

# munDO

## Sonderheft **Materials Chain**



### Längere Lebenserwartung

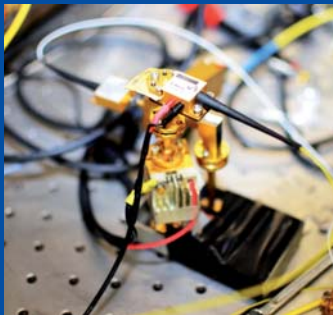
Mit dem „dritten Körper“ will die UA Ruhr die Lebensdauer hochbelasteter Flächen erhöhen – zum Beispiel in Getrieben.

### Winzige Schönheitsfehler

Eine Forschergruppe platziert absichtlich Fehler in hochreinen Diamanten, um sie in Quantencomputern einzusetzen.

### Starke Stromspeicher

Mit neuen Elektrodenmaterialien verbessern Forscherinnen und Forscher die Leistung von Lithium-Ionen-Batterien.



Liebe Leserin, lieber Leser,

Sie halten die erste gemeinsame mundo-Ausgabe der Universitätsallianz Ruhr (UA Ruhr) in den Händen. Das Forschungsmagazin widmet sich dem Thema „Materials Chain“ und gibt Einblicke in die Welt der Wissenschaft.

„Materials Chain“ ist ein Kunstwort und der Titel des ersten gemeinsamen Profilschwerpunkts der UA Ruhr. Hierin verzahnen wir – die Technische Universität Dortmund, die Universität Duisburg-Essen und die Ruhr-Universität Bochum – seit Anfang 2015 unsere Material-, Werkstoff- und Produktionswissenschaften. Unser gemeinsames Ziel ist es, mit dieser Initiative das Ruhrgebiet als Region der Werkstoffwissenschaften national und international bekannt zu machen. Im Überblicksartikel dieses Hefts erfahren Sie mehr über die UA Ruhr und Materials Chain.

Die „mundo“ erscheint bereits seit 2003 als Forschungsmagazin der TU Dortmund und berichtet zweimal im Jahr über ausgewählte Projekte. Eine Besonderheit dieser UA Ruhr-Ausgabe ist, dass alle vorgestellten Projekte kooperativ sind. Das bedeutet: Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler von zwei oder sogar allen drei Universitäten forschen gemeinsam zu einem Thema. So zum Beispiel zum Tribomaterial. Dieses Material wird auch „dritter Körper“ genannt und soll die Leistung und Lebensdauer hochbelasteter Funktionsflächen erhöhen – unter anderem in Windkraftgetrieben.

Ein anderes Team entwickelt nanostrukturierte Materialien für Elektroden. Sie sollen die Leistung von Lithium-Ionen-Batterien, die in Smartphones oder Elektroautos zum Einsatz kommen, verbessern. Um zukunftsweisende Materialien für verschiedenste Anwendungen geht es im Projekt „Data Driven Materials Design“: Die Beteiligten schaffen darin die Grundlagen für die Zusammenarbeit von Materialforschung und

Informatik – und eröffnen damit ganz neue Perspektiven. Vor allem erhoffen sie sich, innovative Materialien in umfassenden Materialbibliotheken schneller finden zu können. Einem altbekannten Material widmet sich ein weiteres Projektteam: Silber wurde schon in der Antike aufgrund seiner antibakteriellen Wirkung genutzt. Jetzt haben vier Forscherinnen und Forscher untersucht, wie groß das „therapeutische Fenster“ für den Einsatz des Edelmetalls ist.

Vielfältige Einsatzmöglichkeiten bietet ein neuartiger Photonik-Sensor, den eine andere Gruppe entwickelt. Mit Terahertzwellen durchdringt er Kleidung oder Kunststoff. Als winzige kleine Sensoren könnten in Zukunft auch Diamanten zum Einsatz kommen. Um das zu realisieren, platziert eine Forschergruppe Fehlstellen in hochreinen Diamanten. Über ihre gemeinsame Arbeit sprechen die drei Wissenschaftler in Interviews.

Um Flugzeuge und Windkraftanlagen geht es in einem Projekt, das Schädigungsprozesse am Computer simuliert. Die Forscher entwickeln ein Modell, das schon im Voraus zeigt, an welchen Stellen nachgebessert werden muss. Simulationen nutzen auch eine Wissenschaftlerin aus Bochum und ein Wissenschaftler aus Dortmund bei der Frage, wie sie Strukturen und Mechanismen aus der Natur für die technische Anwendung nutzbar machen können.

Für unsere jungen Leserinnen und Leser hat Professor Norbert Kockmann von der TU Dortmund ein Experiment aus der Bionik vorbereitet. Er bastelt einen Papierhubschrauber und schaut dafür beim Ahornsamens ab.

Wir wünschen Ihnen viel Vergnügen bei der Lektüre!

**Prof. Dirk Biermann**  
Prorektor Forschung

Technische Universität Dortmund

**Prof. Thomas Kaiser**  
Prorektor für Forschung, wissenschaftlichen Nachwuchs und Wissenstransfer

Universität Duisburg-Essen

**Prof. Andreas Ostendorf**  
Prorektor für Forschung, Transfer und wissenschaftlichen Nachwuchs

Ruhr-Universität Bochum

# AKUSTISCHE PERFEKTION

## WIR BAUEN DIE RÄUME DAFÜR



Referenzobjekt  
Musikbildungszentrum Südwestfalen

**Jaeger Ausbau**  
Pläne werden Wirklichkeit

Starte erfolgreich in Deine berufliche Zukunft!

### Impressum

mundo – das Forschungsmagazin der Technischen Universität Dortmund  
– 24/2016 Sonderheft der Universitätsallianz Ruhr (UA Ruhr)

Herausgeber: TU Dortmund, Referat Hochschulkommunikation, 44221 Dortmund  
Chefredaktion: Lena Reil  
Kontakt zur Redaktion: Tel. 0231/755-5449, Mail: redaktion.mundo@tu-dortmund.de  
V.i.S.d.P.: Eva Prost, Tel. 0231/755-2535, Mail: eva.prost@tu-dortmund.de

Redaktionelle Mitarbeit: Roland Baege, Andreas Bäumer (minimundo), Elena Bernard, Sandra Czaja, Nils Kasties, Tim Müßle, Claudia Pejas, Eva Prost, Sebastian Rothe, Martin Rothenberg, Livia Rüger, Gabriele Scholz, Anna-Christina Senske, Christiane Spänhoff, Birte Vierjahn  
Layout und Bildredaktion: Gabriele Scholz

Redaktioneller Beirat: Prof. Dirk Biermann, Prof. Torsten Bertram, Prof. Uwe Clausen, Prof. Andrzej Górac, Prof. Andreas Hoffjan, Prof. Walter Krämer, Prof. Nele McElvany, Prof. Holger Wormer

Druck: Hitzegrad Print | Medien & Service  
Anzeigen: Referat Hochschulkommunikation  
Erscheinungsweise: zweimal jährlich



Universitätsallianz Ruhr:  
www.uaruhr.de

Materials Chain:  
www.materials-chain.com

MERCUR:  
www.mercur-research.de

Technische Universität Dortmund:  
www.tu-dortmund.de

Ruhr-Universität Bochum:  
www.ruhr-uni-bochum.de

Universität Duisburg-Essen:  
www.uni-due.de

## In dieser Ausgabe

### Titelthema: Materials Chain

#### Gemeinsam besser

Die Universitätsallianz Ruhr etabliert mit Materials Chain ihren ersten gemeinsamen Profilschwerpunkt und will damit das Ruhrgebiet als Region der Werkstoffwissenschaften national und international sichtbar machen.

Seite 4

#### Längere Lebenserwartung mit dem „dritten Körper“

An allen Standorten der UA Ruhr forschen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler zum Tribomaterial, dem sogenannten „dritten Körper“. Er soll die Leistung und Lebensdauer hochbelasteter Funktionsflächen erhöhen.

Seite 12

#### Flugzeuge auf dem virtuellen Prüfstand

Statt ein echtes Flugzeug im Prüfstand zu testen, simulieren drei UA Ruhr-Forscher Schädigungsprozesse am Computer. Sie entwickeln ein Modell, das schon im Voraus zeigt, an welchen Stellen nachgebessert werden muss.

Seite 18

#### Ganz und gar nicht makellos

Eine Forschergruppe der UA Ruhr platziert absichtlich Fehlstellen in hochreinen Diamanten, um diese als Sensoren oder in Quantencomputern einzusetzen. Über ihre Forschung sprechen die drei Wissenschaftler in Interviews.

Seite 24

#### Wie ein Sensor sieht, was im Verborgenen liegt

Drei UA Ruhr-Forscher entwickeln einen neuartigen Photonik-Sensor. Mit Terahertzwellen durchdringt dieser viele verschiedene Materialien – und verspricht daher vielfältige Anwendungsmöglichkeiten.

Seite 30

#### Die Prinzipien von Holz und Knochen

Eine Wissenschaftlerin aus Bochum und ein Wissenschaftler aus Dortmund erforschen, wie sie Strukturen und Mechanismen aus der Natur für die technische Anwendung nutzbar machen können.

Seite 36

#### Hightech auf 0,0001 Millimetern

Neue Elektrodenmaterialien sollen die Leistung von Lithium-Ionen-Batterien verbessern. Bei ihrer Entwicklung fangen die Forscherinnen und Forscher aus Bochum und Duisburg-Essen winzig klein an.

Seite 42

#### Durch den Datenschwungel zu Werkstoffen der Zukunft

Im Projekt „Data Driven Materials Design“ schaffen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der UA Ruhr die Grundlagen für die Zusammenarbeit von Materialforschung und Informatik – und eröffnen damit neue Perspektiven.

Seite 48

#### Ein altbekanntes Material neu erforscht

Silber wurde schon in der Antike aufgrund seiner antibakteriellen Wirkung genutzt. Wie groß das „therapeutische Fenster“ für den Einsatz des Edelmetalls ist, haben vier Forscherinnen und Forscher der UA Ruhr untersucht.

Seite 54

## mundorama

### Gründungen aus der Wissenschaft

#### Sonnenenergie im Eigenheim speichern

Ein Startup der TU Dortmund produziert seinen kompakten Stromspeicher bald in Serie.

Seite 60

### Wissenschaft für Kinder – minimundo

#### Bionik – Professor guckt bei Bäumen ab

Seite 62

## Nachrichten

Studie: Wissenschaftsregion Ruhr nimmt an Bedeutung zu  
Delegation aus Nordamerika zu Gast im Ruhrgebiet

Seite 64

# Gemeinsam besser

Die Universitätsallianz Ruhr etabliert mit Materials Chain ihren ersten gemeinsamen Profilschwerpunkt und will damit das Ruhrgebiet als Region der Werkstoffwissenschaften national und international sichtbar machen.



„Die Materials Chain ist einmalig in Deutschland. Sie deckt nahezu alle Materialklassen – ob Metall, Keramik oder Kunststoff – und die gesamte Wertschöpfungskette ab. Unsere wissenschaftliche Expertise ist exzellent und wächst seit vielen Jahren an allen drei Standorten. Hier ist die Analytik von Materialien auf atomarer Ebene ebenso möglich wie die Optimierung produktionstechnischer Anlagen.“

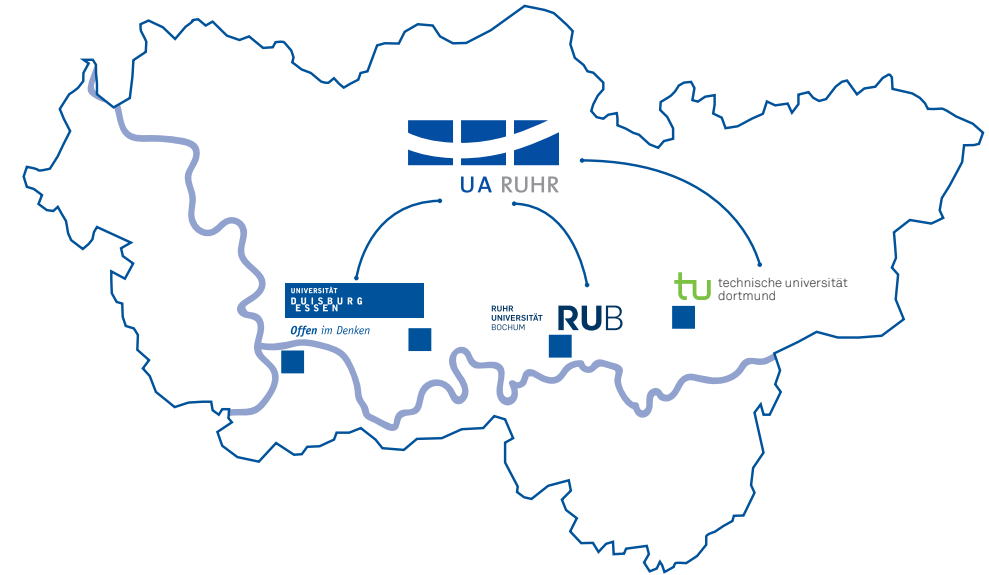
Prof. Jörg Schröder  
Universität Duisburg-Essen



Prof. Jörg Schröder ist wissenschaftlicher Koordinator der Materials Chain und seit 2001 Professor für Mechanik an der Universität Duisburg-Essen.

Prof. Wolfgang Tillmann ist wissenschaftlicher Koordinator der Materials Chain und seit 2002 Professor für Werkstofftechnologie an der Technischen Universität Dortmund.

Prof. Ralf Drautz ist wissenschaftlicher Koordinator der Materials Chain und seit 2008 Direktor am Interdisciplinary Centre for Advanced Materials Simulation (ICAMS) an der Ruhr-Universität Bochum.



Kooperation und Wettbewerb – dass das in der Hochschullandschaft möglich ist, beweist die Universitätsallianz Ruhr (UA Ruhr). Seit einem knappen Jahrzehnt bündeln drei große Universitäten hier ihre komplementären Stärken, um damit sichtbarer, leistungs- und wettbewerbsfähiger zu werden: die Ruhr-Universität Bochum (RUB), die Technische Universität Dortmund (TU Dortmund) und die Universität Duisburg-Essen (UDE). Anfang 2015 hat die UA Ruhr ihren ersten gemeinsamen Profilschwerpunkt ins Leben gerufen: Mit Materials Chain will sich das Ruhrgebiet als Region der Werkstoffwissenschaften international etablieren.

