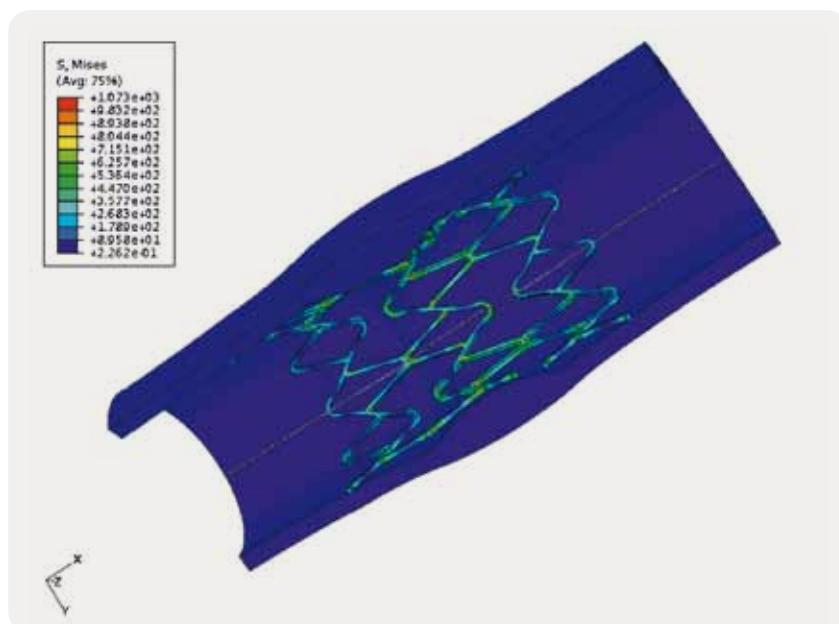


Abbildung 2: Finite-Elemente-Modell von Stent und Gefäß mit Darstellung der berechneten Spannungsverteilung

Modellkörper

Im Computer nachgebildet verstehen
Forscher die Biologie besser

Roland Knauer (freier Journalist)

„Niemand wird einen Steinhaufen als bewohnbares Haus ansehen. Genauso wenig ist eine Suppe aus Zellen ein Körperorgan oder ein Organismus.“ Mit solchen Vergleichen deckt Olaf Wolkenhauer vom Lehrstuhl für Systembiologie und Bioinformatik der Rostocker Universität ein wichtiges Problem vieler Biologen und Mediziner auf: Sie kennen zwar die Komponenten in einer Zelle oder einem Organ oft genau. Wie aber 20 oder 30 Milliarden Zellen kooperieren und einen funktionierenden Dickdarm bilden, wissen sie damit noch lange nicht.

Auch wer die Signale einer Ampel und die Botschaft von Verkehrsschildern versteht, weiß schließlich noch nicht, wo die Verkehrsschilder stehen sollen und wie die vielen Ampeln geschalten werden müssen, um den Verkehr in der ganzen Stadt fließen zu lassen. Das Gehirn des Menschen ist für solche komplexen Systeme nämlich nicht eingerichtet. „Wir überblicken Systeme mit einigen Komponenten gut, die über lineare Beziehungen zusammen hängen“,

erklärt Olaf Wolkenhauer. Genau das aber ist der Dickdarm eines Menschen mit seinen vielen interagierenden Zellen und noch viel mehr Signalen eben nicht. Obendrein sind viele Beziehungen im Zusammenspiel der Zellen nicht linear. Doppelt so viele Signale bedeuten zum Beispiel nicht, dass die Verdauung doppelt so schnell geht. Auch auf der Straße verdoppeln zwei grüne Ampeln an der Stelle einer einzigen ja den Verkehrsfluss nicht zwangsläufig.

Diesen Engpass der geistigen Kapazitäten eines jeden Menschen können Computer überwinden. Und so simulieren inzwischen Biologen, Mathematiker,

Informatiker, Biochemiker, Ingenieure, Biophysiker, Mediziner und viele weitere Spezialisten auf ihren Rechnern die Vorgänge im Körpergewebe und die komplizierten Kaskaden verschiedener Signale in Zellen, um zum Beispiel zu verstehen, wie im Dickdarm Krebs entstehen kann. Allerdings könnte man diese Frage auch anders formulieren: Wie so entsteht eigentlich so selten Krebs? Schließlich besteht der Dickdarm nicht nur aus Milliarden Zellen, die auf die Verdauung spezialisiert sind. Viele dieser Zellen sind bereits nach einer Woche im Wortsinn am Ende und werden von einer Kette von Signalen zum Zelltod gebracht. Um den Dickdarm einmal in der Woche rundzuerneuern produziert der Organismus jede Sekunde tausende neue Dickdarmzellen.

Der Vergleich mit den Verkehrsampeln und deren immer wieder vorkommenden Ausfällen in einer Großstadt zeigt, dass hier wie dort jede Menge Fehler passieren müssen. Fehler in den Kaskaden der Signale in einem Organismus aber können unter Umständen Krebs bedeuten, wissen Mediziner und Biologen schon

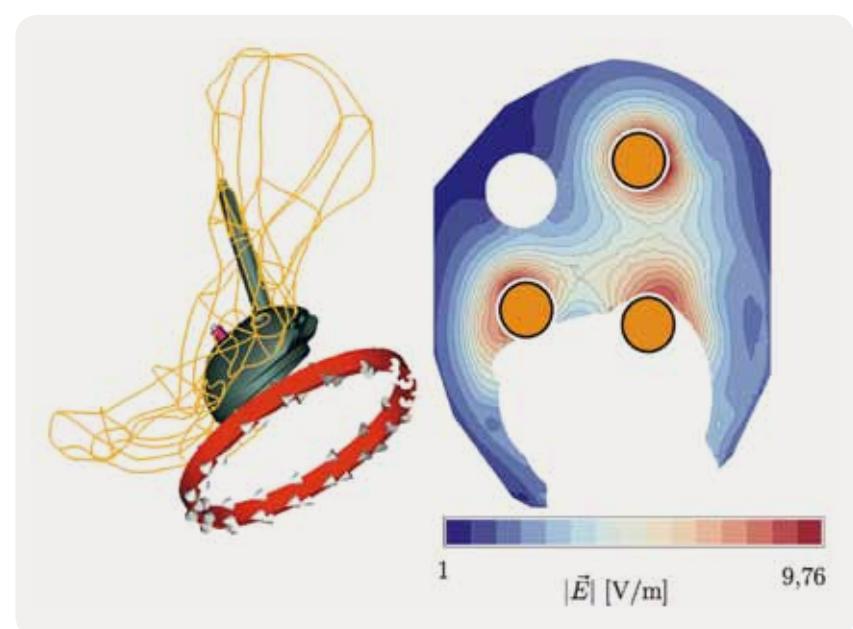


Abbildung 1: Systembiologie

Die Forscher



Prof. Olaf Wolkenhauer, PhD

1989–1994 Studium der Elektrotechnik in Hamburg und Portsmouth; 1997 Promotion in Manchester, England; 1997 – 2003 Dozent am Institut für Wissenschaft und Technologie der Universität Manchester; seit 2003 Professor für Systembiologie und Bioinformatik in Rostock; seit 2005 Fellow des Stellenbosch Institutes of Advanced Study; seit 2004 Adjunct Professor an der Case Western Reserve University, Cleveland USA

Universität Rostock
Fakultät für Informatik und Elektrotechnik
Lehrstuhl für Bioinformatik und
Systembiologie
Ulmenstr. 69, 18057 Rostock
Fon +49(0)381 498-7570
Mail: ow@informatik.uni-rostock.de



Prof. Dr. rer. nat. Ursula van Rienen

1976 – 1983 Studium der Mathematik, Universität Bonn; 1983 – 1989 Wissenschaftliche Mitarbeiterin bei der Stiftung Deutsches Elektronen-Synchrotron (DESY), Hamburg; Doktorandin (Maschinenphysik); 1989 Promotion zur Dr. rer. nat. (Mathematik), TH Darmstadt; 1989 – 1995 Wissenschaftliche Angestellte, TH Darmstadt; 1995 – 1997 Stipendiatin der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG); Lehrbeauftragte, TH Darmstadt; 1997 Habilitation zur Dr. rer. nat. habil. (Theoretische Elektrotechnik und Wissenschaftliches Rechnen), TH Darmstadt; seit 1997 Professorin, Universität Rostock

Universität Rostock
Fakultät für Informatik und Elektrotechnik
Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik
Justus von Liebig-Weg 2, 18059 Rostock
Fon +49(0)381 498-7070
Mail ursula.van-rienen@uni-rostock.de

lange. Versteht man mit Computerprogrammen aber eines Tages, wie ein Tumor im Dickdarm entsteht, kann man auch simulieren, wie Medikamente die Entstehung oder Hemmung von Krebs beeinflussen könnten.

Ein ähnliches Ziel verfolgt Ursula van Rienen vom Institut für Allgemeine Elektrotechnik, wenn sie Implantate und ihre Wechselwirkung mit dem Organismus untersucht. Bei Operationen am Hüftgelenk entdecken Chirurgen und Orthopäden immer wieder, dass Knochenpartien der Hüfte stark geschädigt sind, die nicht durch ein Implantat ersetzt werden sollen oder können. Längst wissen Ärzte auch, wie sie die beschädigte Knochensubstanz um das Implantat zum Wachsen bringen können: Elektrische Felder regen die Knochenzellen zur Vermehrung an. „Das elektrische Feld täuscht den Knochen im Prinzip eine Bewegung vor“, erklärt Ursula van Rienen, die gleichzeitig Prorektorin für Forschung der Universität Rostock ist. Und Bewegung lässt Knochengewebe sich regenerieren, ist aber bei frisch operierten Patienten oft nicht so einfach möglich.