Wie funktioniert die enge Zusammenarbeit über drei Universitäten und vier Standorte hinweg? Wie lassen sich Kooperation und Wettbewerb vereinen? Und welche Bedeutung haben Materialien und Werkstoffe für das Ruhrgebiet? Ein Blick in die Vergangenheit zeigt, wie

Materialien die Wirtschafts- und Wissenschaftsgeschichte des Ruhrgebiets geprägt haben und wie die hochschulübergreifende Zusammenarbeit und die UA Ruhr entstanden sind. Der Blick in die Zukunft verrät, welche Vision die UA Ruhr für die Forschung im Ruhrgebiet hat und welche tragende Rolle Materialien auch dabei spielen.

#### Das Ruhrgebiet als Region der Werkstoffwissenschaften

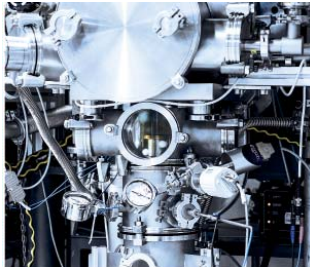
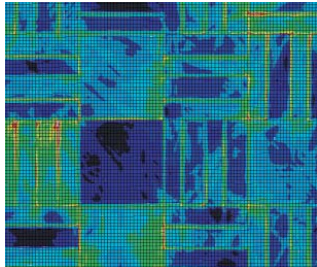
Starten wir in der Vergangenheit: Innovative Werkstoffe haben im Ruhrgebiet eine lange Tradition. Der erste Hochofen zur Stahlerzeugung aus einheimischen Erzkvorkommen wurde bereits 1758 in Betrieb genommen. Weitere Hüttenwerke entstanden unmittelbar danach, was zu einer schnellen Industrialisierung des Ruhrgebiets Anfang des 19. Jahrhunderts mit dem Bau erster Eisen-

gießereien und Walzwerke führte. Die Erschließung der Kohlevorkommen ermöglichte weiteres Wachstum. Innovative Produkte aus dem Ruhrgebiet wie nahtlose Eisenbahnreifen oder nichtrostende Stähle waren Wachstumsmotoren für ganz Deutschland. Auch die Erfolgsgeschichte des deutschen Automobilbaus ist auf die Entwicklungen in der werkstoff- und metallverarbeitenden Industrie zurückzuführen.

Diese historisch bedingte Konzentration auf Werkstoffe prägt bis heute die Hochschullandschaft im Ruhrgebiet. Der noch junge Hochschulstandort hat in den vergangenen 50 Jahren eine rasante Entwicklung erlebt und ist heute eine der dichtesten Hochschullandschaften Europas: Das Ruhrgebiet zählt 22 Hochschulen, darunter fünf Universitäten und eine Universität der Künste, drei Max-Planck-Institute, vier Fraunhofer- und fünf Leibniz-Institute. Insgesamt gibt es hier rund 260.000

*„In Materials Chain verbinden sich Vergangenheit und Zukunft des Ruhrgebiets: Innovative Werkstoffe wie nahtlose Eisenbahnreifen oder nichtrostende Stähle haben das Ruhrgebiet in früheren Zeiten stark gemacht – auch heute treibt die moderne Werkstoff- und Materialforschung die Hightech-Entwicklung an. Von unserer Forschung soll auch die Industrie profitieren und die Region nachhaltig gestärkt werden.“*

**Prof. Wolfgang Tillmann**  
Technische Universität Dortmund



Studierende. Die einzelnen Standorte sind in der Regel innerhalb einer Stunde mit dem Auto oder den öffentlichen Verkehrsmitteln erreichbar.

Hier in der Metropole Ruhr ist im Jahr 2007 mit der UA Ruhr eine strategische Allianz entstanden, deren Motto „gemeinsam besser“ lautet. Knapp 120.000 Studierende in rund 500 Studiengängen, 1.300 Professorinnen und Professoren sowie 300 Millionen Euro Drittmittel im Jahr verdeutlichen die Größe des Verbunds der drei Universitäten. Für die Abstimmung zwischen den eigenständigen Universitäten wurde ein Koordinierungsrat gebildet, dem die Rektorin und Rektoren sowie die Kanzlerin und Kanzler angehören. Auch der Forschungsrat, dessen Gründung im Jahr 2013 die gemeinsame Profilbildung weiter intensivierte, ist paritätisch und hochkarätig besetzt – mit Spitzenwissenschaftlerinnen und -wissenschaftlern aus unterschiedlichen Disziplinen.

Die Zusammenarbeit innerhalb der UA Ruhr umfasst kooperative Forschungsprojekte, einen gemeinsamen Studienraum mit hochschulübergreifender Lehre, gemeinsame Verbindungsbüros in New York City, Moskau und Rio de Janeiro oder auch die gegenseitige Teilnahme als externe Mitglieder in Berufungskommissionen.

#### Gemeinsam forschen und lehren

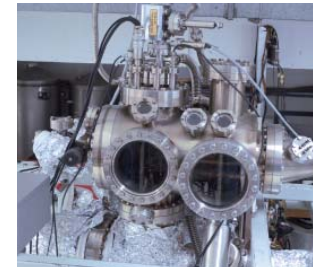
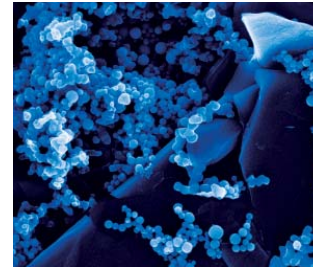
Die intensive Zusammenarbeit soll die Profilierung in unterschiedlichen, komplementären Schwerpunkten ankurbeln. Die drei Universitäten verfolgen dabei das Ziel, individuell leistungsstärker zu werden, dies aber nicht auf Kosten, sondern zum Wohl der anderen. Kooperation und Wettbewerb schließen sich innerhalb der UA Ruhr nicht aus. Als eine der ersten Aktivitäten haben sich 2007 die Maschinenbau-Fakultäten der

RUB und der TU Dortmund zur „Engineering Unit Ruhr“ zusammengeschlossen. Hierbei liegt das Hauptaugenmerk in Dortmund auf der Logistik und Produktionstechnik und in Bochum auf Konstruktion, Werkstoffen sowie Energie- und Verfahrenstechnik. Diese frühe Kooperation mit gemeinsamen Masterprogrammen und Forschungsprojekten auf Fakultätsebene gilt heute als eine der „Keimzellen“ der UA Ruhr. Die Engineering Unit Ruhr soll sich in Zukunft über alle drei Universitäten erstrecken.

Unterstützt wird die UA Ruhr durch das Mercator Research Center Ruhr, kurz MERCUR. Im Jahr 2010 hat die Stiftung Mercator zusammen mit den drei Ruhrgebietsuniversitäten das Research Center gegründet. Es fördert insbesondere bi- und trilaterale Projekte und standortübergreifende Professuren. Bislang wurden mehr als 170 zumeist kooperative Forschungs- und Lehrprojekte mit über 20 Millionen Euro gefördert.

*„Der Profilschwerpunkt Materials Chain ist für die UA Ruhr eine Pflichtaufgabe, eine Notwendigkeit. Das klingt zunächst nüchtern, bedeutet aber, dass wir uns mit Materials Chain gemeinsam stärker aufstellen können und müssen. Dass wir Synergien nutzen, die wir zuvor nicht beachtet haben. Dass wir eine bessere Sichtbarkeit erzielen für unsere Forschung, national und international.“*

**Prof. Ralf Drautz**  
Ruhr-Universität Bochum



Die nunmehr neunjährige Geschichte der UA Ruhr erlebt mit der Etablierung des neuen Profilschwerpunkts, den der gemeinsame Forschungsrat Anfang 2015 identifiziert hat, einen weiteren Meilenstein. Materials Chain profitiert dabei enorm von den Strukturen, die in den vergangenen Jahren gewachsen sind. Im Profilschwerpunkt verzahnen die drei Ruhrgebietsuniversitäten ihre breit aufgestellten Material-, Werkstoff- und Produktionswissenschaften. Dieses Forschungsfeld ist gesellschaftlich ausgesprochen relevant: Neuen Materialien und Werkstoffen kommt bei der Lösung drängender Zukunftsfragen eine besondere Bedeutung zu. Sie ermöglichen einen nachhaltigen Umgang mit Ressourcen und werden in der Energieversorgung, Mobilität oder Medizin dringend benötigt.

Die einzelnen Teildisziplinen der Materials Chain wirken interdisziplinär zusammen. Die Forschungsthemen

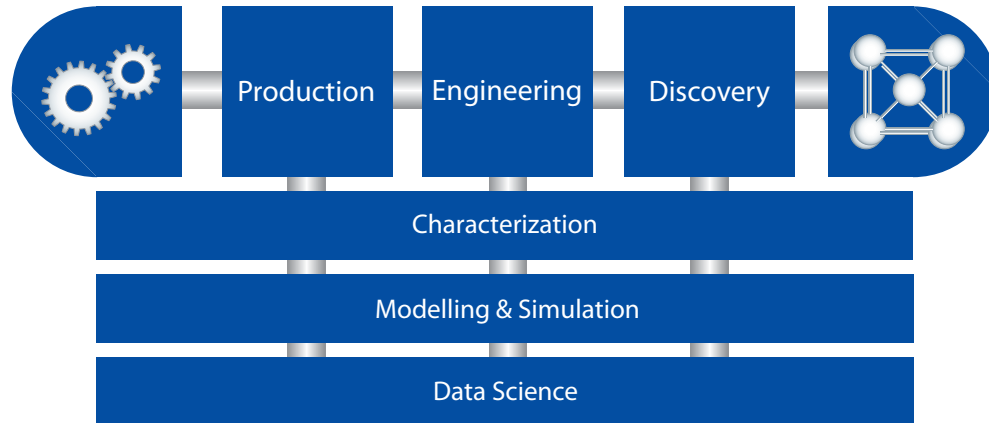
reichen von Nanomaterialien bis hin zu Fertigungstechniken. Der kooperative Profilschwerpunkt soll die vorhandene Expertise aller Standorte bündeln, die Forschungsstärke der Region weithin sichtbar machen und Materialien ganzheitlich betrachten – von ihrer Entdeckung bis zur Anwendung.

#### Neue Materialien lösen drängende Zukunftsfragen

Die Universitäten der UA Ruhr verfügen über umfassende, komplementäre Forschungskompetenz entlang der Materialkette: So setzt die RUB Schwerpunkte im Werkstoffdesign, in der Simulation auf allen Größenskalen sowie der Herstellung von Werkstücken und der Charakterisierung. Die UDE ist stark in der Skalierung der Werkstoffeigenschaften auf Nanoteilchen und die TU Dortmund in produktionstechnischen Verfahren.

Der noch junge Profilschwerpunkt soll ebenso wie die UA Ruhr „von unten“ weiter wachsen – basierend auf der Eigeninitiative der beteiligten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler. Ein paritätisch besetzter Lenkungskreis gibt den Rahmen vor, drei Standortkoordinatoren an den drei Ruhrgebietsuniversitäten helfen bei der Umsetzung. Als wichtige Impulsgeber sind die Projektrektoren Forschung der drei Universitäten im Lenkungskreis vertreten.

Für die wissenschaftliche Koordination ist je ein Professor an den drei Standorten verantwortlich: Prof. Wolfgang Tillmann von der TU Dortmund, Prof. Ralf Drautz von der Ruhr-Universität Bochum und Prof. Jörg Schröder von der Universität Duisburg-Essen. Sie werden von je einem wissenschaftlichen Mitarbeiter bzw. einer Mitarbeiterin sowie vom wissenschaftlichen Beirat – 16 Professorinnen und Professoren verschiedener Fakultäten – unterstützt.



Die Materials Chain betrachtet die Materialkette vom Bauteil zum Atom.

Der Profilschwerpunkt Materials Chain gliedert sich in sechs große Forschungsbereiche; die ersten drei bilden die Materialkette vom Bauteil zum Atom ab:

- Die Produktion und Fertigung begleiten den Prozess vom Prototyp bis zum marktfähigen Produkt.
- Die Material- und Ingenieurwissenschaften befassen sich mit der Optimierung der Struktur, den Eigenschaften und der Verarbeitung von Materialien.
- Die Synthese von Materialien umfasst ihre erste Entdeckung bis hin zu Proben, die getestet und analysiert werden können.

Experimentelle Charakterisierung, Modellierung und Simulation sowie die Datenanalyse begleiten die Kette von der Grundlagenforschung bis zur angewandten Technologie bzw. zum finalen Bauteil. Die interdisziplinäre Kooperation in diesen Bereichen ermöglicht es, Materialien ganzheitlich zu erforschen. Die umfassende Expertise der betei-

ligten Universitäten wird durch die Zusammenarbeit mit außeruniversitären Einrichtungen noch ergänzt. Die UA Ruhr arbeitet schon lange mit Partnern im regionalen Umfeld zusammen und will diese ebenfalls in das Netzwerk integrieren. Langjährig auf diesem Gebiet etabliert ist zum Beispiel die Kooperation mit drei Max-Planck-Instituten – für Eisenforschung in Düsseldorf und für Kohlenforschung sowie für chemische Energiekonversion in Mülheim. Fachhochschulen der Region sollen ebenfalls miteinbezogen werden.

Für die Zukunft stellt sich die UA Ruhr mit Materials Chain als international sichtbarer und konkurrenzfähiger Verbund auf: Dieser wirkt profilbildend für die ganze Region. Eine solch weithin sichtbare Positionierung können die einzelnen Standorte nur gemeinsam erzielen, da sie durch die Verknüpfung ihrer komplementären Forschungsexpertisen die „kritische Masse“ im internationalen Wettbewerb erreichen. Aus

dem breit gefächerten Profilschwerpunkt können sich zahlreiche Projekte ergeben, die in den unterschiedlichsten Förderprogrammen gute Chancen haben. Das Potenzial der Materials Chain in vernetzter Lehre und Forschung ist mannigfaltig – und noch lange nicht erschöpft. Um den Gedanken der Materials Chain noch stärker in die wissenschaftliche Fachwelt zu tragen, hat der Profilschwerpunkt Anfang Juni eine internationale Konferenz veranstaltet. In Bochum haben sich Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler über fachliche Grenzen hinweg vernetzt.

Innerhalb der UA Ruhr haben bereits 25 kooperative MERCUR-Projekte die Zusammenarbeit im Bereich Materials Chain vorangetrieben. Acht von ihnen werden in dieser mundo vorgestellt.

Lena Reil



## Bundesweit Spitze

Für Materials Chain erzielen die Universitäten der UA Ruhr im Förderatlas 2015 der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) bundesweit Top-Ten-Platzierungen:

- Rang 2: Chemische Festkörper- und Oberflächenforschung (RUB)
- Rang 3: Produktionstechnik (TU Dortmund)
- Rang 5: Werkstofftechnik (TU Dortmund)
- Rang 7: Werkstofftechnik (RUB)
- Rang 8: Physik der kondensierten Materie (UDE)

Rechnet man die Einzelwertungen der drei Universitäten zusammen, rangiert die Region im DFG-Förderatlas **deutschlandweit auf Platz 5** hinter Berlin, München, Heidelberg/Mannheim und Aachen.