Man könnte also das künstliche Hüftgelenk mit Elektroden versehen und den Patienten nach der Operation in eine spezielle Spule legen. Deren Magnetfeld erzeugt ein elektrisches Feld, das die Knochen zum Wachsen anregt. Wo aber müssen die Elektroden angebracht und welche Feldstärke soll erzeugt werden? Vor der Anwendung in der Klinik sollten solche Fragen auf jeden Fall in einer Computersimulation beantwortet werden, die dann zeigt, wie der Knochen auf diese Behandlung reagiert. Computermodelle werden in Zukunft also genauso zum Handwerkszeug eines Arztes gehören wie das Stethoskop.

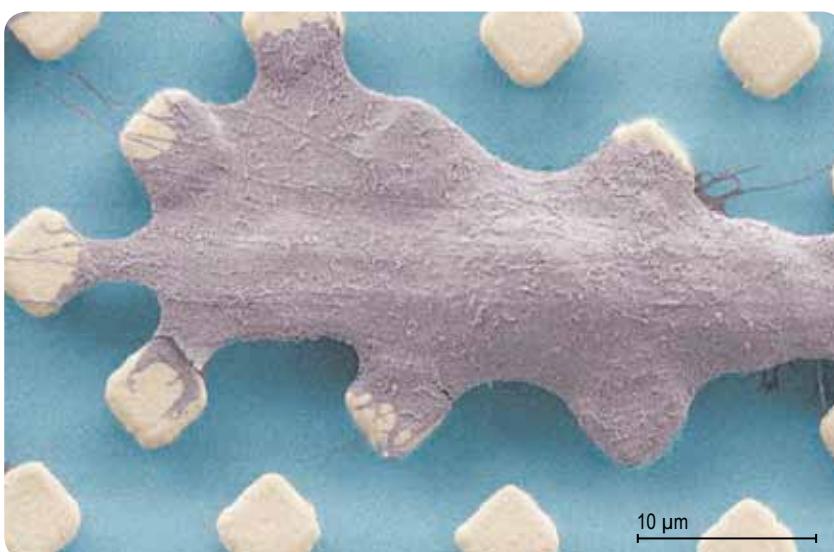


Abbildung 2: Knochenvorläuferzellen auf strukturierten Oberflächen

Zuverlässigkeit und Energieeffizienz in der Nanoelektronik

Stephan Kubisch und Dirk Timmermann

Einführung

Halbleiterbausteine im Mikro- und Nano-
bereich – im Allgemeinen gerne als Mi-
krochips bezeichnet – prägen unsere
Welt. Die reibungslose und vor allem kor-
rekte sowie zuverlässige Funktion die-
ser Mikrochips ist dabei für den Nutzer
ganz selbstverständlich. Diese Eigen-
schaften sowohl ökonomisch und öko-
logisch vertretbar umzusetzen als auch
dauerhaft zu garantieren, wird jedoch
in zunehmendem Maße durch Komple-
xität sowie physikalische Einflüsse er-
schwert. Es kann zu Fehlfunktionen oder
Ausfällen kommen, die angesichts des
immer umfangreicheren Einflusses von
Mikroelektronik und darauf aufbauender
Informationstechnik auch in sicherheits-
relevanten Bereichen – wie dem Verkehr,

der Medizintechnik oder beim Militär – nicht vorkommen dürfen oder deren Einfluss durch geeignete Methoden abgeschwächt werden muss. Die volkswirtschaftliche Bedeutung zeigt sich z. B. bei der bekanntgewordenen falschen Verarbeitung der Jahreszahl 2010 im Chip der EC-Karten.

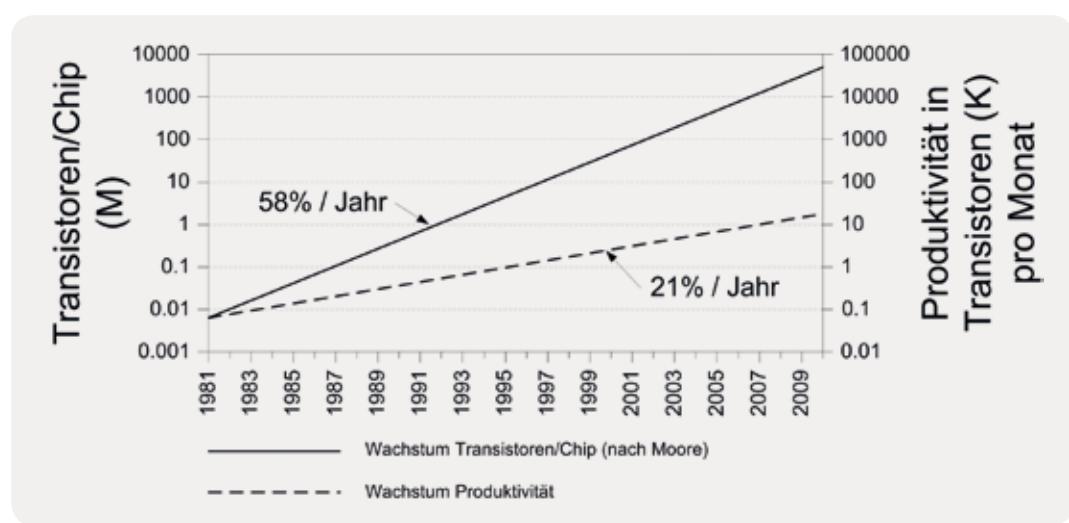
Technologischer Hintergrund und Anforderungen

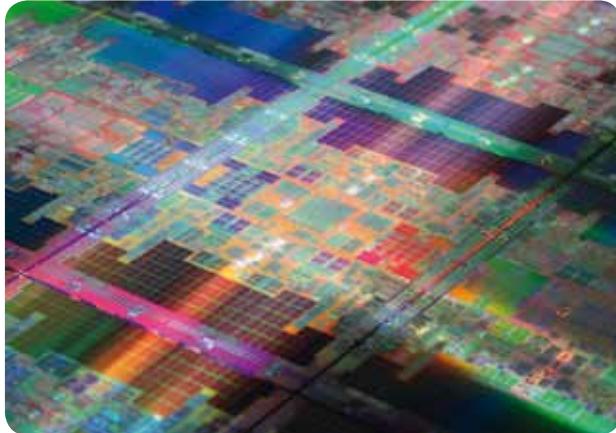
Nach dem rein empirisch begründeten Mooreschen Gesetz von 1965 verdop-
pelt sich die Anzahl der auf einem Chip realisierbaren Transistoren ca. alle
18 Monate aufgrund der Skalierung der Technologieparameter sowie der Mini-
aturisierung der Transistorgeometrien

(siehe Abbildung 1). Die wirtschaftliche Folge ist, dass immer mehr Ressourcen investiert werden müssen, um einen Chip der nächsten Generation zu entwerfen. Bereits Anfang 2008 stellte Intel mit dem Itanium einen Prozessor vor, der aus mehr als 2 Mrd. Transistoren besteht (siehe Abbildung 2). Die Rechengeschwindigkeit mikroelektronischer Schaltungen konnte durch diese Skalierung in den letzten Jahrzehnten erheblich gesteigert werden. Im Ge-gensatz dazu werden Ausbeute und Zu-
verlässigkeit mit jeder fortschreitenden Verkleinerung negativ beeinflusst. Die Reduzierung der physikalischen Dimen-
sionen auf wenige Atomlagen auf dem Chip führt zu schmalen Kosten-, Design- und Prozessfehlerspannen, was in einer erhöhten Fehleranfälligkeit resultiert.

Deshalb spielen Zuverlässigkeitssaspek-
te eine zunehmend wichtigere Rolle im Chip-Entwurf. Die Erhöhung der Aus-
beute bei der Fertigung ist nicht mehr alleiniges Ziel. So rücken der Umgang mit sowohl transienten (zufällig, tempo-
rär) als auch permanenten Fehlern (z. B.
Gate Oxide Breakdown, eine Art Mini-
Kurzschluss) oder Parametervariationen in den Fokus der Forschung. Die Ursachen sind einleuchtend. Die Gateoxyd-

Abbildung 1:
Wachsende Lücke
zwischen Entwurfs-
produktivität und
möglicher Anzahl
Transistoren/Chip
(vereinfacht)





*Abbildung 2:
Blick auf den
Wafer eines Intel
Itanium Prozessors
(Quelle: Intel)*

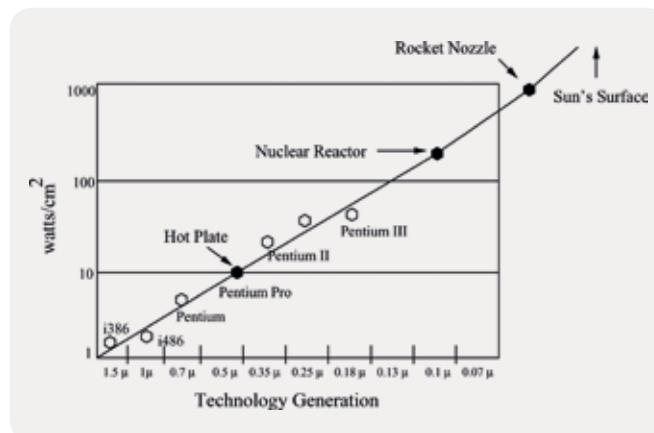
dicke eines Transistors bestimmt seine wesentlichen Parameter wie z. B. seine Geschwindigkeit und beträgt inzwischen nur noch ca. 1 nm, was drei bis vier Atomlagen entspricht. Da das Gateoxyd nicht Atom für Atom, sondern in einer Massenfertigung aufgebracht wird, sind Schwankungen um plus / minus eine Atomlage unvermeidlich. Während dies bei früheren Gateoxyddicken von 10 nm einer Parameterabweichung von 3 % entsprach, variieren nun der Energieverbrauch und die Geschwindigkeit um plus / minus 35 %. Bei einzelnen Transistoren können die Schwankungen in den Produktions- und Umgebungsbedingungen (Temperatur, mechanischer und elektrischer Stress) zum Kompletausfall führen. Bei mehreren Milliarden Transistoren pro Chip ist es statistisch sehr unwahrscheinlich, dass alle funktionieren. Anderseits steigt mit zunehmendem Leistungsverbrauch die Ausfallwahrscheinlichkeit. Willkommen in der Welt der Nanoelektronik!

ken auf den tieferen physikalischen Ebenen, verbunden mit Dynamic Reliability Management sowie mit neuartigen architektonischen Ansätzen wie Networks-on-Chip (NoC). Im Ergebnis sollen eine deutlich höhere Energieeffizienz durch verbesserte Entwurfs-Methoden sowie eine damit einhergehende gesteigerte Robustheit zukünftiger integrierter Systeme erreicht werden.

Die bedeutendste Ursache für die Notwendigkeit einer gesteigerten Energieeffizienz ist die fortschreitende Verkleinerung der Schaltungsstrukturen. Sie lässt die Leistungsdichte im Chip drastisch ansteigen. Diese liegt momentan zwischen der einer Herdplatte und eines Nuklearreaktors (siehe Abbildung 3). Die Probleme beim Ableiten der entstehenden Energiemengen in Form von

Wärme aus immer kleineren Bereichen der Schaltung wachsen. Einzelne besonders heiße Bereiche (Hot Spots) können die Zuverlässigkeit des Systems stark beeinträchtigen. Ein Ausfall von Systemkomponenten wird damit wahrscheinlich. Durch Ressourcenmanagement zur Laufzeit des Systems lassen sich, wie unsere Untersuchungen zeigen, der Energieverbrauch und die thermische Verteilung im System optimieren. Wenn z. B. in einem aus mehreren hundert Funktionsblöcken bestehenden System die einzelnen Blöcke abschaltbar oder in ihrer Leistung und ihrem Energieverbrauch mehrstufig regulierbar sind, sucht ein intelligentes Monitoring (Dynamic Reliability Management) fortwährend nach dem besten Kompromiss aus Geschwindigkeit und Zuverlässigkeit. Wenn doch ein Schaltungsblock ausfällt, wird dies erkannt und andere Komponenten übernehmen nahtlos dessen Funktion.

Darüber hinaus bilden die Themen Networks-on-Chip (www.networks-on-chip.com) für diese Untersuchungen eine sehr gute Basis. Bei einem NoC-Ansatz wird das herkömmliche Bussystem, das die Kommunikation der Systemkomponenten ermöglicht, durch ein verteiltes, vermaschtes Netz, ähnlich dem Internet, ersetzt. So können wesentlich größere, parallel verfügbare Kommunikations-



*Abbildung 3:
Prognose der
Leistungsdichte
moderner
Prozessoren*

Forschung am Institut

Wir untersuchen daher u. a. Optimierungsmethoden bzgl. der Energieeffizienz nanoelektronischer Hardwaresysteme auf den höheren Ebenen des Entwurfsprozesses, Low Power Techni-

ressourcen auf dem Chip bereitgestellt werden. NoC werden auf zukünftigen Chips eine große Zahl funktionaler Einheiten miteinander verbinden. Momentan wird hinsichtlich des Energiebedarfs von NoC geforscht. Dies bezieht sich auf die zusätzliche Optimierung einzelner Bauteile und Schaltungsgruppen, z. B. der NoC-Router. Dazu gehören Techniken wie Dynamic Voltage Scaling (DVS) und Dynamic Clock Scaling (DCS), bei denen Takt sowie Versorgungsspannung der Schaltungsgruppen für die Zeit reduziert werden, in der wenig Leistung gefordert wird. Drastischere Techniken stellen Clock Gating und die sogenannten Sleep Transistoren dar, bei denen der Takt bzw. die Versorgungsspannung der Schaltung komplett abgeschaltet werden, wenn der Schaltungsteil nicht benötigt wird. Diese und weitere entwickelte Low-Level-Design-Techniken stehen zur Verfügung, um die Energieeffizienz von zukünftigen Systemen zu steigern.

Aufbauend auf den oben genannten Forschungen werden Methoden entwickelt, mit denen sich die gewonnenen Erkenntnisse mit den ermittelten Methoden zur Steigerung der Energieeffizienz kombinieren und schließlich in den gesamten Entwicklungskreislauf einbeziehen lassen.

Fazit

Die Forderung nach energiesparenden Systemen begründet sich u. a. in der gestiegenen Nutzung mobiler Anwendungen. Die Entwicklung der Batterie- bzw. Akkutechnik kann den exponentiellen Fortschritten der Nanotechnik jedoch nicht folgen. Derzeit schon hohe und perspektivisch weiter steigende Energiekosten sowie ökologische Fragestellungen motivieren ebenfalls Un-

Die Autoren



Dr.-Ing. Stephan Kubisch

1998–2004 Studium Informationstechnik / Technische Informatik Universität Rostock, Abschluss: Diplom-Ingenieur (Dipl.-Ing.) Informationstechnik; 2004–2009 Promotionsstudium Institut für Angewandte Mikroelektronik und Datentechnik Universität Rostock, Abschluss: Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.); 1999–2000 DGW-Datennetze GmbH, Niederlassung Rostock, Servicetechniker im Außendienst; 2001–2002 Texas Instruments Deutschland GmbH, Standort Freising b. München; 2004–2010 Institut für Angewandte Mikroelektronik und Datentechnik, Fakultät für Informatik und Elektrotechnik, Universität Rostock, Wissenschaftlicher Mitarbeiter; seit 2010 TRINAMIC Motion Control GmbH & Co KG, Senior IC Designer

TRINAMIC

Motion Control GmbH & Co KG
Sternstr. 67, 20357 Hamburg
Fon +49(0)40 514806-53
Mail kubisch@trinamic.com



Prof. Dr.-Ing. Dirk Timmermann

1984 Studium der Elektrotechnik Dipl.-Ing., Universität Dortmund; 1990 Promotion Dr.-Ing., Universität Duisburg; 1993–1994 Professor für Datentechnik, Universität-GH Paderborn; 10/1989–8/1993 Projektleiter am Fraunhofer Institut für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme, Duisburg; 1993–1994 Professor für Datentechnik an der Universität-GH Paderborn; seit 10/1994 ordentlicher Universitätsprofessor (C4) an der Universität Rostock, Fakultät für Informatik und Elektrotechnik, Leiter und Geschäftsführender Direktor des Instituts für Angewandte Mikroelektronik und Datentechnik (bis 1996 Institut für Technische Informatik), Inhaber des Lehrstuhls für Rechner in Technischen Systemen

Universität Rostock

Fakultät für Informatik und Elektrotechnik
Institut für Angewandte Mikroelektronik und Datentechnik
Richard-Wagner-Str. 31,
18119 Rostock-Warnemünde
Fon +49(0)381 498-7250
Mail dirk.timmermann@uni-rostock.de

tersuchungen zur verbesserten Energieausbeute.

Die Forderung nach Robustheit und Zuverlässigkeit begründet sich durch den zunehmenden Einfluss von Mikroelektronik und Informationstechnik in sicherheitsrelevanten Anwendungsgebieten. Doch einzelne transiente Fehler, permanente Defekte und Hardwarefehler werden zunehmend auftreten. Das Ziel

ist es, entsprechend mit diesen Fehlern umzugehen und mit ihnen zu leben. Aus diesen Gründen besteht enormer Forschungsbedarf bzgl. des Entwurfs digitaler Mikrochips. Mit dem Institut für Angewandte Mikroelektronik und Datentechnik ist die Universität Rostock innerhalb ihrer Profillinie Life, Light und Matter aktiv und erfolgreich an diesem zukunftsträchtigen Wissenschaftsbereich beteiligt. ■

Volle Sehkraft bis ins hohe Alter

Neue Methoden zur Erforschung
der Alterssichtigkeit

Heinrich Stolz, Oliver Stachs und Rudolf F. Guthoff

Akkommodation und Presbyopie

Am liebsten würde jeder bis ins hohe Alter hinein scharf sehen können. Doch leider macht auch das Alter vor dem Auge nicht halt. Die Augen als die „Fenster der Seele“ stehen als das wichtigste Sinnesorgan des Menschen seit jeher im besonderen Blickpunkt der Wissenschaft.

Jetzt scheinen Eingriffe möglich, von denen man vor Jahrzehnten nicht einmal zu träumen wagte. Die Linse des Auges verändert sich mit zunehmendem Lebensalter hinsichtlich ihrer Form und mechanischen Eigenschaften. Der Grund: die Akkommodation, das heißt die Brechkraftänderung des Auges, funktioniert nicht mehr ausreichend. Da die Änderung des Krümmungsradius' der Lin-

se vor allem für das Sehen in der Nähe benötigt wird, führt die größer werdende Steifigkeit der Linse dazu, dass die Menschen im Alter weitsichtig werden. Dies wird als Alterssichtigkeit oder Presbyopie bezeichnet. Die Folgen kennt jeder: Zeitung oder Buch werden zum Lesen entsprechend weit weg gehalten, bis die Länge der Arme nicht mehr reicht. Die Brille wird zum ständigen Begleiter.

Suche nach den Ursachen

Die Ursachen der Alterssichtigkeit zu erforschen und entsprechende Korrekturkonzepte zu entwickeln, sind aktuelle Herausforderungen in der Augenheilkunde. Eine wesentliche Fragestellung ist dabei die Bestimmung der elastischen Eigenschaften der Linse. Doch die allgemeinen Kenntnisse über die Linsensteifigkeit stammen bisher ausschließlich aus Messungen an extrahierten Linsen.

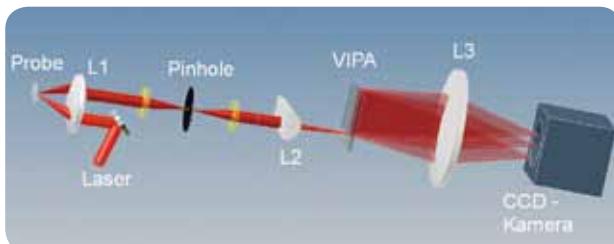


Abbildung 1: Strahlengang für die Messung der Brillouin-Streuung.