## Zweiter Profilschwerpunkt

### RESOLV – Ruhr Explores Solvation

2015 hat die UA Ruhr neben Materials Chain auch den Exzellenzcluster „RESOLV – Ruhr Explores Solvation“ zum Profilschwerpunkt ausgerufen. Im Exzellenzcluster arbeitet die Ruhr-Universität Bochum seit 2012 eng mit der TU Dortmund und der Universität Duisburg-Essen zusammen. Das gemeinsame Ziel der Forschenden aus Chemie, Physik, Biologie und Ingenieurwissenschaften ist, die Solvatationsforschung (Solvation Science) als neues Forschungsgebiet international zu etablieren. „Solvation Science stellt das Lösungsmittel ins Rampenlicht“, sagt Prof. Martina Havenith, Sprecherin des Exzellenzclusters an der RUB. RESOLV wird von der DFG mit 28 Millionen Euro bis 2017 gefördert.

Lösungsmittel – Wasser ist das beste Beispiel – „solvatisieren“ Moleküle. Das heißt, sie bringen diese in einen flüssigen Zustand. Dort können sie miteinander zu neuen Stoffen reagieren. Lösungsmittel benetzen aber auch Oberflächen, wodurch Grenzflächen mit neuen chemischen oder physikalischen Eigenschaften entstehen. Es ist schon länger bekannt, dass Lösungsmittel eine aktive Rolle bei Reaktionen spielen und nicht nur das Medium sind, in dem diese ablaufen. Aber erst jetzt sind die experimentellen und theoretischen Methoden so weit, dass Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler untersuchen können, wie das Lösungsmittel eine Reaktion auf molekularer Ebene beeinflusst. Mögliche Anwendungen der Solvation Science sind umweltfreundliche Reinigungsverfahren in der Großchemie oder Akkus mit größeren Speicherkapazitäten.



## Längere Lebenserwartung mit dem „dritten Körper“

An allen Standorten der UA Ruhr forschen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler zum Tribomaterial, dem sogenannten „dritten Körper“. Er soll die Leistung und Lebensdauer hochbelasteter Funktionsflächen erhöhen.





**Prof. Werner Theisen** ist seit 2000 Professor für Werkstofftechnik an der Ruhr-Universität Bochum (RUB). Nach seinem Maschinenbaustudium an der RUB war er zunächst als wissenschaftlicher Mitarbeiter im Bereich Werkstofftechnik tätig. Nach seiner Promotion 1988 habilitierte er sich zum Thema „Bearbeitung verschleißbeständiger Hartlegierungen und deren Surface Integrity“. 1996 wechselte Theisen zur „Maschinenfabrik Köppern“, wo er als Bereichsleiter Technik unter anderem für Forschung und Entwicklung verantwortlich war.



**Prof. Dirk Biermann** ist seit 2007 Professor für Spanende Fertigung an der TU Dortmund und leitet das Institut für Spanende Fertigung (ISF), wo er von 1989 bis 1995 als wissenschaftlicher Angestellter und bis 1999 als Oberingenieur tätig war. Sein Maschinenbaustudium an der TU Dortmund schloss er 1989 mit dem Diplom ab, 1994 promovierte er. Acht Jahre war er anschließend als Fertigungsleiter bei der „Dr. Schrick GmbH“ beschäftigt. Seit 2014 ist Biermann Prorektor Forschung der TU Dortmund.



**Prof. Alfons Fischer** ist seit 1996 Professor für Werkstofftechnik an der Universität Duisburg-Essen (UDE). Nach seinem Maschinenbaustudium von 1974 bis 1980 an der Ruhr-Universität Bochum (RUB) promovierte er 1984 und habilitierte sich 1993. Nach einigen Jahren als wissenschaftlicher Mitarbeiter und Assistent an der RUB arbeitete er von 1992 bis 1996 bei der „NuTech GmbH“ in Neumünster als Leiter Qualitätsmanagement sowie Forschung und Entwicklung.

Der Kfz-Mechaniker meines Vertrauens, ein Empiriker des Alltags. „Beim Automotor immer dieselbe Ölart nachschütten“, empfiehlt er. „Und lieber das Öl seltener wechseln. Dann hält der Motor länger.“ Eine ungewöhnliche Empfehlung, die für seine Werkstatt und die Mineralölindustrie nicht geschäftsfördernd ist. Wo hat der „Schrauber“ seine Erkenntnis her? „Jahrelange Erfahrung“, meint er und lächelt verschmitzt. Hat er recht mit seiner Empfehlung, dass weniger mehr sein kann?

Dass weniger Ölwechsel mehr Laufleistung bedeuten können, bestätigt auch eine wissenschaftliche Studie aus Österreich: Dort verglichen Forscherinnen und Forscher den Verschleiß von Motoren, von denen die einen mit „frischem“, die Vergleichsgruppe aber mit künstlich gealtertem Öl geschmiert wurden. Das Ergebnis der Studie: Zwar war der Verschleiß bei den Motoren, die das gealterte Öl bekamen, zunächst höher als der Verschleiß in der Vergleichsgruppe. Über eine längere Zeit allerdings zeigten die Motoren mit dem frischen Öl einen höheren Verschleiß als die, die das gealterte Öl schmierte. Der Grund, so die Forscher: Das gealterte Öl ist mit dem Abrieb der Motorteile eine Verbindung eingegangen; dieses Gemisch minimiert dann den Verschleiß von Kolben, Zylinder und Co. Die Wissenschaft spricht – und das sei hier schon einmal verraten – vom „dritten Körper“ oder einem Tribomaterial, das sich gebildet habe. Und dieses Tribomaterial wirke „heilsam“ mit den mechanischen Teilen in den Motoren zusammen.

Dieses Phänomen gilt es wissenschaftlich zu untersuchen. „Es geht darum, Tribologie, also die Lehre von Reibung und Verschleiß sowie Schmierung, zu verstehen“, sagt Sebastian Goeke von der TU Dortmund. Er ist dort wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Spanende Fertigung (ISF). Gemeinsam mit Forscherinnen und Forschern der Universität Duisburg-Essen (UDE) und der Ruhr-Universität Bochum (RUB) ergründet er die wissenschaftlichen Grundlagen der Tribologie. Sie untersuchen im UA Ruhr-Profilforschungsbereich



„Weniger Ölwechsel!“ – eine ungewöhnliche Empfehlung für den Automotor, die jedoch wirksam ist: Das gealterte Öl geht mit dem Abrieb der Motorteile eine Verbindung ein; dieses Gemisch minimiert dann den Verschleiß von Kolben, Zylinder und Co.

Materials Chain beispielsweise, wie bereits bei der spanenden Bearbeitung von Bauteilen gezielt Bedingungen geschaffen werden können, damit bei ihrem Einsatz im laufenden Betrieb dauerhaft Tribomaterial, der „dritte Körper“, entsteht.

Bei den Forschungsaktivitäten zur Tribologie gibt es eine Aufgabenteilung zwischen den drei Universitäten: Vereinfacht gesagt, stellt der Bereich Werkstofftechnik von Prof. Werner Theisen an der RUB Ausgangsmaterialien wie Spezialstähle zur Verfügung. Das ISF von Prof. Dirk Biermann an der TU Dortmund übernimmt das Fräsen, Schleifen und Finishen des Materials, während der Bereich Werkstofftechnik von Prof. Alfons Fischer an der UDE die erzeugten Oberflächen und ihr Verhalten analysiert. Ein Ziel ist, die Leistungsdichte und Lebensdauer hochbelasteter Funktionsflächen durch

spanende Oberflächenkonditionierung zu erhöhen.

-----  
**Aus Schmierstoff und Nanopartikeln entsteht das Tribomaterial**  
 -----

Die Einsatzfelder des so bearbeiteten Materials sind höchst unterschiedlich: Es können künstliche Hüften sein, hochdrehende Schraubenrotoren, Getriebe für Autos oder aber für Windkraftanlagen. Dabei sind die Materialien ganz unterschiedlichen Anforderungen ausgesetzt: Ob nun im Getriebe für eine Windkraftanlage, das mindestens 20 Jahre laufen soll und mehr als 100.000 Stunden extremster Belastungen und Temperaturunterschieden von minus 40 bis plus 50 Grad standhalten muss. Oder aber im Getriebe für einen Pkw-Motor mit hohen Drehzahlen, dessen Lebensdauer dann aber nur auf weni-

ge 1.000 Stunden ausgelegt ist. Oder schließlich als Material für ein künstliches Hüftgelenk, das die Patientin oder den Patienten möglichst für den Rest des Lebens begleiten soll. Bei allen Einsätzen entsteht „im Betrieb“ ein Punkt- oder Flächenkontakt, bei dem ein Trägerstoff – wie Öl in Getrieben oder ein Körpersekret beim künstlichen Hüftgelenk – die Reibung minimieren und, wenn Metalle aufeinander treffen, den Verschleiß möglichst klein halten soll. Wenn es dann noch gelingt, dass sich aus dem Schmierstoff gemeinsam mit abgetragenen Nanopartikeln des „Bauteils“ ein Tribomaterial bildet, das bestenfalls sogar wieder Material an belasteten Flächen aufträgt, bedeutet das einen Qualitätssprung.

Die Voraussetzungen für höhere Leistungsdichte und längere Lebensdauer sind spezielle: Beispielsweise müssen Stähle durch Fräsen, Schleifen oder



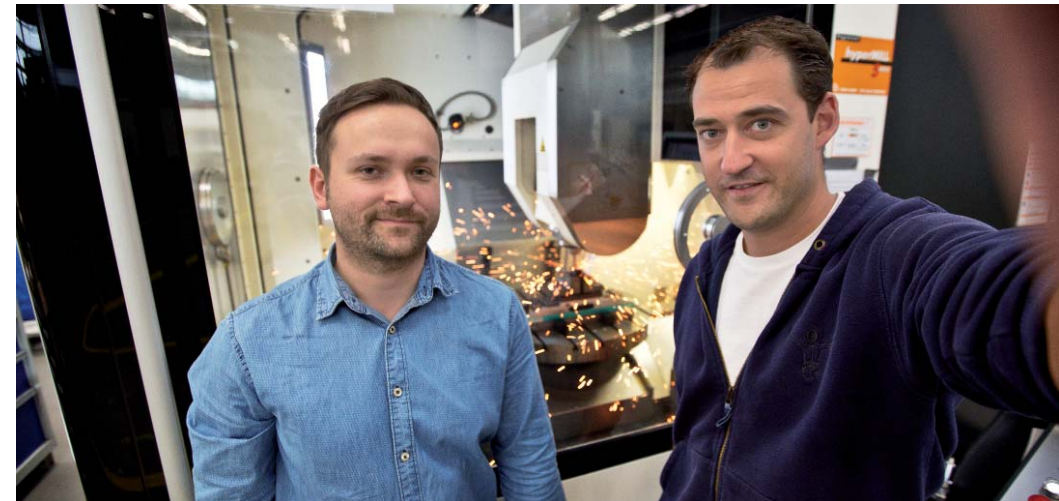
Schon die Schmiede aus Damaskus haben ihre Stähle bearbeitet, um sie zu härten: Sie schmiedeten zum Beispiel verschiedene Stahlgüten zusammen. Beim sogenannten „Damaszener Stahl“ ist diese Struktur aus mehreren, sich abwechselnden Lagen gut zu erkennen.

Honen („Finishen“) bearbeitet werden. Die aufbereiteten Einsatzstähle sind in der Sache ein „alter Hut“: Schon Wieland der Schmied aus der altgermanischen Heldensage stand bei der Herstellung des Schwerts Mimung vor der Herausforderung, eine Hochleistungswaffe zu bauen, die leicht war, scharf blieb, nicht brach und sich nicht verbog. Sein Problem: Mit sehr hartem Stahl erhält er eine Klinge, die zwar sehr lange scharf bleibt und sich nicht verbiegt, dabei aber relativ leicht bricht. Mit weichem Stahl erhält er eine Klinge, die zwar nicht bricht, dafür aber nicht scharf bleibt und sich leicht verbiegt.

#### Lernen von den Waffenschmiedern der vergangenen Jahrhunderte

Dem sagenumwobenen Schmied, aber auch seinen sehr realen Berufsgenossen etwa aus dem alten Damaskus, gelang es, den Waffen diese scheinbar widersprüchlichen Eigenschaften anzugewöhnen, indem sie Stahl härteten, also glühende Werkstücke möglichst schnell abkühlten. Das erfolgte in kaltem Wasser oder Öl. Anschließend wurde das Schwert wieder geschmiedet, also in der Regel mit einem schweren Hammer bearbeitet. Beim Härten bilden sich mikrokristalline Strukturen der Kohlenstoffverbindungen im Metallgitter, die eine hohe Festigkeit und Härte besitzen. Beim Damaszener Stahl schmiedeten die Handwerker verschiedene Stahlgüten übereinander, so dass sie ihre Werkstücke lamellenartig zusammenfügten.

Bearbeitungs- und Schmiedetechniken, die die Waffenschmiede über Jahrhunderte überlieferten, wobei sie auf ihre Erfahrungen setzten, werden heute wissenschaftlich ergründet und entsprechend angewandt. Im Detail erzeugen die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter im Bereich Werkstofftechnik von Prof. Werner Theisen an der RUB die speziellen Werkstoffe, die umfangreich charakterisiert und angepasst sind: Dazu bringen sie in die Randzonen verschiedener Metallproben unterschiedliche Kohlenstoffanteile ein,



Dennis Freiburg (links) und Sebastian Goeke (rechts) bearbeiten an der TU Dortmund die Oberflächen von Bauteilen, um ihre Haltbarkeit zu verbessern.

um diese zu härten. Mit aufwendigen Finish- und Schleifprozessen bearbeitet anschließend das ISF-Team um Prof. Dirk Biermann an der TU Dortmund diese vorbereiteten Proben. Daniel Stickle und Priska Stemmer aus der Arbeitsgruppe von Prof. Alfons Fischer im Bereich Werkstofftechnik an der UDE analysieren schließlich die Mikrostruktur der bearbeiteten Werkstoffe. Immer wieder gibt es Rückmeldungen in dieser Schleife der Zusammenarbeit, so dass die Forschung weiter vorangetrieben wird. „Es ist eine Kooperation über die gesamte Prozesskette“, berichtet Prof. Dirk Biermann.