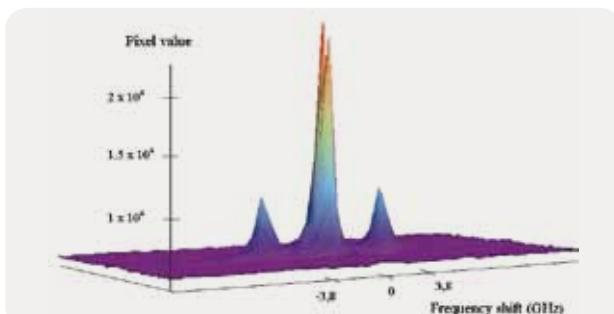


Abbildung 2: Brillouin-Spektrum einer Gewebeprobe, wobei die Position der symmetrisch angeordneten Peaks Auskunft über die Elastizität der Probe gibt.

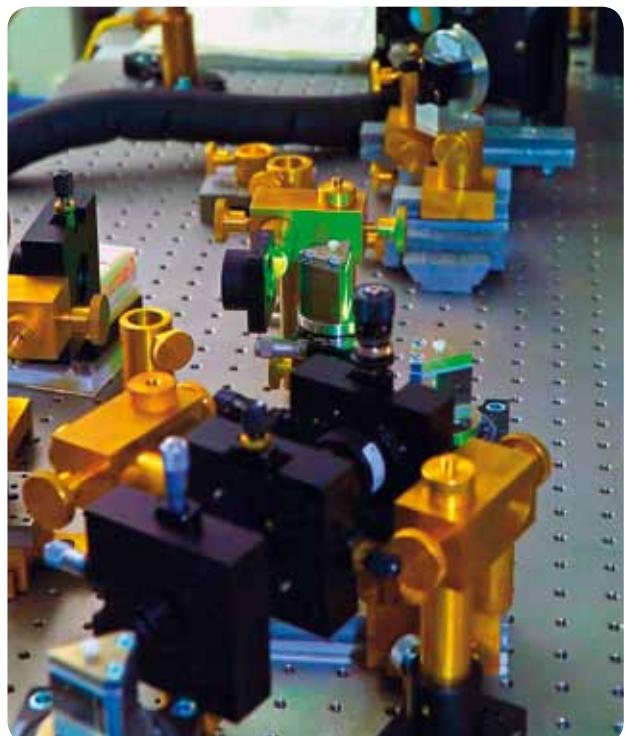


Abbildung 3: Laseraufbau zur Messung der Schallwellen in einer Augenlinse.

Wünschenswert wäre dagegen eine direkte Messung im lebenden Auge, die es auch ermöglichen würde, die Auswirkungen einer medikamentösen Behandlung besser kontrollieren zu können. Gelänge dies, dann ließe sich auch die Veränderung einer implantierten elastischen Ersatzlinse verfolgen. Eine solche Messmethode würde die Augenheilkunde revolutionieren.

Brillouin-Streuung

So gesehen ist es durchaus revolutionär zu nennen, was sich die Rostocker Arbeitsgruppe aus Physikern und Medizinern um Heinrich Stoltz, Oliver Stachs und Rudolf Guthoff in ihren interdisziplinären Forschungen vorgenommen hat. Mit Hilfe der Brillouin-Streuung, das heißt der Streuung perfekt einfarbigen Laserlichtes an Schallwellen in der Linse, soll das elastische Verhalten von Augenlinsen und damit ihr Alterungsprozess sichtbar gemacht werden. Einbettet ist die Forschung in die Strukturen des Departments Life, Light & Matter der Universität Rostock und in die zwei hochkarätigen Forschungsprogramme „Mikro- und Nanosysteme in der Medizin – Rekonstruktion biologischer Funktionen“ und „Höhere Lebensqualität durch neuartige Mikroimplantate“, an denen die Universität Rostock maßgeblich beteiligt ist. Damit sind die Arbeiten in ein integratives Konzept eingebunden, in dem die verschiedensten Mess- aber auch Therapiemethoden der Augenheilkunde kombiniert werden.

Ein erster Messaufbau wurde vor allem durch Stephan Reiß im Rahmen seiner Promotion erarbeitet. Diese Arbeiten werden durch ein Stipendium des Departments Life, Light & Matter ermöglicht. Die ersten Ergebnisse sind sehr

Die Autoren



Prof. Dr. med. Rudolf F. Guthoff

geboren 1948 in Ingelheim / Rhein; Studium der Humanmedizin an der Johann-Wolfgang-Goethe-Universität Frankfurt / Main; 1974 Promotion; 1977 – 1985 wissenschaftlicher Assistent an der Augenklinik der Universität Hamburg; 1983 Clinical and research Fellow am Moorfields Eye Hospital London; 1985 Habilitation auf dem Gebiet der Augenheilkunde; Oberarztätigkeit Hamburg; 1991 Ernennung zum apl. Professor; seit Oktober 1992 Direktor der Universitäts-Augenklinik Rostock; 1996 – 2000 Prodekan für Forschung und Wissenschaftsentwicklung; 2000 – 2004 Dekan der Medizinischen Fakultät der Universität Rostock; seit 2005 Mitglied der Deutschen Akademie der Wissenschaften LEOPOLDINA; seit 2006 Prodekan für Forschung und Wissenschaftsentwicklung

Universität Rostock

Universitätsaugenklinik Rostock
Doberaner Str. 140, 18057 Rostock
Fon +49(0)381 494-8501
Mail rudolf.guthoff@med.uni-rostock.de



Prof. Dr. rer. nat. Heinrich Stoltz

1976 Studium und Diplom der Physik, TU Darmstadt; 1976 – 1979 Doktorand an der Universität Paderborn; 1979 – 1983 wissenschaftlicher Mitarbeiter der Experimentellen Physik, Universität Paderborn; 1983 – 1996 Akademischer Rat im Fachbereich Physik, Universität Paderborn; seit 1996 Professor für Halbleiterphysik an der Universität Rostock

Universität Rostock

Institut für Physik
Universitätsplatz 3, 18051 Rostock
Fon +49(0)381 498-6780
Mail heinrich.stoltz@uni-rostock.de



PD Dr. rer. nat. Oliver Stachs

1986 – 1991 Studium der Physik, Universität Rostock; 1996 Promotion, Dr. rer. nat. (Experimentalphysik), Universität Rostock; 1997 Stipendiat der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina; 2008 Habilitation Dr. rer. nat. habil. (Experimentelle Ophthalmologie), Universität Rostock

Universität Rostock

Universitätsaugenklinik Rostock
Doberaner Str. 150, 18057 Rostock
Fon +49(0)381 494-8565
Mail oliver.stachs@uni-rostock.de

Stents: Große Architektur im Miniformat

Klaus-Peter Schmitz und Katrin Sternberg

Stents sind kleine architektonische Meisterwerke, die als medizinische Implantate in bestimmte Organe eingebracht werden, um sie zu stabilisieren, zu erweitern oder als Spender von Medikamenten zu dienen. Ziel der aktuellen Forschungsarbeiten auf diesem Gebiet ist es, zu bewirken, dass sich Stents nach getaner Arbeit im Organismus auflösen.

Rostocker Stent-Architektur

Stents sind Wunderwerke der Technik und der Architektur, die auch unter extremen Bedingungen funktionieren müssen. Stent-Architekten sind Naturwissenschaftler, Mediziner und Ingenieure. Ihr Markenzeichen in Rostock ist

ihr weltweit anerkannter Erfolg. Diese kleinen Gittergerüste aus Metall oder Kunststoff in den verschiedensten Formen haben die Medizin in den letzten Jahren revolutioniert.

Diese Architektur im Millimeter- und Mikrometerbereich soll zukünftig bisher nicht ausreichend behandelbare Krankheiten therapierbar machen. Mikrostents sollen z.B. bei der Behandlung des Glaukoms (Grüner Star) eingesetzt werden, der bisher zwangsläufig zur Erblindung führt, oder bei der Behandlung von Belüftungsstörungen im Mittelohr. Der Einsatz von Stents in der Medizin ist nach heutigen Erkenntnissen nahezu unbegrenzt. Ein Weltmarkt, der Milliardenumsätze verspricht. Auch das macht die kleinen Meisterwerke so interessant.



Abbildung 1: Die Mini-Architektur im Millimeter- und Mikrometerbereich therapiert bisher nicht ausreichend behandelbare Krankheiten. Foto: Klaus-Peter Schmitz

REMEDIS – internationales Netzwerk der Stent-Forschung

Mit seinem Forschungsprogramm „REMEDIS – Höhere Lebensqualität durch neuartige Mikroimplantate“ spielt die Rostocker Medizintechnik weltweit in der Spitzensliga. Stents sind dabei der Dreh- und Angelpunkt der Forschung. 14 Millionen Euro wurden REMEDIS 2009 von der Bundesregierung für die nächsten fünf Jahre zur Verfügung gestellt. Weitere 1,4 Millionen Euro schließt das Land Mecklenburg-Vorpommern hinzu. Spitzenforschung und Innovation in Ostdeutschland – hier sind sie mit Händen zu greifen. Kleine Stents ganz groß.

Unter der Federführung der Rostocker Wissenschaftler arbeiten Forscher aus Aachen, Hannover, Greifswald, den Niederlanden und den USA bereits an der nächsten Generation dieser medizinischen Wunderwerke im Miniaturformat. Mit den sogenannten Drug-Eluting Stents, das heißt Stents, die in der Lage sind, Medikamente in exakt bestimmten Dosen lokal an den Organismus abzugeben, wurde schon vor einiger Zeit Neuland betreten. Denn nur so kann man die Wirkstoffe exakt dorthin bringen, wo sie im Körper benötigt werden. Medizinischen Therapien eröffnen sich dadurch völlig neue Betätigungsfelder. Jetzt ist die Forschung dabei einen Stent zu entwickeln, der sich in körpereigene Abbau-

produkte auflöst, wenn er seine medizinische Funktion erfüllt hat. Während ein konventioneller Stent als Fremdkörper im Organismus verbleibt oder operativ wieder entfernt werden muss, wird die neue Stent-Generation ihre Arbeit verrichten und danach einfach spurlos verschwinden. Die Vorteile liegen auf der Hand.

Um gegenüber den USA, die im Bereich Medizintechnik noch immer das Maß der Dinge sind, konkurrenzfähig zu sein, müssen wir Europäer Netzwerke entwickeln und viele Partner einbinden. Und genau das tun wir mit REMEDIS an der Universität Rostock, gemeinsam mit unseren Partnern in Europa und in Übersee. Ein solcher Forschungsverbund ist in der Lage, ganz neue Wege zu beschreiten. Zum Beispiel erhoffen wir uns von der Kombination mit Nanotechnologien für die jeweilige Implantatanzwendung je nach Spezifik und Funktionalität, völlig neue Werkstoffe entwickeln zu können, die sich mit körpereigenen Substanzen vertragen. Die Gefahr, dass der Organismus Implantate/Stents als Fremdkörper abstoßt und

damit den medizinischen Effekt zunichte macht, könnte so gebannt werden. Fortschritte auf diesem Gebiet sichern Alleinstellungsmerkmale gegenüber Wettbewerbern auf dem Weltmarkt.

Dass REMEDIS an der Universität Rostock einen hohen Stellenwert genießt, wundert da nicht. Für die interdisziplinäre Kooperation im Department Life, Light & Matter ist REMEDIS eines der Vorzeigeprojekte, das alles verspricht: wissenschaftliche Exzellenz, marktfähige Produkte und hohe Rentabilität. Einen Großteil dieses Versprechens haben Stentforschung und Stenttechnologie in Rostock schon eingelöst. Mit der Firma CORTRONIK, einem Unternehmen der BIOTRONIK-Gruppe, zum Beispiel sind die Rostocker Forscher auf dem Weltmarkt erfolgreich. Sie liegen nur einen Steinwurf von den Laboratorien in Rostock-Warnemünde entfernt. Weltweite Vernetzung bei der Forschung und die Nähe von Wissenschaft und Praxis haben aus den kleinen Wunderwerken der Architektur ein Erfolgsmodell gemacht. ■

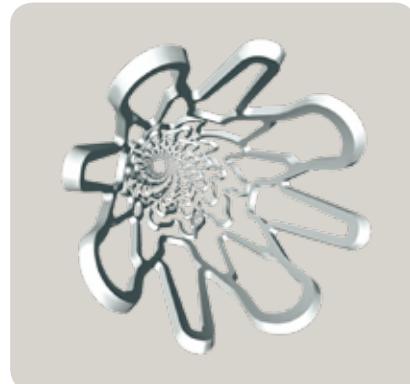


Abbildung 2: Detailansicht eines Koronarstentsystems mit Katheterspritze (oben), verschiedene Stent-Designs im CAD-Entwurf (unten).

Die Autoren



Prof. Dr.-Ing. Klaus-Peter Schmitz

Vita siehe Seite 37

Universität Rostock
Institut für Biomedizinische Technik
Friedrich-Barnewitz-Str. 4,
18119 Rostock
Fon +49(0)381 54345-500
Mail klaus-peter.schmitz@uni-rostock.de



**Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. rer. nat.
Katrin Sternberg**

geboren 1969 in Rostock; Chemiestudium an der Universität Rostock; 1998 Promotion in Siliziumorganischer Chemie am Institut für Chemie der Universität Rostock; 2008 Habilitation an der Fakultät für Maschinenbau und Schiffstechnik der Universität Rostock; 1998 – 2009 wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Biomedizinische Technik der Universität Rostock; seit 2009 Vorgriffsprofessur „Biomedizinische Technik“ im Rahmen des Professorinnenprogramms des Bundes und der Länder

Universität Rostock
Institut für Biomedizinische Technik
Friedrich-Barnewitz-Str. 4,
18119 Rostock
Fon +49(0)381 54345-525
Mail katrin.sternberg@uni-rostock.de

Zell-Material-Interaktion

Grenzflächenphänomene an plasma-chemisch und topographisch modifizierten Biomaterialoberflächen

J. Barbara Nebe und Klaus-Dieter Weltmann

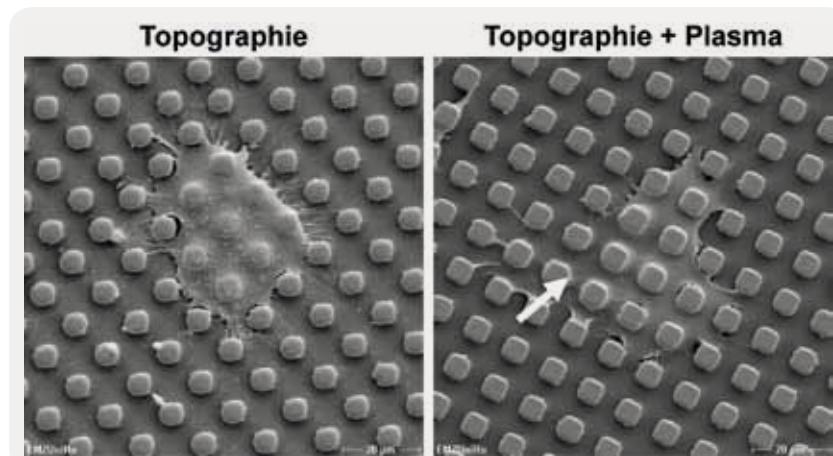


Abbildung 1: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen (REM) von humanen Osteoblasten (Knochenzellen) auf unbehandelten Titanstrukturen (links) und Titan, biofunktionalisiert durch physikalisches Plasmapolymer (rechts). Im rechten Bild ist deutlich zu erkennen, dass die Zellen durch diese Plasmabeschichtung mit der geometrischen Pfostenstruktur verschmelzen. [Material: kubische SU-8-Pfosten mit Titan: Prof. D. Kern, Tübingen/DFG, PD Dr. U. Beck/DFG welisa; Plasmachemie: Dr. K. Schröder/INP Greifswald; Zellpräparation: Osteoblasten nach 24 h: C. Matschegowski/GRK welisa und H. Rebl/Campus PlasmaMed; REM-Aufnahmen: S. Stähle/DFG im EMZ Uni Rostock].

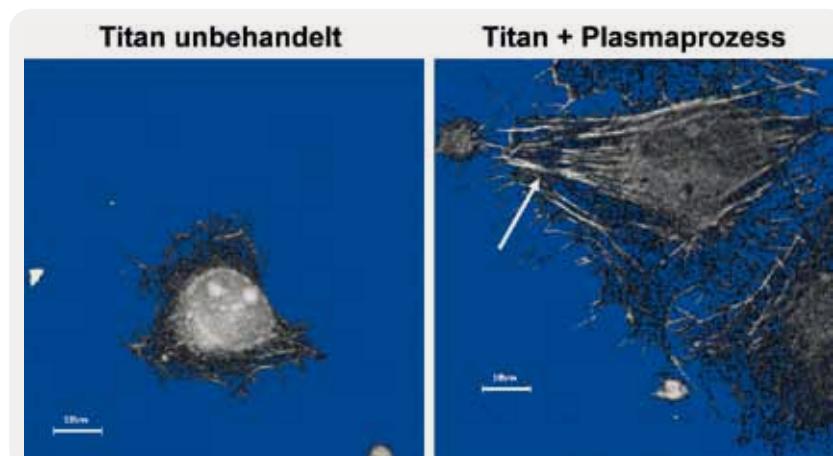


Abbildung 2: Positive Ladungsträger auf der Implantatoberfläche durch Niedertemperaturplasmen verursachen eine schnellere Organisation des Aktinzytoskeletts, das für die Zelfunktion bedeutend ist! Mikroskopische Aufnahme von jeweils einem humanen Osteoblasten auf unbehandeltem Titan (links) und Titan, biofunktionalisiert durch plasmapolymerisiertes Allylamin (rechts). Im rechten Bild sind deutlich die langen Stressfasern des Aktins bereits nach 60 min zu erkennen (Pfeil), die bei der Kontrollzelle noch fehlen. [Titan: DOT GmbH Rostock; Plasmachemie: Dr. K. Schröder/INP Greifswald; Konfokale Mikroskopie: LSM 410 Carl Zeiss, Aktinzytoskelett von humanen Osteoblasten: B. Nebe/Campus PlasmaMed].

Innovationen in den Lebenswissenschaften erfordern ein hohes Maß an interdisziplinärer Forschung, die eine Grundvoraussetzung für die Lösung der anstehenden Fragestellungen insbesondere in der modernen Medizin ist. Das gegenseitige fachliche Verständnis der Mediziner, Physiker, Ingenieure, Zellbiologen und Chemiker ist notwendig, um die Bandbreite der Einflussfaktoren von plasmapolymerisierten und topographisch modifizierten Materialoberflächen auf das Biosystem (Zellen, Gewebe) zu erkennen, woraus neue therapeutische Abwendungen generiert werden können.

Plasmaphysiker und Zellbiologen

Die Zellbiologie der Medizinischen Fakultät ist sowohl innerhalb der Universität Rostock als auch mit dem Leibniz-Institut für Plasmaforschung und Technologie (INP) Greifswald in mehreren Forschungsprojekten seit Jahren in interdisziplinär arbeitende Netzwerke eingebunden und die Zusammenarbeit hat sich bereits vielfach bewährt. Dadurch können Synergien genutzt werden, die materiell aufgrund der vorhandenen Ausrüstungen, Geräte, Apparaturen und ideell auf der Grundlage von verschiedenen Erfahrungshorizonten,

spezifischem Fachwissen und medizinisch relevanten Kontakten bestehen. In aktuellen hochrangigen Projekten wie dem BMBF-geförderten Pilotprojekt „Exzellenz Ost Campus PlasmaMed“ (Sprecher Prof. Dr. Klaus-Dieter Weltmann) oder dem von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Graduiertenkolleg „welisa“ (Sprecherin Prof. Dr. Ursula van Rienen) werden u. a. sowohl zellbiologische Fragestellungen zur Regulation der Zellphysiologie auf stochastischen und definiert geometrischen Oberflächentopographien als auch mit physikalischen Plasma biofunktionalisierte Materialoberflächen bearbeitet.