„Unsere gemeinsame Forschung zeigt, dass in der gezielten Abstimmung der Werkstofftechnik und der anschließenden spanenden Bearbeitung großes Potenzial zur Steigerung der Leistungsfähigkeit tribologisch beanspruchter Funktionsflächen besteht“, sagt Sebastian Goeke von der TU Dortmund. Bei den spanenden Fertigungsverfahren arbeiten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aktuell mit zwei simulativen und einer experimentellen Anlage. Mit viel Rechneinsatz, aber auch mit physischen Versuchen in der Fertigung wird zum Beispiel abgebildet, welche Prozesse und Belastungen an der

Schneide des Bearbeitungswerkzeugs entstehen, wie sich die Werkstücke in der Randzone bei Wärme verformen. Die Spanbildung wird modelliert, Schädigungen werden simuliert.

#### Auch die Industrie soll von den Ergebnissen profitieren

Im Bereich Werkstofftechnik an der UDE wird mit modernster Technik wie Laserdiagnostik und akustischen Analysen die Grundlagenforschung zu den tribologischen Prozessen abgerundet. „Trotz der erzielten Fortschritte besteht weiterhin erheblicher Forschungsbedarf. Die im Projekt entstandenen Fragestellungen werden sich nur in Kooperation mit weiteren Instituten und Einrichtungen außerhalb unseres Fachgebiets lösen lassen“, berichtet Goeke. „So stellt beispielsweise die chemische Analyse des Tribomaterials eine wichtige Komponente dar.“ An dieser Stelle kann die Zusammenarbeit mit anderen Fakultäten ansetzen, zum Beispiel mit der Chemie.

Von der Forschung könnten Maschinenbauunternehmer wie Eickhoff in Bochum profitieren. Eickhoff ist ein glo-

bal tätiges Familienunternehmen, 1864 gegründet. Kerngeschäft ist die Produktion von Maschinen und Getrieben, die sich weltweit unter extremen Bedingungen bewähren müssen, ob unter Tage im Bergbau oder in hundert Metern Höhe als Windkraftgetriebe. 131 Meter Radius misst beispielsweise der Rotor einer Windkraftanlage in der Leistungsklasse von drei Megawatt. Bis minus 40 Grad und plus 50 Grad Celsius arbeitet das Getriebe störungsfrei – und das mindestens 20 Jahre lang. Großen Wert legen die Eickhoff-Ingenieure auf die Gestaltung der Flanken und Oberflächen der Zahnkränze. Auch tribologische Prozesse helfen, die Lebensdauer der Getriebe zu erhöhen, sagt Dr. Frank Krull, Leiter Forschung und Entwicklung bei Eickhoff.

„Es ist, wie es ist“ – mit diesem Leitsatz des Philosophen Erich Fried mag man sich in der Liebe zufrieden geben. Beim Verstehen des „dritten Körpers“ haben sich jetzt die drei Ruhrgebietsuniversitäten daran gemacht, wissenschaftlich zu ergründen, warum etwas ist, wie es ist. Mit der Forschung zu tribologischen Vorgängen eröffnet sich die Chance, diese Technik zielgerichtet einzusetzen und zu optimieren.

Martin Rothenberg



**OTTO FUCHS**

**Hier zählt das WIR.  
WERDEN SIE TEIL VON OTTO FUCHS!**

**Ihre Zukunft bei OTTO FUCHS.**  
OTTO FUCHS ist ein international führender Lieferant der Luftfahrt-, Automobil- und Bauindustrie sowie des Maschinen- und Anlagenbaus. Bei uns erwarten Sie spannende Projekte und Aufgaben für Kunden in der ganzen Welt.

**Genug Theorie. Der erste Schritt in die Praxis!**  
Für uns ist die Ausbildung junger Menschen eine bedeutende Investition in die Zukunft. Wir bieten engagierten und motivierten jungen Menschen vielfältige Möglichkeiten, um ihre Talente und Stärken zu entfalten. Bei OTTO FUCHS erwarten Sie spannende Stellen für Praktika, diverse Ausbildungsberufe und duale Studiengänge mit ausgezeichneten beruflichen Perspektiven.

**Neugierig geworden? Bewerben Sie sich!**  
Mehr erfahren Sie unter [www.otto-fuchs.com/jobs](http://www.otto-fuchs.com/jobs).



**OTTO FUCHS KG | Derschlagener Str. 26 | 58540 Meinerzhagen |**

# Flugzeuge auf dem virtuellen Prüfstand

Statt ein echtes Flugzeug im Prüfstand zu testen, simulieren drei UA Ruhr-Forscher Schädigungsprozesse am Computer. Sie entwickeln ein Modell, das schon im Voraus zeigt, an welchen Stellen nachgebessert werden muss.





**Prof. Klaus Hackl** ist Professor für Mechanik und Materialtheorie an der Ruhr-Universität Bochum. Nach seinem Studium der Physik und Mathematik in Karlsruhe und Heidelberg promovierte er 1988 an der RWTH Aachen und forschte als Feodor-Lynen-Stipendiat der Humboldt-Stiftung bis 1992 am Department of Mathematical Sciences der University of Delaware, USA. 1997 habilitierte er an der Technischen Universität Graz. Seit 1999 ist er Professor an der Ruhr-Universität Bochum an der Fakultät für Bau- und Umweltingenieurwissenschaften.



**Prof. Christian Meyer** ist Professor an der Fakultät für Mathematik der TU Dortmund. Meyer studierte Maschinenbau an der Ruhr-Universität Bochum und erwarb sein Diplom in Physikalischer Ingenieurwissenschaft an der TU Berlin. 2006 promovierte er dort in Mathematik und war ab 2009 zunächst Juniorprofessor, dann Professor an der TU Darmstadt. 2011 nahm Meyer den Ruf an die TU Dortmund an. Sein wissenschaftliches Interesse gilt der Optimierung von Systemen, die durch partielle Differentialgleichungen und Variationsungleichungen beschrieben werden.



**Prof. Arnd Rösch** ist Professor an der Fakultät für Mathematik der Universität Duisburg-Essen. Er studierte Mathematik an der TU Chemnitz, wo er 1990 sein Diplom erwarb und 1995 promovierte. 2001 habilitierte er an der TU Berlin. Nachdem er von 2003 bis 2007 am Johann Radon Institute for Computational and Applied Mathematics (RiCam) in Linz geforscht hatte, kam er an die Universität Duisburg-Essen. Dort ist er Professor im Bereich Nichtlineare Optimierung.

Wenn wir in ein Flugzeug steigen, wollen die meisten von uns lieber nicht darüber nachdenken, wie sich die Tragflächen im Wind meterweit verbiegen. Wie das Material bis aufs Äußerste belastet wird und wie sich im Rumpf kleine Risse bilden, die mit der Zeit immer länger werden. Für Prof. Klaus Hackl von der Ruhr-Universität Bochum dagegen hat diese Vorstellung nichts Beängstigendes. „Ein Flugzeug ohne Risse würde nicht fliegen“, sagt der Mechanikprofessor. Selbst wenn es ein Material gäbe, das den hohen Belastungen standhielte, ohne auch nur die kleinste Macke aufzuweisen – es wäre wohl nicht nur zu teuer, sondern auch viel zu schwer. „Man muss immer einen Kompromiss finden“, erklärt er. „Wichtig ist nicht, dass man Schädigungen komplett vermeidet. Stattdessen kommt es darauf an, sie vorherzusagen und bereits im Voraus zu wissen, ob sie in einem akzeptablen Maße bleiben.“

Um das herauszufinden, stellt man bisher die Bauteile jedes neuen Flugzeugstyps auf eine harte Belastungsprobe. Eingespannt in riesige Maschinen werden etwa die Tragflächen Millionen Male hin und her gebogen. Verschiedenste Situationen werden auf diese Weise nachgestellt, von einem Langstreckenflug über den Atlantik bis hin zu einer Notlandung bei Gewitter. Innerhalb von ein paar Monaten lässt sich so ein ganzes Flugzeugleben simulieren. Doch dieses Verfahren ist aufwändig und teuer. Bricht dann doch einmal ein Flügel bei den Tests ab, geht es wieder von vorne los.

Klaus Hackl arbeitet an einer anderen Lösung. Wenn es nach ihm geht, muss man zukünftig kein ganzes Flugzeug mehr zerstören, um festzustellen, dass man an einigen Stellen nachbessern muss. Statt die Belastungen mit einem realen Flugzeug auf dem Prüfstand nachzustellen, möchte er die Schädigungsprozesse am Computer simulieren. Solche Simulationen gibt es bereits, sie sind aber noch nicht ausreichend zuverlässig und genau. „Auch in Zukunft wird man wahrscheinlich ganz am Ende einen echten Prototyp testen. Aber mit Hilfe von Simulationen kann

man sich viele Fehlschläge sparen und so schneller und kostengünstiger zu einem guten Ergebnis kommen.“

Seit mehr als einem Jahrzehnt beschäftigt sich Hackl schon mit Schädigungsmodellen. „Ursprünglich ging es darum, die Vorgänge bei Vulkanausbrüchen zu simulieren“, erzählt er. „Bevor es zur Eruption kommt, dehnt sich das Magma aus und das Gestein bekommt mehr und mehr Risse, bis es plötzlich nachgibt. Das habe ich mit meinem ersten Modell beschrieben.“ Dieses Modell hat er inzwischen deutlich weiterentwickelt. Statt um Vulkanausbrüche geht es nun um die Verformung und Schädigung von Bauteilen, beispielsweise bei Flugzeugen. Zunächst aber lieferte Hackls Modell in vielen Fällen keine sinnvollen Ergebnisse.

#### Interdisziplinäre Kooperation zwischen Mechanik und Mathematik

Um es in eine mathematisch korrekte und lösbare Form zu bringen, tat sich der Bochumer Mechanikprofessor mit zwei Mathematikern zusammen. Prof. Christian Meyer von der TU Dortmund und Prof. Arnd Rösch von der Universität Duisburg-Essen modifizierten Hackls Modellgleichungen und analysierten sie aus mathematischer Sicht. Unter anderem konnten sie beweisen, dass die Gleichungen eindeutig lösbar sind und Algorithmen entwerfen, mit denen man diese Lösung mit Hilfe des Computers berechnen kann. Für jeden einzelnen Punkt auf den Tragflächen soll das Modell vorhersagen, unter welchen Bedingungen er wie stark demoliert wird, nach welcher Zeit sich die ersten Schäden zeigen und wie sich das auf die Stabilität der umliegenden Flächen auswirkt.

„Schädigungen sind sehr komplex“, sagt Christian Meyer. „Wenn ein Bauteil kaputtgeht, ändert es plötzlich sein Verhalten: Gerade war es noch biegsam, jetzt auf einmal zerspringt es. Außerdem gibt es Zwischenstadien, etwa, wenn sich ein Material dauerhaft verformt, aber nicht bricht.“ All das in lösbare mathematische Formeln zu gie-



Für jeden einzelnen Punkt des Materials soll die Simulation vorhersagen, unter welchen Bedingungen er wie stark demoliert wird und wann sich die ersten Schäden zeigen.

ßen, ist eine Herausforderung. „Bisher stehen wir noch ganz am Anfang, wir erforschen die Grundlagen.“ In Zukunft sind aber vielfältige Anwendungen denkbar: Nicht nur die Schädigungen an Flugzeugen lassen sich damit simulieren, auch Glasbruch, Sprengungen oder Blechumformungen können mit Hilfe der Modelle vorhergesagt und geplant

werden. „Der Vorteil ist, dass wir die Gleichungen so gestaltet haben, dass man sie leicht mit anderen verknüpfen kann. So kann man in Zukunft zum Beispiel Faktoren wie die Strömungsgeschwindigkeit des Windes, die Beschleunigung oder besondere Eigenschaften des Materials wie Flexibilität einfügen.“



Ein Flugzeug ohne Risse würde nicht fliegen. Deshalb ist es nicht wichtig, Schädigungen komplett zu vermeiden. Es kommt vielmehr darauf an, sie vorherzusagen, mit ihnen zu planen und bereits im Voraus zu wissen, ob sie in einem akzeptablen Maße bleiben.

Dafür ist gegebenenfalls zusätzliche Expertise erforderlich. Klaus Hackl kann sich gut vorstellen, in späteren Stadien weitere Kooperationen zu schließen: „Je nach Anwendungsfall könnten wir zum Beispiel noch jemanden aus dem Bereich Strömungsmechanik mit ins Boot holen“, meint er. Der gemeinsame UA Ruhr-Profilsschwerpunkt Materials Chain bietet dafür eine gute Plattform. „In dem breit aufgestellten wissenschaftlichen Netzwerk findet man leicht Personen, deren Forschung zu der eigenen passt. Man kennt sich und tauscht sich aus.“

Als ersten Schritt auf dem Weg zur praktischen Anwendung hat Arnd Rösch mit seinem Team an der Universität Duisburg-Essen eine Software programmiert, die Berechnungen auf Basis des Schädigungsmodells durchführt. Aktuell testet er die Software mit einfachen Beispielen aus. „Fürs erste gehen wir davon aus, dass unser Bauteil immer eine quadratische Membran ist.

Auf diese lassen wir in der Simulation verschiedene Kräfte wirken“, erklärt Rösch. Grundsätzlich wäre es zwar schon denkbar, auch kompliziertere Formen zu wählen. „Um echte Beispiele aus der Praxis zu berechnen, fehlen noch ein paar Elemente, aber die sind aus mathematischer Sicht nicht allzu schwierig, die können wir leicht hinzufügen“, meint Rösch. „Doch bisher würde das den Rechenaufwand für den Computer nur unnötig in die Höhe treiben.“

#### Voneinander lernen, Kompetenzen vereinen

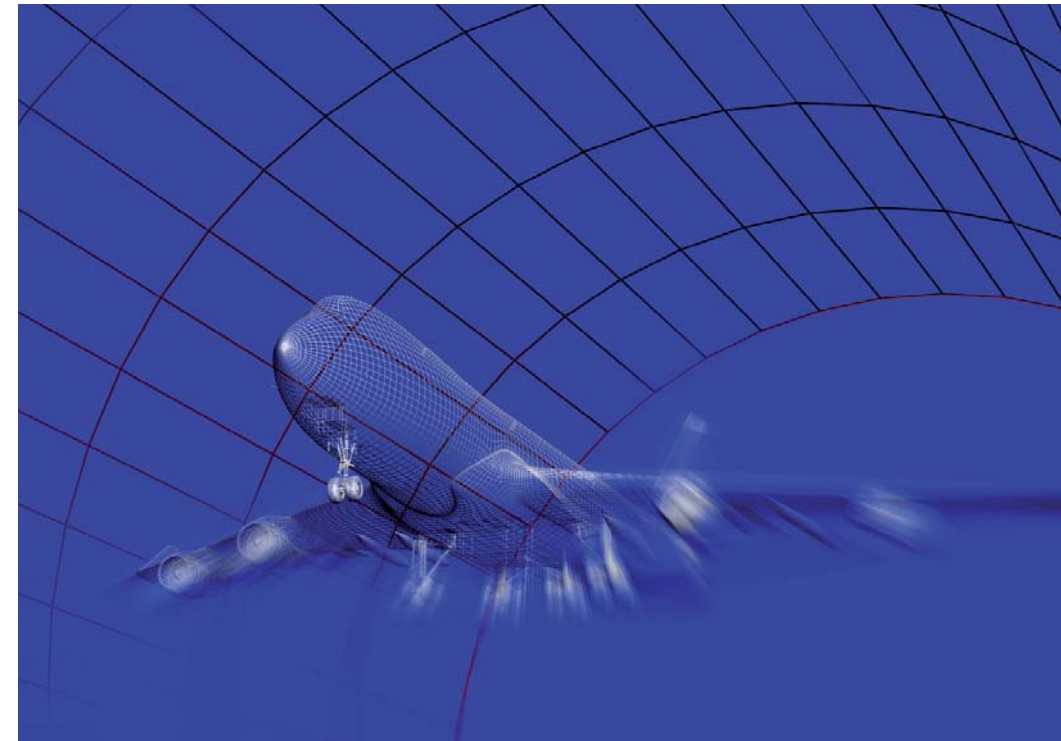
Schon jetzt liefert die Software oft erst nach mehr als einer halben Stunde ein Ergebnis. Würde man ein dreidimensionales Bauteil annehmen, könnten die Berechnungen durchaus eine Woche dauern. Mit einem Großrechner ginge es schneller – „aber das lohnt sich erst,

wenn wir mit der Software weiter sind. Es bringt ja nichts, wenn wir die gleichen Fehler machen wie vorher, nur eine Million mal schneller.“ Bisher genügt also ein normaler PC.