Aktivierung der Zelladhäsionsprozesse durch Plasmopolymerschichten

Unsere Forschergruppe konnte herausfinden, dass durch positive Ladungsträger auf Titan (über Nieder-temperaturplasmen, INP Greifswald) Knochenzellen eine starke Anziehung erfahren, die auf zellulärer Seite durch die negativ geladene extrazelluläre Matrixhülle bedingt ist. Dadurch verschmelzen die Zellen regelrecht mit ihrer „Umwelt“ (Abbildung 1). Biomaterialien der neuen Generation, die sich in der aktuellen Entwicklungsphase befinden, sind nicht mehr nur inert, zyto- und histokompatibel, sondern sollen eine das Gewebe stimulierende Bioaktivität aufweisen und darüber hinaus spezifische zelluläre Reaktionen auf dem Molekularlevel induzieren. Dazu muss die Zelle in ihrer Einheit zunächst verstanden werden – ihre zeitabhängigen Reaktionen nach Initialkontakt mit Oberflächen, wie die zweidimensionale Flächenzunahme, die Ausprägung von Fokalkontakten zur besseren Verankerung mit Strukturen auf der Oberfläche oder mit auf der Ober-

Die Autoren



PD Dr. agr. habil. J. Barbara Nebe

1991 Studium Tierphysiologie/Agrarwissenschaften (Diplom), Universität Rostock; 1995 Promotion, Universität Rostock, summa cum laude, Joachim-Jungius-Preis; 2005 Habilitation, fakultätsübergreifendes Habilitationsverfahren der Agrarwissenschaftlichen und Medizinischen Fakultät der Universität Rostock; seit 2006 stellvertretende Leiterin des Arbeitsbereichs Zellbiologie am Zentrum für Medizinische Forschung; seit 2008 Fakultätsvertreterin der Gleichstellungsbeauftragten der Universität Rostock sowie Vorstandsmitglied der Deutschen Gesellschaft für Biomaterialien

Universität Rostock
Medizinische Fakultät
Zentrum für Medizinische Forschung (ZEMFO), AB Zellbiologie
Schillingallee 69, 18057 Rostock
Fon +49(0)381 494-7771
Mail barbara.nebe@med.uni-rostock.de



Prof. Dr. rer. nat. Klaus-Dieter Weltmann

1984 – 1989 Physikstudium an der EMAU Greifswald; 1993 Promotion, Spezialisierung Plasmaphysik/Angewandte Physik; 1993 – 1995 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Physikalischen Institut Universität Greifswald; 1994 Forschungsaufenthalt an der West Virginia University (USA), Plasma Physics Laboratory; 1995 – 1998 Wissenschaftlicher Mitarbeiter im ABB Konzernforschungszentrum Baden-Dättwil; 1996 – 2000 Dozent für Regelungstechnik/Signale/Systeme an der Hochschule für Technik, Wirtschaft und Verwaltung Zürich; 1998 – 2001 Projekt- und Gruppenleiter „Hochspannungssysteme“ bei ABB; 2001 – 2003 Leiter Forschung und Entwicklung Gasisolierte Schalsysteme bei ABB Schweiz AG – Zürich, Business Unit R&D Manager, stv. Geschäftsführer; seit 2003 Direktor und Vorstandsvorsitzender des Leibniz-Institutes für Plasmaforschung und Technologie e. V. in Greifswald; seit 2008 Gastprofessur am Polytechnic Institute of New York University

Leibniz-Institut für Plasmaforschung und Technologie (IPN) e. V.
Schillingallee 69, 17489 Greifswald
Fon +49(0)3834 554-310
Mail weltmann@inp-greifswald.de

fläche immobilisierten Molekülen, ihre Synthese von spezifischen Matrixproteinen wie Kollagen und Hyaluronsäure, ihre Organisation von Aktinfilamenten sowie intrazelluläre Signalkaskaden, die letztlich die differenzierte Zellfunktion regulieren. In Abbildung 2 ist ein Beispiel dafür zu sehen, wie stark der Einfluss von physikalischem Plasma, obgleich als Polymerschicht nur im Nanometerbereich, auf die Zelladhärenz und die Zellarchitektur sein kann – Plasma verschafft den Zellen einen enormen Zeitvorteil in der Entwicklung, hier sehr gut

an dem gut formierten Aktinzytoskelett der Osteoblasten zu erkennen. Diese positive Zell-Material-Wechselwirkung demonstriert die verbesserte Akzeptanz einer Biomaterialoberfläche durch plasmachemische Modifizierung und ist ein Indiz für ein beschleunigtes Einwachsen des Implantates in das umliegende Gewebe. ■

Die Informatik der biologischen Zelle

Lars Schwabe und Adelinde M. Uhrmacher

„Die Grenzen meiner Sprache bedeuten die Grenzen meiner Welt“

Die Informatik ist aus den Lebenswissenschaften nicht mehr wegzudenken, beispielsweise ist die Bioinformatik essentiell für die DNA-Sequenzierung. Die Informatik kann für die Lebenswissenschaften jedoch noch mehr leisten, als die Bereitstellung von Methoden und

Techniken zur Datenhaltung und -analyse. Bei der Untersuchung biologischer Zellen wird dies besonders deutlich: Die DNA-Sequenz von Zellen enthält zwar den Großteil der relevanten Erbinformation, aber die Funktion für die Zelle und die der Zelle für den Organismus ergibt sich erst über komplexe intra- und interzelluläre Interaktionen. Ein Verständnis dieser komplexen Dynamik ist notwendig, um moderne medizinische Therapi-

en, z. B. im Bereich der Neuroregeneration, zu entwickeln.

Diese Erkenntnis hat sich in den letzten Jahren durchgesetzt. In zahlreichen internationalen Projekten werden Zellen modelliert, simuliert und die Simulationsergebnisse werden mit experimentellen Daten verglichen. Die Modellierung erfolgt hier in der Sprache der Mathematik, angelehnt an die Methoden der Physik, d. h. es wird im Kern die von Newton und Leibniz entwickelte Differentialrechnung verwendet. So können raumzeitliche (stochastische) Dynamiken beschrieben, numerisch simuliert und teilweise analytisch untersucht werden. Angesichts der Komplexität biologischer Zellen, die in der Anzahl und Heterogenität der Komponenten, den Dynamiken auf unterschiedlichen zeitlichen und

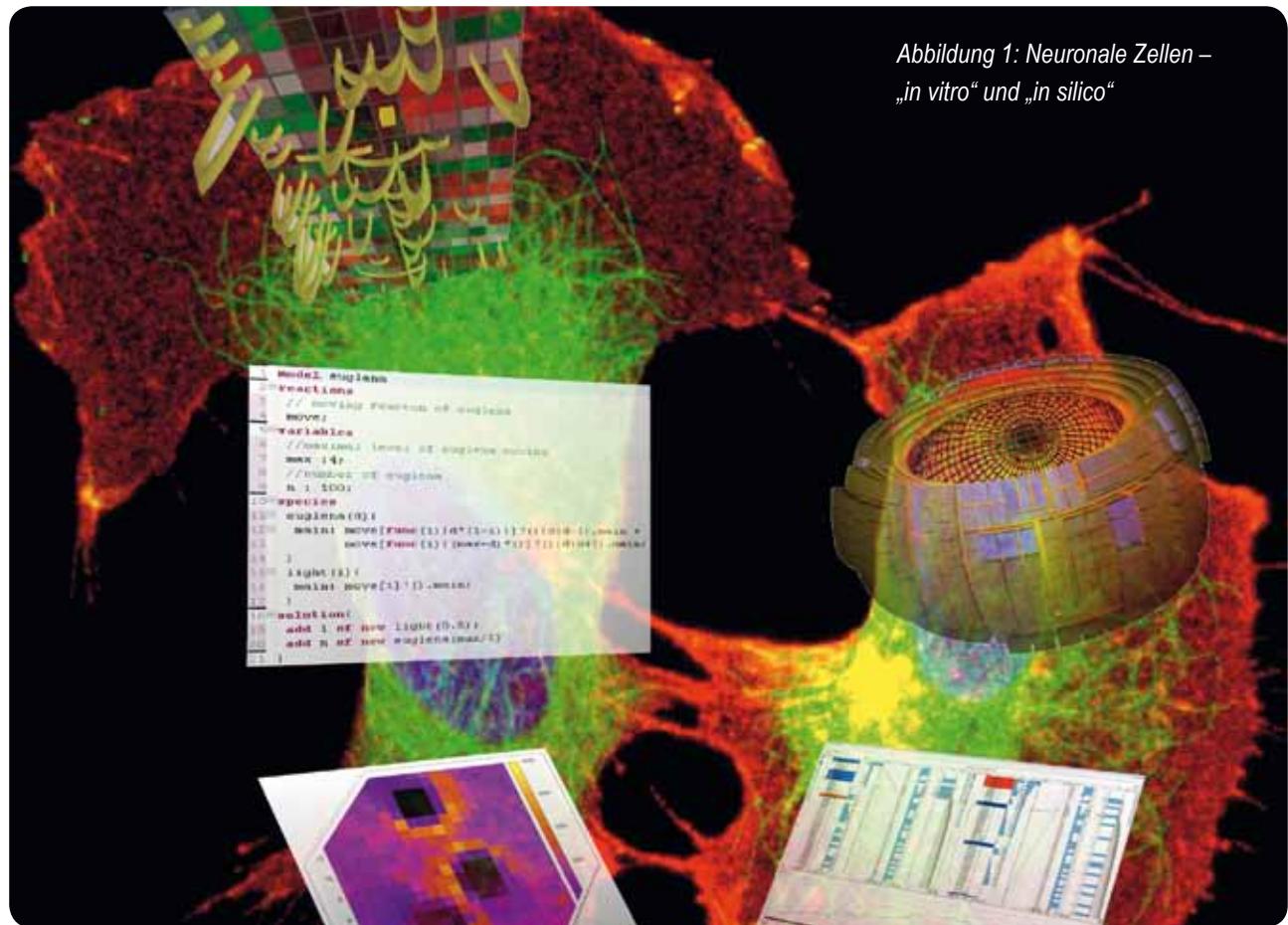


Abbildung 1: Neuronale Zellen – „*in vitro*“ und „*in silico*“

räumlichen Skalen und den dynamischen Kompositions-, Interaktions- und Verhaltensmustern begründet ist, muss jedoch gefragt werden, ob diese Sprache hinreichend ist, um das notwendige Verständnis der Zelle zu erlangen. Mit Wittgenstein gesprochen kann zumindest die Legitimität alternativer Ansätze motiviert werden: „Die Grenzen meiner Sprache bedeuten die Grenzen meiner Welt“ (Tractatus, 5.6).