Um auf Schwachstellen aufmerksam zu werden, sind die Mathematiker wiederum auf Hackls mechanisches Fachwissen angewiesen. Er prüft, ob die Ergebnisse plausibel sind. Wenn nicht, suchen Meyer und Rösch nach Fehlern im Algorithmus und in der Software. „Man kann die physikalische Realität nur näherungsweise durch ein mathematisches Modell abbilden und dieses auch nur näherungsweise mit Hilfe des Computers lösen“, erläutert Meyer. Klaus Hackl beurteilt daher aus Sicht der Anwendung, ob die Ergebnisse physikalisch korrekt sind. „Das Schöne an unserer Kooperation zwischen Mechanik und Mathematik ist, dass wir kontinuierlich voneinander lernen“, sagt er. „Wir alle wollen verstehen, wie und warum Dinge kaputtgehen. Das geht am besten, indem wir unsere unterschiedlichen Kompetenzen vereinen.“ Auch Rösch schätzt diesen Austausch: „Die Zusammenarbeit ist alles andere als eine Einbahnstraße. Nur durch ständige Rückkopplungen können wir das Modell und den Algorithmus verbessern und schließlich reif für die Praxis machen.“

Auch wenn sich die Modellierung und Simulation der Prozesse bisher noch im Bereich der Grundlagenforschung befindet, kann sie in Zukunft gleich mehrere Schritte auf dem Weg zum fertigen Flugzeug begleiten. Bei der Entwicklung von neuen Prototypen kann sie frühzeitig Schwachstellen aufzeigen. So kann man nachbessern, bevor überhaupt die ersten Teile in die Produktion gehen. „Dieser Teil ist der spannendste, denn hier besteht in der Praxis ein hoher Bedarf“, meint Hackl. „Wir wollen eine Simulation schaffen, mit der man schon vor dem Bau vorhersagen kann, wie sich das Material in verschiedenen Betriebsituationen verhält und unter welchen Bedingungen es welche Lebensdauer hat.“

Doch auch im weiteren Verlauf der Herstellung kann das Schädigungsmodell



In Zukunft sind vielfältige Anwendungen der Schädigungssimulation denkbar: So können die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Strömungsgeschwindigkeit des Windes, die Beschleunigung oder besondere Eigenschaften des Materials wie Flexibilität in die Gleichungen einfügen.

der UA Ruhr-Forscher hilfreich sein. Damit sich die Bauteile perfekt zusammenfügen, müssen sie zunächst in die richtige Form gebracht werden. In riesigen Umformmaschinen werden dazu große Metallplatten zurechtgebogen und -gedrückt. „Das ist natürlich auch eine starke Belastung, unter der die Materialien nicht kaputtgehen dürfen“, sagt Hackl. „Nur die gewünschte Verformung darf auftreten, aber keine sonstigen Dellen, Falten oder gar Bruchstellen.“ In heutigen industriellen Anlagen funktioniert das in der Regel schon gut. Trotzdem kann das Schädigungsmodell, mit dem sich auch geplante Umformungen abbilden lassen, den Prozess gegebenenfalls verbessern. „In unsere Software geben wir ein, wo wir welche Verformung haben möchten und an welchen sensiblen Stellen dabei kei-

ne Defekte auftreten dürfen“, erläutert Rösch. „Der Computer berechnet dann genau, welche Kraft man wo ansetzen muss.“

#### Schon vor dem Bau vorhersagen, wie sich das Material verhält

An der TU Dortmund arbeiten Meyer und sein Team daran, derartige Umformprozesse zu optimieren, um sie beispielsweise kostengünstiger zu gestalten. Sein Spezialgebiet ist die mathematische Optimierung. „Ziel der Optimierung ist, den Aufwand für eine gewünschte Verformung zu minimieren“, erklärt Meyer. „Die Algorithmen müssen wir also so gestalten, dass sie uns zeigen, wie wir äußere Kräfte möglichst ge-

zielt einsetzen können.“ Fachlich sei diese Aufgabe sehr spannend, zumal die Gleichungen äußerst komplex sind. „Für mich als Mathematiker hat das gemeinsame Projekt mit der Mechanik den Reiz, dass ich wissenschaftlich anspruchsvolle Berechnungen machen kann, aber dabei gleichzeitig einen Bezug zur Anwendung habe.“ Auch Rösch findet: „Es ist schön zu sehen, dass sich unsere Erkenntnisse aus der Grundlagenforschung für praktisch relevante Fragestellungen nutzen lassen und bei echten Problemen weiterhelfen können.“ Und wer weiß: Vielleicht werden die drei Forscher aus dem Ruhrgebiet in einigen Jahren selbst in ein Flugzeug steigen, bei dessen Entwicklung ihr Schädigungsmodell für die nötige Sicherheit gesorgt hat.

Elena Bernard



## Ganz und gar nicht makellos

Eine Forschergruppe der UA Ruhr platziert absichtlich Fehlstellen in hochreinen Diamanten, um diese als Sensoren oder in Quantencomputern einzusetzen. Über ihre Forschung sprechen die drei Wissenschaftler in Interviews.

**D**iamonds are a girl's best friend, sang Marilyn Monroe in den 1950er-Jahren und zollte damit einer Faszination Tribut, die bis heute ungebrochen ist: Diamanten begeistern Menschen gerade aufgrund ihres vollendeten Aussehens. Das Molekülgitter, aus dem ein Diamant besteht, ist allerdings gar nicht so perfekt, wie man es bei den glitzernden Kristallen erwarten würde. Oftmals sind Verunreinigungen und Fehler in der Struktur zu finden. Gerade diese Fehler sind für eine Forschergruppe der UA Ruhr interessant.

Prof. Volker Buck von der Universität Duisburg-Essen, Prof. Ulrich Köhler von der Ruhr-Universität Bochum und Prof. Dieter Suter von der Technischen Universität Dortmund beschäftigen sich in einem MERCUR-Projekt mit einer ganz bestimmten Art von Fehlern – mit sogenannten NV-Zentren. Das N steht für Stickstoff, das V für „vacancy“, also „Leerstelle“. Die NV-Zentren entstehen, wenn ein Stickstoffatom in ein Diamant-Kristallgitter geschossen wird, das üblicherweise aus Kohlenstoff besteht. Dadurch werden zwei Kohlenstoffatome herausgestoßen, das Stickstoffatom setzt sich an eine Stelle, die Nachbarstelle bleibt leer.

Diese Fehlstellen können als Sensoren oder in der Quanteninformationstechnologie genutzt werden. Wie das aussehen kann und wie die drei UA Ruhr-Universitäten zusammenarbeiten, um die Diamant-Fehlstellen herzustellen und zu erforschen, berichtet Prof. Dieter Suter im mundo-Interview.

**Herr Suter, wie ist es dazu gekommen, dass man sich für die Fehlstellen in Diamanten interessiert hat?**

Ich glaube, bei Diamanten gibt es das schon seit 100 Jahren Untersuchungen – primär ausgehend von der Industrie. Ein wirklich perfekter Diamant ist relativ langweilig. Er ist durchsichtig und farblos. Die interessanten Diamanten sind die farbigen. Es hat die Menschen interessiert, wodurch die Farben zustande kommen, wie man sie optimieren kann.

Hierbei ist man dann auf die Fehlstellen im Kristallgitter gestoßen, die unter anderem Einfluss auf die Farbe haben. Ich selbst bin in den frühen 90er-Jahren auf die NV-Zentren gestoßen, bei denen es im UA Ruhr-Projekt geht. Da war ich als Postdoc zu Gast in Australien an der Australian National University. Dort gab es einen Wissenschaftler, der schon ziemlich viel Erfahrung damit hatte. Inzwischen gibt es Hunderte von Arbeitsgruppen auf der Welt, die sich mit dem Thema beschäftigen.

**Was macht diese NV-Zentren für die Forschung so interessant?**

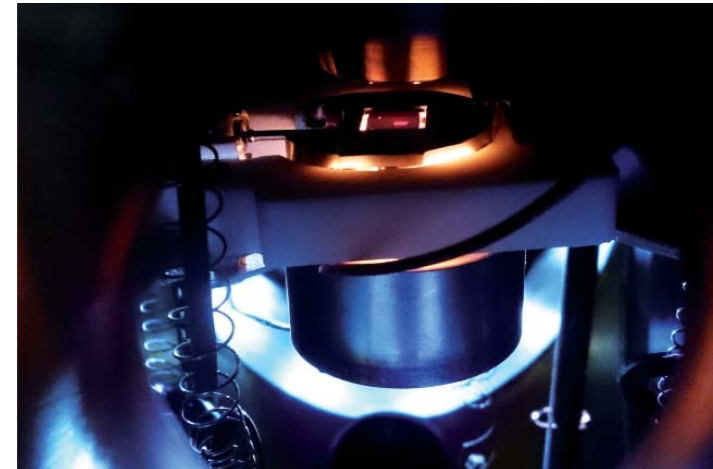
Für uns Forscher sind sie in zweierlei Hinsicht attraktiv: Erstens machen sie es möglich, mit einer geringen Anzahl an Spins zu arbeiten (siehe Kasten rechts). Zweitens haben die Spins eine sehr lange Lebensdauer. Wenn man diese anregt, bleiben sie für eine sehr lange Zeit in diesem angeregten Zustand. Das ist beispielsweise für die Quanteninformationsverarbeitung wichtig. Es braucht eine gewisse Zeit, bis die Informationen verarbeitet sind. Während dieser Zeit muss der angeregte Spinzustand erhalten bleiben. Dasselbe gilt, wenn man die Zentren als Sensoren nutzt, man also etwas messen will. Je länger man den Messprozess durchführen kann, desto präziser wird das Resultat.

**Spannend ist also die Möglichkeit, mit einzelnen Spins zu arbeiten und diese gezielt zu beeinflussen.**

Genau. Dadurch, dass die Zentren so klein sind, bieten sie die Möglichkeit, sehr kleine Strukturen zu untersuchen. Man kann das zum Beispiel in Form einer Sonde nutzen, um im Extremfall einzelne Moleküle anzuschauen. Ein Molekül ist immer etwas sehr Kleines, und wenn ich das untersuchen will, brauche ich einen entsprechend kleinen Sensor. Das wären eben diese Zentren. Das könnte in der medizinisch-biologischen Forschung interessant werden, wo man zum Beispiel Moleküle untersuchen möchte, die als Medikamente oder als krankmachende Stoffe relevant sind.

## Spins

Der Eigendrehimpuls von Elementarteilchen wird als „Spin“ bezeichnet. Spins können nach „oben“ oder nach „unten“ orientiert sein. Sie werden genutzt, um die digitalen Zustände „0“ und „1“, auf denen unsere Informationstechnologie basiert, physikalisch zu realisieren. Spins können aber auch in einem Überlagerungszustand sein, indem sie gleichzeitig nach oben und nach unten weisen. Diese kommen zum Beispiel in Quantencomputern zum Einsatz.



An der Ruhr-Universität Bochum schießen die Wissenschaftler gezielt Stickstoffionen in die Diamanten.

**Wie erforschen Sie und Ihre Kollegen an den anderen UA Ruhr-Universitäten die NV-Zentren?**

Es ist sozusagen eine Wertschöpfungskette: In Duisburg-Essen werden die Diamanten hergestellt, an der Ruhr-Universität Bochum werden die Fehlstellen implantiert, diese werden anschließend an der TU Dortmund untersucht. Das findet sich eigentlich nie in einer Arbeitsgruppe oder in einer einzelnen Universität. Diese Kombination von mehreren Universitäten auf engem Raum erlaubt eine effiziente Kooperation, wobei diverses Know-how zusammenkommen kann.

**Lassen Sie uns beim ersten Schritt anfangen. Wie funktioniert die Produktion der Diamanten?**

Man unterscheidet grundsätzlich zwischen den Aggregatzuständen fest, flüssig und gasförmig. Plasma ist sozusagen der vierte Aggregatzustand, der für die Herstellung von Diamanten wichtig ist. Das ist ein Gas, das allerdings nicht wie normales Gas aus neutralen Teilchen besteht – Sauerstoff, Stickstoff usw. –, sondern aus geladenen Teilchen. Das sind ionisierte Moleküle und Atome und freie Elektronen.

Plasma gibt es zum Beispiel auf der Erde in Blitzen, auf der Sonne, im interstellaren Raum. Es wird auch künstlich hergestellt. Man braucht das z.B. in der Medizin, um Keime abzutöten und zur Herstellung bestimmter Materialien wie Diamanten. Die Kollegen an der UDE nehmen also ein Molekülgemisch und ionisieren die Moleküle. Diese scheiden sich auf der Oberfläche eines Substrats, also einer Platte, ab. Bei der Diamantherstellung ist das Substrat selbst auch ein Diamant. So wird der Diamant Molekül um Molekül vergrößert. Es wächst eine Schicht nach der anderen auf der Unterlage.