Neue Erkenntnisse über regenerative Prozesse

Dieser These wird auch in dem von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Graduiertenkolleg (GRK) „diEM oSiRiS“, in welchem Biologen des Instituts für Zellbiologie und Biosystemtechnik, Mediziner des Albrecht Kossel Instituts für Neuroregeneration und Informatiker seit 2006 zusammenarbeiten, nachgegangen. Die Beschäftigung mit formalen Sprachen und ihrer effizienten Interpretation ist ein Kerngebiet der Informatik. Formalismen, wie z. B. der π -Kalkül, die Systeme als interagierende nebenläufige Prozesse beschreibt, dienen als Ausgangspunkt für die Entwicklung von neuartigen Sprachen für zellbiologische Applikationen (Regev und Shapiro, Nature 419, 2002). Im GRK „diEM oSiRiS“ stehen unterschiedliche Abstraktionsebenen und Raum im Mittelpunkt des Interesses und reflektieren aktuelle Erkenntnisse der Biologie, nämlich dass in der Dynamik der Zelle nur drei Dinge zählen: Raum, Raum und nochmals Raum (Science, Vol. 326, 2009).

Modellierungssprachen sind jedoch nur der erste, wenn auch wesentliche Schritt, da etwas, was nicht beschrieben ist, auch nicht analysiert werden kann.

Die Autoren



Prof. Dr. rer. nat. Lars Schwabe

1994 bis 1999 Studium der Informatik (Diplom-Informatiker), TU Berlin; 2005 Promotion an der TU Berlin; 2006 Postdoc an der University of Utah, Salt Lake City (Moran Eye Center und Dept. of Mathematics); 2006 bis 2008 Postdoc am Brain Mind Institute der EPFL, Lausanne, Schweiz; seit 2008 Juniorprofessor für Adaptive und Regenerative Softwaresysteme, Universität Rostock

Universität Rostock

Fakultät für Elektrotechnik und Informatik
Institut für Informatik
Lehrstuhl für Adaptive und Regenerative Softwaresysteme
Albert-Einstein-Str. 21, 18059 Rostock
Fon +49(0)381 498-7420
Mail lars.schwabe@uni-rostock.de



**Prof. Dr. rer. nat.
Adelinde M. Uhrmacher**

1981 bis 1987 Studium der Informatik (Diplom-Informatikerin), Universität Koblenz-Landau; 1992 Promotion an der Universität Koblenz-Landau; 2000 Habilitation, Fakultät für Informatik, Universität Ulm; seit 2000 Professorin für Modellierung und Simulation, Universität Rostock

Universität Rostock

Fakultät für Elektrotechnik und Informatik
Institut für Informatik
Lehrstuhl Modellierung und Simulation
Albert-Einstein-Str. 21, 18059 Rostock
Fon +49(0)381 498-7610
Mail lin@informatik.uni-rostock.de

Neue Analysemöglichkeiten eröffnen sich nicht nur durch systematische Simulation (mittels diskret-ereignisorientierter stochastischer Methoden), sondern auch durch formale Analysen (mit den Informatikmethoden der „Formalen Verifikation“) oder visuell unterstützt (mit Methoden der „Visual Analytics“). Diese Methoden sehen sich jedoch auch neuen Herausforderungen gegenüber: So ist die Handhabung heterogener Daten und die Berücksichtigung multipler Skalen und unterschiedlicher Abstraktionsebenen wichtiger Forschungsgegenstand des noch jungen Gebietes der Visual Analytics. Auf Simulationsebene sollen neuartige, parallele, approximative und intelligente Verfahren und deren

Kombination effiziente Experimente auch mit komplexen zellbiologischen Modellen ermöglichen.

Anwendung finden die entwickelten Methoden zur Analyse der Wnt-Signalwege und ihrer Rolle in der Differenzierung neuronaler Zellen. Die Untersuchung intra- und interzellulärer Dynamiken und von räumlichen Phänomenen steht im Vordergrund. ■

Link zum GRK diEM oSiRiS Video:
www.diemosiris.de

Knochenersatz aus dem 3D-Drucker

Innovative Fertigungsverfahren ermöglichen die Herstellung maßgeschneiderter Knochenersatzimplantate

Hermann Seitz

Generative Fertigungsverfahren

Generative Fertigungsverfahren sind in vielen industriellen Bereichen von wachsender Bedeutung. Bei diesen Fertigungsverfahren werden dreidimensionale Bauteile direkt auf Basis von CAD-Modellen aus formlosem Stoff schichtweise aufgebaut. Es sind keine speziellen Werkzeuge wie z. B. Gussformen erforderlich. Dadurch lassen sich die Verfahren insbesondere zur wirtschaftlichen und schnellen Einzelfertigung von Teilen und Modellen einsetzen.

Das Einsatzgebiet der Generativen Fertigungsverfahren hat sich in den letzten Jahren erheblich erweitert. Wurden diese Verfahren ursprünglich zur Herstellung von Anschauungsmodellen und Funktionsprototypen verwendet (Rapid Prototyping), so finden sie heute zunehmend Einsatz bei der direkten Herstellung von Einzelstücken und Kleinserien von Endprodukten. Für dieses Einsatzgebiet hat sich der Begriff Rapid Manufacturing etabliert. Die Stärken der Generativen Fertigungsverfahren kommen insbesondere in der Medizintechnik zum Tragen. Dort wird häufig ein individuelles, auf den Kunden oder Patienten

abgestimmtes Produkt verlangt. Ein viel versprechendes Anwendungsgebiet der Technologie liegt beispielsweise im Bereich der patientenindividuellen Knochenersatzimplantate.

3D-Drucken von Knochenersatzimplantaten

Zur Überbrückung von Knochendefekten nach Unfällen oder Tumoroperationen werden von medizinischer Seite zunehmend synthetische Knochenersatzmaterialien gefordert. Diese sind jedoch bisher nur in Standardformen und -größen erhältlich. Bei größeren Defekten, speziell im Bereich der Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie, ist eine individuelle Formgebung der Implantate zur Rekonstruktion der ursprünglichen Funktion und Ästhetik erforderlich. Aus der Gruppe der Generativen Fertigungsverfahren eignet sich insbesondere das 3D-Drucken zur Herstellung resorbierbarer Knochenersatzimplantate aus synthetischen Rohstoffen. Beim 3D-Druck-Verfahren handelt es sich um einen pulverbasierten Prozess zur Herstellung von Modellen direkt aus Computerdaten. Dabei werden dünne Schichten eines Pulvers auf eine Grundplatte aufgebracht, die dann durch gezielte Binderzugabe entsprechend des aktuellen Bauteilquerschnitts verfestigt werden (siehe Abbildung 1). Der Binder wird tropfchenweise mittels eines Druckkopfs aufgetragen. Das Baumaterial besteht aus dem gebundenen Pulver. Das lose Pulver übernimmt die Stützfunktion und wird nach dem Prozessende entfernt.

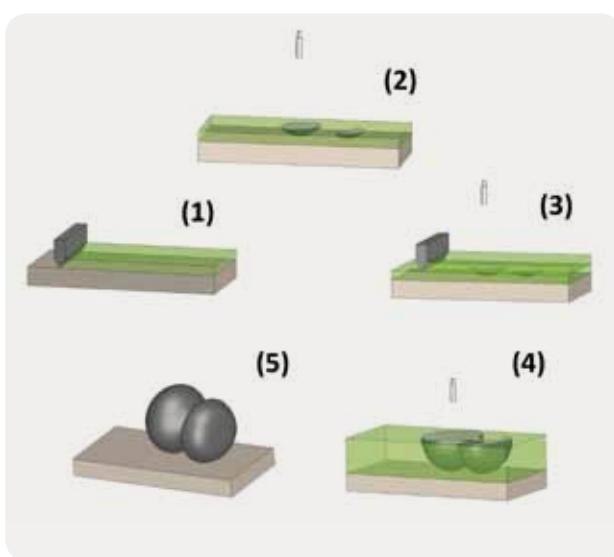


Abbildung 1:
3D-Druck-Prozessschema. Schichtweise Herstellung eines Modells durch selektives Verkleben eines Pulvermaterials mittels eines Druckknopfs.

Bei dem am Lehrstuhl für Fluidtechnik und Mikrofluidtechnik etablierten 3D-Druckprozess zur Herstellung keramischer Implantate resultiert aus dem 3D-Druckverfahren ein Rohling (Grünteil),

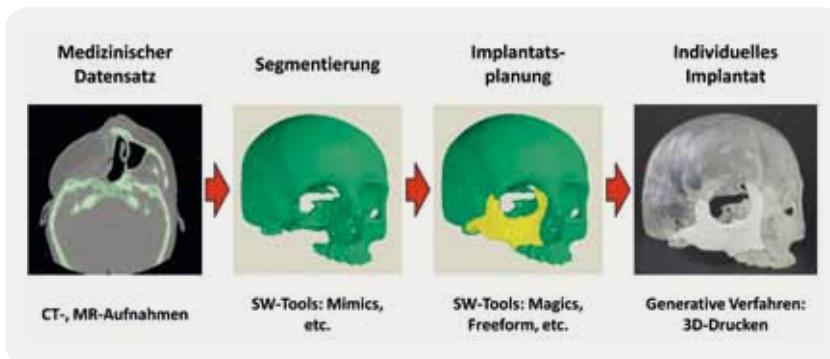


Abbildung 2: Datenkette zum Design patientenindividueller Implantate

der in einem weiteren Schritt bei einer Temperatur von ca. 1.250 °C gesintert wird. Dadurch wird eine hohe Endfestigkeit erreicht. Zudem werden bei diesem Schritt die beim 3D-Drucken eingesetzten organischen Binderkomponenten vollständig ausgebrannt.