**Wie geht es dann weiter?**

Im nächsten Schritt gehen die Diamanten an die RUB. Die Wissenschaftler schießen dort Ionen in die Kristalle. Das sind in unserem Fall vor allem Stickstoff-Ionen. Je nachdem, wie schnell man die hineinschießt, gehen sie tiefer oder weniger tief hinein und erzeugen dann eine solche Fehlstelle. Das eigentliche Diamantgitter besteht aus Kohlenstoffatomen. Bei der Herstellung des Plasmas muss darauf geachtet werden, den Stickstoffanteil gering zu halten. Das ist eine Herausforderung. Schließlich wollen wir die Stickstoffatome ge-

zielt einsetzen. Wenn ein Stickstoff-Ion in den Diamanten eingebracht wird, befördert es manchmal zwei Kohlenstoffatome aus dem Kristallgitter raus und bleibt selber an der Stelle eines Atoms stecken. Mit der benachbarten Leerstelle bildet es zusammen dieses spezielle NV-Zentrum.

**Und diese werden anschließend an der TU Dortmund untersucht.**

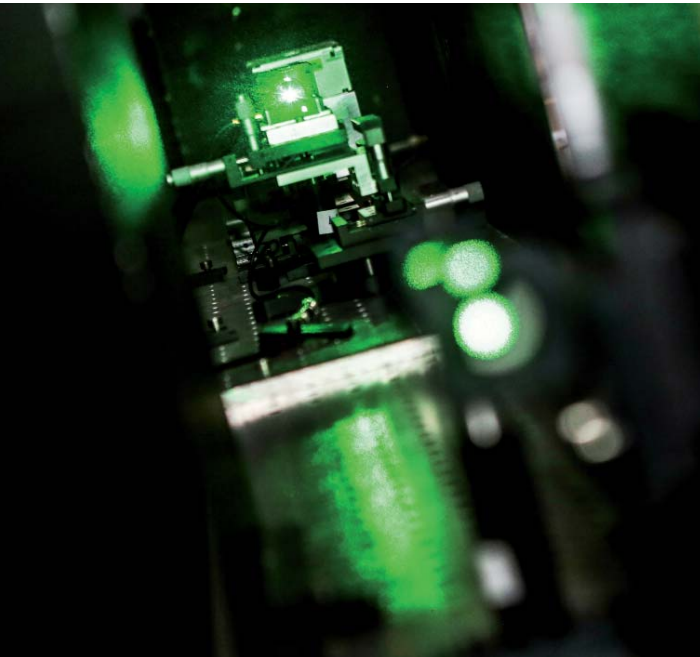
Richtig. Wir kombinieren hierbei optische Spektroskopie und Magnetresonanz. Dafür nutzen wir spezielle Geräte, die wir auch selbst zusammenbauen. Man baut dabei natürlich auf Geräte auf, die man kaufen kann, und setzt sie dann so zusammen, dass ein größeres Gerät daraus entsteht. Das ist dann spezifisch auf unsere Anwendung zugeschnitten.

**Wie sind die einzelnen Bereiche im Verlauf des Projekts fortgeschritten?**

Das Team in Duisburg-Essen hat gelernt, wie die Diamantschichten am besten aufgebaut werden. Die Kollegen wissen nun, welche Wachstumsparameter dafür optimal sind. In Bochum war die Hauptschwierigkeit, die Ionen einzubringen. Das hat zu Beginn Pro-



**Prof. Dieter Suter** ist Professor für Experimentelle Physik – Kernspinresonanz an der Fakultät Physik der TU Dortmund. Nach seinem Physikstudium an der ETH Zürich (Schweiz) promovierte der Wissenschaftler 1985 dort. Bis 1993 hatte er mehrere Postdoc-Stellen an der University of California, Berkeley (USA) und der ETH Zürich. Anschließend war Suter als Privatdozent an der ETH Zürich tätig. Dem Ruf an die TU Dortmund folgte er 1995.



Die Wissenschaftler an der TU Dortmund haben ein neues Experiment aufgebaut, mit dem sie Fehlstellen in Diamanten untersuchen können.

bleme gegeben, weil ein Diamant ein sehr schlechter Leiter ist. Ionen sind geladene Teilchen. Wenn die auf den Diamanten treffen, wird dieser geladen und stößt die nachfolgenden Ionen ab. Dadurch hatten die Bochumer Kollegen Schwierigkeiten dabei, die Ionen gezielt zu implantieren. Wir brauchen möglichst präzise Punkte, an denen die Ionen eingebracht werden. Wir an der TU Dortmund haben im Wesentlichen ein neues Experiment für die Charakterisierung der Fehlstellen aufgebaut, schließlich gibt es in Diamanten nicht nur die Zentren, die wir suchen. Wir können jetzt ganz gezielt sehen, ob an der gewünschten Stelle ein NV-Zentrum mit Elektron, ohne Elektron oder etwas ganz anderes ist.

**Sie sagten, dass die Fehlstellen in der Quanteninformationstechnologie genutzt werden können. Wie sieht das aus?**

Jedes NV-Zentrum enthält einen oder mehrere Spins, die man verwenden

kann, um Quanteninformation zu speichern. Informationen speichert man normalerweise digital, dabei muss man zwischen 0 und 1 unterscheiden. Auch bei einer klassischen Festplatte sind Spins in die eine oder andere Richtung orientiert. Der Zustand 0 würde zum Beispiel dafür stehen, dass der Spin nach oben zeigt. 1 heißt dementsprechend, dass der Spin nach unten weist. Der Unterschied zu einem klassischen Rechner ist, dass ein Quantencomputer, der z.B. mit diesen NV-Zentren arbeiten würde, nicht nur den Zustand „0“ oder „1“ haben kann, sondern auch einen so genannten Überlagerungszustand. Der Spin kann also sowohl im Zustand 0 als auch im Zustand 1 sein. Das erlaubt einem, Rechnungen mit beiden Anfangszuständen gleichzeitig durchzuführen. Das ist bei einem einzelnen Bit nicht besonders spannend, aber wenn Sie 1.000 Bits haben, dann können Sie damit  $2^{1.000}$  Rechnungen durchführen. Das ist ziemlich viel. Daher kommt die hohe Leistungsfähigkeit von Quantencomputern im Vergleich zu klassischen Computern.

tern im Vergleich zu klassischen Computern.

**Wie würde sich das, was Sie eben erklärt haben, in einem Quantencomputer wiederfinden?**

Die Idee wäre, dass man einen Diamantkristall mit 1.000 NV-Zentren in wohldefinierten Abständen nimmt und diesen in einen Computer einbaut. Unsere heutigen Rechner haben Silizium-Chips und in einem solchen Rechner hätten wir dann einen Diamant-Chip.

**Sie haben noch eine weitere Anwendung für die NV-Zentren genannt: Inwiefern können sie als Sensoren genutzt werden?**

Wir haben beispielsweise schon eine Temperaturmessung mit einem Sensor, der aus einem Atom besteht, gemacht. Damit kann man Temperaturen sehr präzise messen. Es gibt zwar präzisere Sensoren, aber es ist schwierig, einen zu finden, der so klein ist. Wir haben auch schon ein Magnetfeld mit dem Sensor gemessen. Hier gibt es auch eine interessante Anwendung in der Medizin. Das ist die sogenannte Magnetkardiographie. Das Herz erzeugt ein Magnetfeld, das eine Zeitabhängigkeit mit dem Herzschlag und gleichzeitig eine gewisse räumliche Verteilung hat. Um dieses Feld zu untersuchen, haben Forscher 24 Magnetfeldsensoren auf der Brust eines Patienten verteilt. An jeder Stelle wurde der Herzschlag gemessen – unterschiedlich stark. In der Nähe des Herzens ist er stärker als weiter weg. Diese Methode kann man nutzen, um zu gucken, ob das Herz funktioniert, wie es soll. Es gibt auch Anwendungen, bei denen man mit NV-Zentren als Sensoren zum Beispiel die Struktur von Festplatten untersucht hat. Die Strukturen von Festplatten sind sehr klein, dafür sind die NV-Zentren also gut geeignet.

Livia Rüger

## Drei Fragen an...



**Prof. Volker Buck**

**Herr Buck, Sie stellen an der Universität Duisburg-Essen die hochreinen Diamanten für das Projekt her. Inwiefern sind für Sie auch die Fehlstellen interessant?**

Überlagerungszustände gehören zu den faszinierendsten Facetten der Quantenmechanik. Von Einstein als „spukhafte Fernwirkung“ abgelehnt und sogar von Schrödinger, einem der Pioniere der Quantenmechanik, in letzter Konsequenz bestritten, sind sie erst in jüngster Zeit in den Fokus experimenteller Forschung gelangt. Dabei ist die Möglichkeit, mit NV-Zentren derartige Überlagerungszustände in Festkörpern zu realisieren, besonders attraktiv. So wurde beispielsweise erst 2015 mittels NV-Zentren in Diamanten der berühmte Streit zwischen Albert Einstein und dem dänischen Wissenschaftler Niels Bohr über die Grundlagen der Quantenphysik aus dem Jahr 1935 endgültig schlussendlich zu Ungunsten Einsteins entschieden.

**Welche ist für Ihren Bereich die größte Herausforderung?**

Wir wollen die Diamanten möglichst rein herstellen. So ist es wiederum möglich, NV-Zentren mit einer akzeptablen Lebensdauer des Überlagerungszustands der Elektronenspins nahe der Oberfläche herzustellen.

**Welches Ziel haben Sie für das Projekt?**

Wir arbeiten daran, NV-Zentren nicht nur optisch, sondern auch elektrisch ansteuern zu können

Prof. Volker Buck ist Professor für Technische Physik an der Fakultät Physik der Universität Duisburg-Essen. Nach seinem Physikstudium in München und Göttingen promovierte der Wissenschaftler 1974 an der Universität Göttingen, wo er bis 1985 als Postdoc tätig war. Anschließend forschte Buck im Institut für Technische Physik des Deutschen Luft- und Raumfahrtzentrums in Stuttgart. Seinen Ruf an die Universität Duisburg-Essen erhielt er 1985.



**Prof. Ulrich Köhler**

**Herr Köhler, an der Ruhr-Universität Bochum implantieren Sie die Fehler in hochreine Diamanten. Weshalb sind diese Fehlstellen für Sie persönlich interessant?**

Die NV-Zentren als natürliche Farbzentren im Diamant sind schon lange bekannt. Trotzdem stellt sich im Zuge des neu erwachten Interesses im Rahmen der Quanteninformationstechnologie heraus, dass die gezielte Herstellung der Zentren nahe der Diamantoberfläche mitnichten einfach ist. Hier kommt dann auch unser Fachgebiet, die Oberflächenphysik, ins Spiel. Wir können Oberflächen gezielt im Ultrahochvakuum modifizieren, charakterisieren und dann sofort Stickstoff-Ionen für die NV-Zentren implantieren. Dies ermöglicht es, sehr viel gezielter vorzugehen als es bisher möglich war.

**Unter welcher Fragestellung bearbeiten Sie das Projekt?**

Wir möchten verstehen, wie die chemische Zusammensetzung der Diamantoberfläche und ihre geometrische Struktur die elektrischen und optischen Eigenschaften der NV-Zentren beeinflusst.

**Was möchten Sie bis zum Ende des Projekts erreichen?**

Wir möchten Verfahren entwickeln, die es ermöglichen, mit hoher Ausbeute NV-Zentren dicht unter der Diamantoberfläche herzustellen, die die für Quanteninformations- und Sensor-Anwendungen nötigen Eigenschaften haben.

Prof. Ulrich Köhler ist Professor für Experimentalphysik an der Fakultät Physik der Ruhr-Universität Bochum (RUB). Nach seinem Physikstudium an der Universität Hannover promovierte er 1986 dort. Im Anschluss an einen Forschungsaufenthalt in den USA war Köhler bis 1993 als Hochschulassistent an der Universität Hannover tätig, wo er 1992 habilitierte. Bis zu seinem Ruf an die RUB im Jahre 1997 arbeitete er als Dozent an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.





## Wie ein Sensor sieht, was im Verborgenen liegt

Drei UA Ruhr-Forscher entwickeln gemeinsam einen neuartigen Photonik-Sensor. Mit Terahertzwellen durchdringt dieser viele verschiedene Materialien – und verspricht daher vielfältige Anwendungsmöglichkeiten.



**Prof. Andreas Stöhr** vertritt als außerplanmäßiger Professor die Professur für Optoelektronik an der Universität Duisburg-Essen (UDE). Stöhr promovierte 1997 an der damaligen Gerhard-Mercator-Universität Duisburg. Er ist seit 1995 als wissenschaftlicher Mitarbeiter im Bereich Optoelektronik tätig. Von 1998 bis 1999 war er Mitarbeiter am Communications Research Laboratory in Japan. Im Jahr 2015 arbeitete er für das Unternehmen Corning Inc. in den USA. Seit 2016 forscht er als Gastprofessor an der University of Ottawa in Kanada.



**Prof. Rüdiger Kays** ist seit 1999 Professor für Kommunikationstechnik an der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik der TU Dortmund. 1986 promovierte Kays an der damaligen Universität Dortmund zur „Qualitätsverbesserung der Fernseh-bildwiedergabe mit Eidophor-Projektoren“. Nach der Promotion arbeitete er von 1987 bis 1999 bei der Grundig AG in Fürth, ab 1988 als Leiter der Forschung und Vorentwicklung. Seine Arbeitsschwerpunkte lagen in der wissenschaftlichen Leitung von Verbundforschungsprojekten, überwiegend mit öffentlicher Förderung.



**Prof. Martin Hofmann** ist seit 2007 Professor für Photonik und Terahertztechnologie an der Ruhr-Universität Bochum (RUB). Er promovierte 1994 an der Philipps-Universität Marburg, seine Postdoc-Zeit führte ihn zum Human Capital and Mobility Program der Europäischen Union. Von 1996 bis 2001 arbeitete Hofmann als wissenschaftlicher Assistent im Fachbereich Physik der Philipps-Universität Marburg, wo er 2000 habilitierte. Von 2001 bis 2007 leitete Hofmann die Arbeitsgruppe Optoelektronische Bauelemente und Werkstoffe an der RUB.

In der Fabrik der Zukunft verlässt garantiert kein fehlerhaftes Produkt die Hallen, denn es wird gar nicht erst fertiggestellt. Noch ist die „Null-Fehler-Produktion“ eine Vision: Mit Hilfe von berührungsloser und zerstörungsfreier Prüfung sowie vollständiger Kontrolle aller qualitätsrelevanten Schritte im Fertigungsprozess soll sie irgendwann Wirklichkeit werden. Dabei könnte auch ein Photonik-Sensor zum Einsatz kommen, der zum Beispiel Gefahrenstoffe identifizieren oder gemischte Chemikalien erkennen kann. In zehn Jahren ist es vielleicht sogar schon möglich, mit einem solchen Sensor im Smartphone festzustellen, ob sich Schadstoffe im Essen befinden oder eine Mahlzeit gut gesalzen ist.

Dies sind nur einige der möglichen Anwendungen, die sich aus dem Projekt „Photonik-Sensor“ ergeben können. Bei diesem Forschungsvorhaben, an dem die drei Universitäten der UA Ruhr beteiligt sind, dreht sich alles um Terahertzwellen, also elektromagnetische Strahlung. Die Wellen selbst sind unsichtbar, doch sie machen Dinge sichtbar, die im Verborgenen liegen. Terahertzwellen können Kleidung, Kunststoff sowie oberflächlich auch organisches Gewebe durchdringen und sind im Gegensatz zur Röntgenstrahlung ungefährlich, denn sie sind Teil der natürlichen Wärmestrahlung.

Zum Einsatz können sie etwa in der Industrie kommen: Ein Terahertzsensor kann zum Beispiel einem Roboter ermöglichen, zu erkennen, aus welchem Material ein Bauteil besteht. Oder wie es um die Qualität des Bauteils bestellt ist. Ist die Oberfläche wirklich einwandfrei? Ist es der richtige Werkstoff? Industriemaschinen arbeiten zwar schon heute mit Sensoren: Kameras etwa helfen bei der Bestimmung der Entfernung des Roboters zu einem Objekt, taktile Sensoren ermöglichen das Tasten. Aber Werkstücke komplett zu durchleuchten, das geht noch nicht. Aktuell besteht oft nur die Möglichkeit, ein Bauteil vom Fließband zu nehmen und aufzuschneiden, um mit Hilfe einer Stichprobe Rückschlüsse auf die Qualität der ganzen Charge zu ziehen.

Da könnte der neue Terahertzsensor Abhilfe schaffen: Der Sensor strahlt elektromagnetische Wellen im Terahertzbereich aus. Diese treffen auf ein Objekt und werden zurückgeworfen – oder eben nicht. „So erhält man für jedes Material einen individuellen Fingerabdruck“, erklärt Andreas Stöhr, Projektleiter und außerplanmäßiger Professor an der Universität Duisburg-Essen. Das eröffnet ganz neue Möglichkeiten: Zum Beispiel Maschinen, die selbst erkennen können, wenn eines von hunderttausend Bauteilen nicht in Ordnung ist. Geplant ist auch die mobile Anwendung, zum Beispiel aus der Luft. Eine Drohne kann sich mit einem mobilen Materialsensor Gebiete aus der Luft ansehen, von denen mit Hilfe der Daten, die der Sensor liefert, dann 3D-Raumkarten erzeugt werden – vielleicht sogar mit Informationen über die Beschaffenheit des Gesteins.

#### Terahertzstrahlung durchdringt Kleidung, Kunststoff und Gewebe

Terahertzstrahlung wird häufig auch mit Sicherheit in Verbindung gebracht. Die sogenannten Körperscanner am Flughafen arbeiten mit genau diesen Wellenlängen. Sie senden einen fokussierten Strahl auf den Körper, der Kleidung und Gepäck durchdringt, sogar im Vorbeigehen. Dabei ergeben weiche Materialien ein ganz anderes Abbild als Metalle oder Sprengstoffe. Die Sicherheit ist aber nur ein Randbereich der Einsatzmöglichkeiten von Terahertzwellen. Stöhr erläutert: „Man kann zum Beispiel Ware in der Verpackung prüfen. Wir nehmen als Testobjekte Schokolade mit Nüssen. So könnte die Lebensmittelindustrie feststellen, ob in jedem Stück Schokolade auch wirklich eine Nuss ist.“ In der Pharmazie kann Terahertzstrahlung etwa die Schichtdicke einer Pillen-Verkapselung messen. Die Dicke ist entscheidend, wenn es darum geht, dass sich die Kapsel an der richtigen Stelle im Körper auflöst, um Wirkstoffe gezielt an einen Ort zu bringen.

So interessant und vielseitig die Anwendungsmöglichkeiten der Terahertz-



Terahertzstrahlung kann zum Beispiel die Schichtdicke einer Pillen-Verkapselung messen, die entscheidend ist, wenn es darum geht, dass sich die Kapsel an der richtigen Stelle im Körper auflöst.



Ein Photonik-Sensor kann erkennen, welche Chemikalien sich in einem Gemisch befinden.

strahlung sind, so kompliziert ist aktuell die Technologie, um die Strahlung zu erzeugen. Das soll ein MERCUR-Projekt jetzt ändern. Ziel ist ein Demonstrator, ein funktionierendes System, das belegt, dass die Idee umsetzbar ist. Beteiligt sind Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Universität Duisburg-Essen, der Ruhr-Universität Bochum und der Technischen Universität Dortmund. Hinzu kommt das Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik (FHR) in Wachtberg südlich von Bonn.

Zur Erzeugung von Terahertzwellen kommen zwei Prinzipien in Frage – die Elektronik oder der Laserstrahl. Vor allem die Fortschritte in der Laserentwicklung versprechen leistungsfähige Quellen und Detektoren für Terahertzstrahlung. Noch sieht Stöhr allerdings eine „Terahertz-Lücke“, vor allem, wenn hohe Leistungen und ein variabler Frequenzbereich gefragt sind, in dem sich Materialien besser abtasten lassen. Deswegen hat er einen starken Partner ins Boot geholt – Martin Hofmann, Professor für Photonik und Terahertztechnologie an der Ruhr-Universität Bochum. „Unser Schwerpunkt ist die Entwicklung der Laserkomponenten“, sagt Hofmann. „Das Gesamtkonzept ist eine Herausforderung. Geplant ist, Laserstrahlung im Nahinfrarotbereich,

wie sie zum Beispiel für die Glasfaserübertragung im Internet genutzt wird, in Terahertzstrahlung zu konvertieren.“

Der Prototyp eines Demonstrators existiert in einem Labor an der Universität Duisburg-Essen bereits – er ist auf der Titelseite dieses Artikels zu sehen. Um zu bewerten, wie gut dieser funktioniert, kommt Rüdiger Kays, Professor für Kommunikationstechnik an der TU Dortmund, ins Spiel. „Wir sind die Nachrichtentechniker, die das Projekt von der Anwendungsseite her untersuchen. Zum Beispiel gehen wir Fragen nach wie: Wie stark schwankt die Frequenz? Wie groß ist der Abstand zwischen Signal und Störung? Wie stark ist das Rauschen? Welche Leistung hat das System?“

#### Genauere Informationen über Materialeigenschaften

Der Clou: Der Photonik-Sensor prüft nicht nur auf einer bestimmten Frequenz, sondern tastet ein Objekt über einen ganzen Bereich von Frequenzen ab. „Damit erhalten wir viel genauere Informationen über die Materialeigenschaften“, so Stöhr. Insgesamt arbeiten rund zehn Forscherinnen und Forscher an dem Projekt, hinzu kommen Techni-

kerinnen und Techniker bei der Herstellung der Komponenten.

Eine entscheidende Rolle kommt der Universitätsallianz Ruhr zu. „Über die Ruhrschiene haben wir hier genügend Expertise, um das Thema anzugehen und auch im internationalen Vergleich erfolgreich zu sein“, sagt Stöhr. Ist das MERCUR-Projekt erst abgeschlossen, steht zur Weiterführung der Forschungsarbeiten unter Umständen ein Sonderforschungsbereich der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) an. „Wir arbeiten seit zwei Jahren mit über 40 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern an der Vorbereitung eines SFBs unter der Leitung von Professor Thomas Kaiser von der UDE“, sagt Stöhr. Ob der SFB gefördert wird, entscheidet sich im Herbst 2016, nach der Begutachtung des Antrags.

Übrigens: An einer Sache würden sich der Demonstrator und sogar der fertige Sensor jedoch die Zähne ausbeißen – an einem Überraschungsei. Wer gedacht hat, damit ließe sich erkennen, in welchem Ei der fehlende Schlumpf steckt, wird enttäuscht. Martin Hofmann erklärt: „Das Überraschungsei lässt sich mit einem Terahertzsensor nicht durchleuchten, denn die Wellen können Alufolie nicht durchdringen.“

Tim Müßle

## Wir bewegen Werte.



Sie lieben Produkte, die sich durch ihre Qualität und ihre besonderen Vorzüge einen Namen gemacht haben?

Dann kommen Sie doch zu einem Unternehmen, das in der effizienten Produktion und Logistik für weltbekannte Marken vieles bewegt. Kommen Sie zu ABUS, einem der führenden Herstellern von Kransystemen und -komponenten. Inhabergeführt, innovativ, international, kontinuierlich wachsend.

Engagiert in eindrucksvollen Projekten rund um den Erdball.

## Faszinierende Aufgaben für zielstrebige Studenten

Wenn Sie sich wie wir für technische Herausforderungen begeistern können, komplexe Aufgaben mit Leidenschaft lösen und in eine sichere Zukunft blicken wollen, dann sind Sie bei uns genau richtig: ABUS Kransysteme.

► Berufseinstieg ► Abschlussarbeiten ► Praktika

ABUS Kransysteme GmbH  
Sonnenweg 1 · 51647 Gummersbach  
bewerbung@abus-kransysteme.de  
www.abus-kransysteme.de





# Die Prinzipien von Holz und Knochen

Eine Wissenschaftlerin aus Bochum und ein Wissenschaftler aus Dortmund erforschen, wie sie Strukturen und Mechanismen aus der Natur für die technische Anwendung nutzbar machen können.



**Prof. Tim Ricken** ist seit 2011 an der TU Dortmund Professor für Mechanik, Statik und Dynamik an der Fakultät Architektur und Bauingenieurwesen. Letzteres studierte er an der Universität Duisburg-Essen. Dort wurde er später auch promoviert und Juniorprofessor im Bereich Computational Mechanics, also der computergestützten Mechanik, bei Prof. Jörg Schröder. Heute forscht er unter anderem in den Bereichen rechnergestützte Mechanik, Biomechanik, Mehrphasensimulation von Materialien, Umweltwissenschaften und -mechanik sowie Materialwissenschaften.



**Prof. Beate Bender** ist seit Juli 2013 Professorin für Produktentwicklung an der Ruhr-Universität Bochum und seit April 2015 geschäftsführende Direktorin des Instituts Product and Service Engineering. Sie studierte Maschinenbau an der TU Berlin. Ihre Promotion schloss sie bei Prof. Udo Lindemann an der TU München ab. Anschließend war Bender in der Industrie in einem Großunternehmen für Bahntechnik beschäftigt. Jetzt forscht sie in den Bereichen Biomechanik, Mehrphasensimulation von Materialien, Mechatronik, Gleitlagertechnik und Produktentwicklungsstrategien.

Für viele Fragen hat die Natur eine passende Lösung parat – man muss nur näher hinschauen und sie verstehen. Im Laufe der Evolution haben sich Strukturen und Mechanismen entwickelt, die so raffiniert und multifunktional sind, dass ihre Anwendung uns in vielen, insbesondere in technischen Bereichen, weiterbringt. Äste an Bäumen halten Winden aus unterschiedlichen Richtungen stand. Die Knochen im Arm biegen sich kaum, auch wenn Muskeln darauf einwirken, und die Bandscheiben sind morgens ein ganzes Stück dicker als abends und halten so die starken Belastungen im Rücken aus. „Dem liegen verschiedene Lösungsmechanismen zu Grunde, die wir erforschen, um sie uns in den unterschiedlichsten technischen Bereichen zu Nutzen zu machen“, erklärt Prof. Tim Ricken von der Fakultät Architektur und Bauingenieurwesen an der TU Dortmund.

Gemeinsam mit Prof. Beate Bender aus dem Bereich Produktentwicklung an der Ruhr-Universität Bochum (RUB) arbeitet er im Rahmen der UA Ruhr an einem Forschungsprojekt, das die Leichtbauprinzipien aus der Natur für technische Anwendungen nutzbar machen will. „Zum Beispiel in den Bereichen Robotik, Windkraftanlagen oder auch erdbebensichere Gebäude könnten uns die Prinzipien sehr nützlich sein“, so Bender. Sie vertritt in diesem Projekt die anwendungsorientierte Seite. „Das ist ein weiteres großes Anliegen. Wir wollen die Brücke zwischen Erkenntnissen und deren praktischer Anwendung schlagen“, ergänzt ihr Kollege Ricken.

#### Holz und Knochen sind Zwei-Komponenten-Materialien

An der TU Dortmund erforscht er die Biomechanismen in erster Linie theoretisch und sammelt das Wissen, das dann an der RUB seinen Weg in die Praxis findet. Dabei ist die Zusammenarbeit wechselseitig und auch die Impulse kommen von beiden Seiten: „Wir kommen mit neuen, interessanten Erkenntnissen nach Bochum und die Bochumer treten mit Problemen aus der



Trockenes Holz bricht viel leichter als feuchtes. Die Erklärung dafür ist das „Zwei-Komponenten-Material“: Die Flüssigkeit im nassen Holz wird bei Krafteinwirkung in der Struktur umverteilt und die Energie dadurch absorbiert.

Praxis an uns heran.“ Ihre Ideen finden die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der TU Dortmund in der Natur. „Schaut man sich einmal an, wie flexibel sich ein Ast im Wind bewegt, könnte das zugrunde liegende Prinzip auch großen Nutzen für andere Bereiche haben“, erklärt Ricken. Das Geheimnis ist das „Zwei-Komponenten-Material“. Nasses Holz lässt sich viel schwerer brechen als getrocknetes, denn es besteht aus einer flüssigkeitsgefüllten Mikrostruktur.

Die Energie, die durch den Wind auf den Ast einwirkt, wird absorbiert, indem die Flüssigkeit in der Struktur umverteilt wird. „Das nennt man Viskoelastizität. Ganz ähnlich ist der menschliche Knochen aufgebaut.“ Auch hierbei wird der flüssige Anteil bei Krafteinwirkung in andere Waben gedrückt.