Als Ausgangsmaterial im 3D-Druckprozess werden derzeit Hydroxylapatit (HA), Tricalciumphosphat (TCP) und Mischungen dieser Stoffe verwendet. Diese Materialien haben sich bereits in der plastisch-rekonstruktiven Chirurgie zum Ersatz von Knochenarealen bewährt. Diese Ausgangsstoffe sind bekannt für ihre gute Biokompatibilität und besitzen eine hohe Osteoinduktivität. Für den Einsatz beim 3D-Drucken werden synthetische Ausgangsstoffe verwendet, die in Pulver- oder Granulatform vorliegen müssen. Um eine ideale Defektrekonstruktion zu ermöglichen, müssen die Implantate an die Defektstelle des Patienten angepasst sein. Zudem sollen die Implantate für das Tissue Engineering von Knochen eingesetzt werden. Dabei werden die Implantate mit körpereigenen Zellen besiedelt und dienen nach Einbringung in einen Knochendefekt als osteokonduktive Leitstruktur (Scaffold). Während das Implantat langsam abgebaut wird, soll sich an dieser Stelle gleichzeitig neuer Knochen ausbilden. Um das Einwachsen von Knochenzellen

und das Einspritzen von Blutgefäßen zu erleichtern und die Einheilungszeit der Implantate zu verkürzen, können mit Hilfe der 3D-Drucktechnik interkonnektierende Kanalstrukturen in die Implantate eingebracht werden (siehe Abbildung 3).

Patientenindividuelle Implantate

Ein wichtiger Aspekt bei der Herstellung patientenindividueller Implantate ist die Generierung des Datensatzes für das herzustellende Implantat (siehe Abbildung 2). Da speziell bei Schädel-Rekonstruktionen komplexe Formen vorliegen, können keine vordefinierten Standardgeometrien verwendet werden. Deshalb muss hier auf medizinische Patientendaten zurückgegriffen werden. Dazu wird der Schädel des Patienten



Abbildung 3: Interkonnektierende Kanalstruktur zur Verbesserung des Einwachsens von Knochenzellen und des Einspritzens von Blutgefäßen

in einem Computertomographen ge-scannzt. Der resultierende zweidimensionale Datensatz wird mit Hilfe einer speziellen Segmentierungssoftware in ein dreidimensionales Oberflächenmodell umgewandelt. Die einzelnen Objektregionen können durch Auswahl des entsprechenden Schwellwertes für die Segmentierung unterschieden werden.

Nach der Segmentierung der knöchernen Strukturen werden die Daten in ein weiteres Software-Tool mit CAD-Funktionalität eingeladen. Dort kann z. B. durch Spiegelung eines gesunden knöchernen Bereichs auf den entsprechenden Defektbereich und anschließender Subtraktion der beiden Bereiche das zu fertigende Implantat berechnet werden (siehe Abbildung 4). Zudem eignen sich diese Tools auch zur Konstruktion von Kanalstrukturen im Implantat. Auf Ba-



Abbildung 4: 3D-gedrucktes patientenindividuelles Implantat

Der Autor



Prof. Dr.-Ing. Hermann Seitz

geboren 1971; Studium der Elektro- und Informationstechnik an der TU München; 1997 – 2001 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Feingerätebau und Mikrotechnik, TU München; 2002 Promotion; 2001 – 2006 Leiter der Arbeitsgruppe Rapid Prototyping am Forschungszentrum caesar, Bonn; seit 2007 Lehrstuhl für Fluidtechnik und Mikrofluidtechnik an der Universität Rostock

Universität Rostock
Fakultät für Maschinenbau und
Schiffstechnik
Lehrstuhl für Fluidtechnik und
Mikrofluidtechnik
Justus-von-Liebig-Weg 6,
18059 Rostock
Fon +49(0)381 498-9090
Mail hermann.seitz@uni-rostock.de

sis des dreidimensionalen Datensatzes kann das Implantat mit Hilfe des 3D-Druckverfahrens hergestellt werden.

Aktueller Stand

Voraussetzung für den Einsatz der Knochenersatzimplantate im menschlichen Körper ist die Durchführung von zellbiologischen Studien und Tierversuchen. Im Rahmen mehrerer Studien bei medizinischen und biologischen Partnern konnten die vorteilhaften Eigenschaften der neuen Knochenersatzimplantate hinsichtlich der Biokompatibilität, Os-

teoinduktivität und der Resorbierbarkeit nachgewiesen werden. Die Biokompatibilität der Implantate wurde in Untersuchungen mit osteoblastenähnlichen MC3T3-E1-Zellen, mit menschlichen Osteoblasten und mit menschlichen Periostzellen bestätigt. Eine weitere Studie beschäftigte sich mit dem Resorptionsverhalten von osteoklastenähnlichen Zellen auf den Calciumphosphat-Keramiken. Bei den verwendeten Zellen handelt es sich um Monozyten (RAW 264.7), die durch eine gezielte Stimulierung zu resorptionsfähigen Zellen differenzieren. Es konnte in der Untersuchung eine beginnende Resorption mit der charakteristischen Lakunenbildung gezeigt werden. Im Rahmen einer Tierstudie mit Ratten, denen 3D-gedruckte HA- und TCP-Implantate in den Musculus latissimus dorsi implantiert wurden, konnte die Knochenbildung in den Implantaten und damit die sehr guten osteoinduktiven Eigenschaften nachgewiesen werden. Im Rahmen einer laufenden Tierstudie (Minipig) werden patientenindividuelle, zellbesiedelte Implantate zur Behandlung großer Knochendefekte entwickelt. Dabei stehen die Verbesserung der Tissue Engineering Methoden zur Besiedelung großer, individualisierter Scaffolds und die mechanische Optimierung der Implantate im Mittelpunkt der Untersuchungen. Die Studie soll den Weg für die Anwendung patientenindividueller Implantate im Bereich der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie bereiten.

Ausblick

Die Fertigung von individualisierten Knochenersatzimplantaten mittels 3D-Drucken besitzt neben dem wissenschaftlichen auch ein großes wirtschaftliches Potential. Ein Konzept zur unternehmerischen Umsetzung der Forschungser-

gebnisse wurde beim Ideenwettbewerb VentureCup-MV 2010 mit dem 1. Preis in der Kategorie Forscherteam ausgezeichnet. Bis zur Gründung eines Spin-Offs und der Markteinführung sind allerdings noch viele Fragen zu klären und Hürden zu überwinden.

Literatur

- Sachs, E.; Cima, M.; Williams, P.; Brancazio, D.; Cornie, J.: Three dimensional printing: rapid tooling and prototypes directly from a CAD model. *J Eng Ind* 1992; 114: 481–488.
- Seitz, H.; Rieder, W.; Irsen, S.; Leukers, B.; Tille, C.: Three-Dimensional Printing of Porous Ceramic Scaffolds for Bone Tissue Engineering. *J Biomed Mater Res* 2005; 74B: 782–788.
- Leukers, L.; Gürkan, H.; Irsen, S.; Milz, S.; Tille, C.; Schieker, M.; Seitz, H.: Hydroxyapatite scaffolds for bone tissue engineering made by 3D printing. *J Materials Science: Materials in Medicine*, 16 (2005), 1121 – 1124.
- Becker, S.T.; Bolte, H.; Krapf, O.; Seitz, H.; Douglas, T.; Sivananthan, S.; Wilfong, J.; Sherry, E.; Warnke, P.H.: Endocultivation: 3D printed customized porous scaffolds for heterotopic bone induction. *Oral Oncology*, 11 (2009), e181–e210.
- Warnke, P.H.; Seitz, H.; Warnke, F.; Becker, S.T.; Sivananthan, S.; Sherry, E.; Liu, Q.; Wilfong, J.; Douglas, T.: Ceramic scaffolds produced by computer-assisted 3D printing and sintering: Characterization and biocompatibility investigations. *J Biomed Mater Res Part B: Appl Biomater*, 93B (2010), 212–217.
- Detsch, R.; Schaefer, S.; Seitz, H.; Leukers, B.; Deisinger, U.; Ziegler, G.: In vitro-osteoclastic activity studies on 3D-printed calcium phosphate scaffolds. *Journal of Biomaterials Applications* (published online first). ■



Aus Tradition innovativ

Im Jahre 1419 als erste Universität des Ostseeraumes gegründet bietet die Universität Rostock heute ein breit gefächertes Studienangebot. Insgesamt kann aus über 80 Studiengängen in folgenden Wissenschaftsbereichen gewählt werden:

- Agrar- und Umweltwissenschaften
- Geisteswissenschaften/Sprachen/Theologie
- Ingenieurwissenschaften/Informatik
- Lehramtsstudiengänge
- Mathematik/Naturwissenschaften
- Medizin/Life-Sciences
- Wirtschafts-, Sozial- und Rechtswissenschaften



Sie wollen erfolgreich studieren?

Dann bietet die Universität Rostock ideale Voraussetzungen:

- vielseitiges Studienangebot
- sehr gute Ausstattung (z.B. zahlreiche Neubauten für Labore und Bibliothek)
- keine Massenuniversität, gute Betreuung durch die Dozenten
- Regelstudienzeit wird selten überschritten
- Abschlüsse: Bachelor/Master, Staatsexamen
- viele Studiengänge ohne Zulassungsbeschränkung
- zahlreiche Zusatzangebote für Studierende (Sprachenzentrum, Sport usw.)
- günstige Lebenshaltungskosten im Vergleich deutscher Universitätsstädte
- keine Studiengebühren
- hohe Lebensqualität einer Großstadt mit unmittelbarer Nähe zum Meer

Alle wichtigen Informationen unter:
www.uni-rostock.de/studieninteressierte





Konzept

Redaktion

Layout

Satz

Druck

Medientechnik

PAUSE