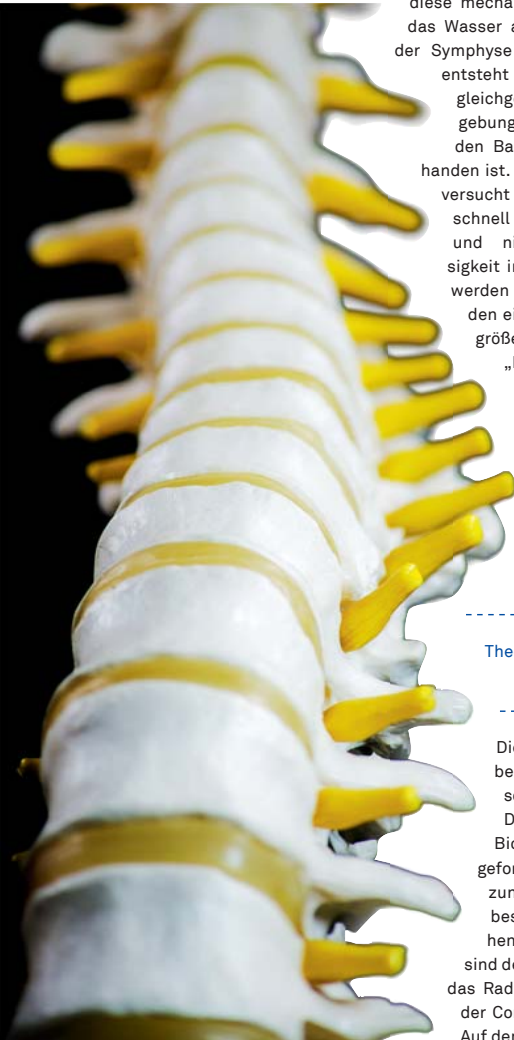
Bei der Viskoelastizität spielt auch die zeitlich-dynamische Komponente eine Rolle: Bei langsamer Einwirkung hat die

Flüssigkeit genug Zeit, sich zu verteilen. Gibt es aber einen schlagartigen Impuls, kann das Material brechen. Dann kommt es zum Beispiel zu Knochenbrüchen. Das gleiche Prinzip gilt für Holz: Wer einen nassen Ast durchbrechen will, nimmt zum Beispiel häufig den Oberschenkel zur Hilfe, um abrupt Kraft ausüben zu können.

Dieses Wissen und diese Erkenntnis mit in die Praxis zu nehmen, ist eines der Ziele des Projekts. Hinzu kommt ein weiterer Vorteil: Poröse Strukturen wie Holz und Knochen sind leicht. Das könnte in vielen technischen Bereichen eine echte Revolution bedeuten. Ein Anwendungsgebiet wäre zum Beispiel die Crash-Absorption im Automobilbau.

Im Bereich Gebäudesicherheit oder Konstruktion von Gebäuden lassen sich ebenfalls Anregungen in der Natur finden, beispielsweise im menschlichen Skelett. In unseren Unterarmen sind Elle und Speiche die knöchernen Strukturen. Damit sich der Arm bewegt, kommen die Muskeln Beuger und Strecker hinzu, die als klassische Gegenspieler funktionieren. Interessant ist, dass sich der Knochen nicht biegt, auch wenn Beuger oder Strecker mit ihren Kräften einwirken. Das Geheimnis ist, dass der jeweils andere auch auf den Knochen einwirkt, wenn eigentlich der Gegenspieler an der Reihe ist. Strecken wir unseren Arm, ist also nicht nur der Strecker, sondern auch der Beuger aktiv. Das nennt man Lastadaptivität. Das Tragesystem nimmt zusätzlich zur eigentlichen Last eine weitere Last auf und wird dadurch stabiler. Dieses Wissen könnte im Gebäude- oder Brückenbau, bei der Umsetzung von Roboterarmen oder bei Flügeln von Windkraftanlagen seinen Weg in die Praxis finden.

Auch in der Medizin und insbesondere bei biomechanischen Anwendungen lohnt der Blick in die Natur. „Wir alle kennen das Phänomen, dass wir morgens ein Stückchen größer sind als abends. Dem liegt ein interessanter biochemischer Prozess in unseren Bandscheiben zugrunde“, sagt Tim Ricken. Tagsüber sind die Bandscheiben enormen Kräften ausgesetzt. Durch



diese mechanische Einwirkung wird das Wasser aus der Bandscheibe – der Symphyse – herausgedrückt. So entsteht ein chemisches Ungleichgewicht, weil in der Umgebung jetzt mehr Salz als in den Bandscheiben selbst vorhanden ist. Dieses Ungleichgewicht versucht der Körper möglichst schnell wieder auszugleichen und nimmt Umgebungsflüssigkeit in die Symphyse auf. So werden die Abstände zwischen den einzelnen Wirbeln wieder größer und wir „wachsen“.

„Dieser Effekt wird zum Beispiel beim Bau von Prothesen bis heute nicht berücksichtigt. Sie könnte uns aber in puncto Flexibilität der ‚Ersatzteile‘ einen großen Schritt voranbringen“, erklärt Beate Bender.

#### Theorie und Anwendung Hand in Hand

Die Zusammenarbeit der beiden Universitäten sieht so aus, dass an der TU Dortmund im Bereich Biomechanik theoretisch geforscht wird. Hierbei wird zunächst einmal nur das beschrieben, was zu sehen ist. „Unsere Hilfsmittel sind der Bleistift und vor allem das Radiergummi und natürlich der Computer“, erklärt Ricken. Auf dem Hochleistungsrechner LiDO laufen teilweise über mehrere Tage oder sogar Wochen Simulationen. Die grundlegenden Formeln dafür liefern die Thermodynamik und die Kontinuumsmechanik. Simuliert werden Prozesse, bei denen verschiedene Parameter verändert oder ergänzt werden, um zu einem optimierten Ergebnis zu gelangen.

An der Ruhr-Universität Bochum hingen die Praktikerinnen und Praktiker. Sie schauen, wo diese Erkennt-

nisse helfen können. In einem ersten Schritt wird auch hier theoretisch auf das Forschungsfeld geblickt, um anschließend Produktentwicklungsstrategien und Vorgehensmodelle zu entwerfen, aus denen dann ein greifbares Modell entsteht. Dabei spielt immer die Frage eine Rolle, in welchen technischen Anwendungsbereichen aus den Modellvorstellungen Nutzen gezogen werden kann. Auch an der RUB laufen in der ersten Forschungsphase die Rechner auf Hochtouren. „Auch wir simulieren am Computer. Aber auf einer anderen Ebene“, erklärt Beate Bender. „Tim Ricken und sein Team schauen auf die physiologischen Vorgänge im Inneren. Wir nehmen das dann als gegeben an und simulieren die äußeren Kräfte und Einflüsse.“ Ganz konkret wird versucht, die beiden unterschiedlichen Berechnungsprogramme zusammenzubringen. „Wir forschen eher lokal, auf der Mikroebene, in Bochum wird es dann globaler“, ergänzt Tim Ricken.

An der TU Dortmund beschäftigen sich die Forschenden schon sehr lange im Bereich der Biomechanik zum Beispiel mit dem Wachstum von Knochen oder mit den Besonderheiten der Leber und des Herzens. Generell werden diese Strukturen häufig als Einphasenmaterial betrachtet. Die Dortmunder Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler gehen jedoch davon aus, dass das nicht der richtige Zugang ist. Sie betrachten auch die zweite Phase, die Flüssigkeit in den Poren, denn dadurch wirken völlig andere Mechanismen bei der Lastabtragung. Das war der Ausgangspunkt für die gemeinsame Forschung. Bei einem Treffen berichtete Tim Ricken Beate Bender von den Erkenntnissen. Diese hatte dann schnell die Idee, die Einblicke in mögliche technische Anwendungen zu übertragen.

Und das ist auch genau das, was sich beide vom Projekt erhoffen: eine engere Verzahnung der Wissenschaftsbereiche und somit von Theorie und Anwendung. Um die Vernetzung besonders intensiv voranzutreiben, planen sie im Rahmen der UA Ruhr eine Graduiertenschule, also ein Programm für Doktorandinnen und Doktoranden. Dabei soll es immer

ein Gemeinschaftsprojekt geben, eine Aufgabe, die sich nur mit dem jeweils anderen Forschungsbereich lösen lässt.

#### „Uns verbindet die Liebe zur Bionik“

Dabei kann der Nachwuchs von den bisherigen Erfahrungen profitieren: „In der frühen Phase der Vernetzung mussten wir erst einmal eine gemeinsame Sprache finden. Die Wissenschaftsbereiche liegen in der Art der Forschung schon ein Stück weit auseinander. Aber es verbindet uns die Liebe zur Bionik“, meint Ricken augenzwinkernd. Beate Bender ergänzt: „Die gemeinsame Arbeit soll dazu führen, dass die Isolation aufgebrochen wird. Die Promovierenden müssen aufeinander hören, Bedenken abwägen und sich gegenseitig ergänzen.“ So entstehen anwendungsreife Produkte, die sich dann auch in der Industrie wiederfinden sollen. Es wurden bereits verschiedene Partner aus der Wissenschaft und der Wirtschaft mit ins Boot geholt.

Im Rahmen einer MERCUR-Projektförderung wurden diese Ideen entwickelt und anschließend ein Antrag auf Förderung bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft gestellt. Eine erste gemeinsame Veröffentlichung zum Vergleich von globaler und evolutionärer Optimierung soll die Fruchtbarkeit der Zusammenarbeit zeigen. Die globale Optimierung schaut in einer Simulation, was mit einem System passiert, wenn man die Energie im System verringert. Bei der evolutionären Optimierung geschieht dies nur an einer Stelle, zum Beispiel an einer Zelle – wie es in der Evolution auch passieren würde. Ein Anwendungsgebiet sind die Rotorblätter von Windkraftanlagen, die bei einer Notabschaltung enormen Kräften ausgesetzt sind.

Die Vielfalt der Forschungsfelder macht die UA Ruhr zu einem perfekten Umfeld für diese Forschung. Die kurzen Wege zu anderen Fachbereichen sind dabei Gold wert, denn häufig müssen andere Disziplinen herangezogen und befragt wer-

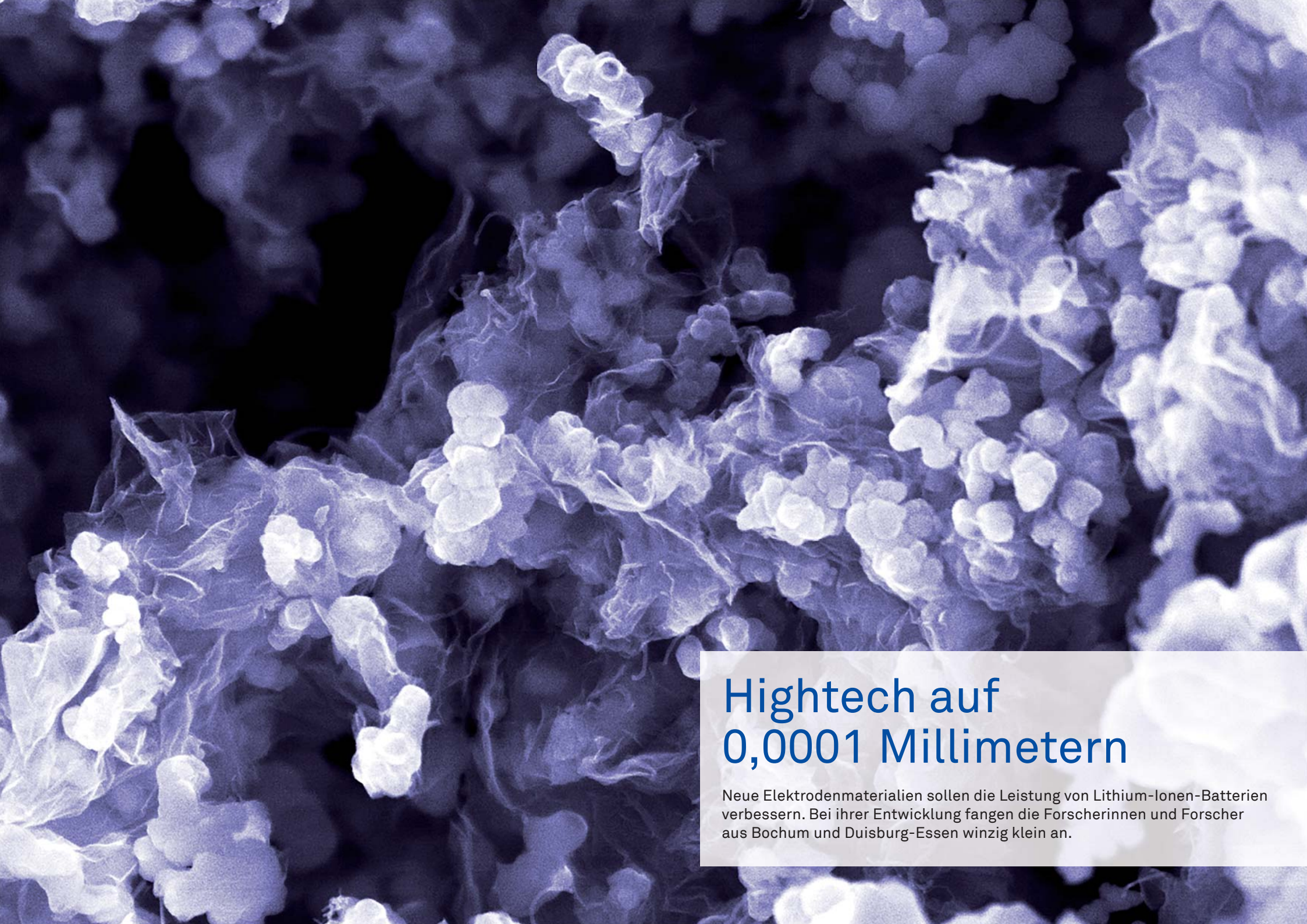


Die Rotorblätter von Windkraftanlagen sind bei einer Notabschaltung enormen Kräften ausgesetzt. Mit Hilfe einer Simulation wollen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler herausfinden, wie die ganze Anlage darauf reagiert.

den. Bei einigen Entwicklungen helfen zum Beispiel Expertinnen und Experten aus den Materialwissenschaften oder der Medizin. „Es ist sehr spannend, interdisziplinär zu arbeiten“, sagt Beate Bender zu dieser Kooperation. „Ich glaube, es gibt wenige bis keine Standorte in Deutschland, an denen das Netz

an unterschiedlichen Forschungsbereichen so dicht ist, und das macht es ideal“, ergänzt Ricken und schaut mit Blick aus dem Fenster in die Zukunft: „Und da draußen gibt es noch viel zu entdecken“.

Anna-Christina Senske



## Hightech auf 0,0001 Millimetern

Neue Elektrodenmaterialien sollen die Leistung von Lithium-Ionen-Batterien verbessern. Bei ihrer Entwicklung fangen die Forscherinnen und Forscher aus Bochum und Duisburg-Essen winzig klein an.



**Prof. Christof Schulz** leitet die Arbeitsgruppe „Reaktive Fluide“ im Institut für Verbrennung und Gasdynamik der Universität Duisburg-Essen (UDE). Seine Forschungsschwerpunkte sind die Gasphasensynthese maßgeschneiderter Nanopartikel, Laserdiagnostik in reaktiven Strömungen und Verbrennungsmotoren sowie die chemische Kinetik von Hochtemperaturreaktionen. Er ist wissenschaftlicher Direktor des NanoEnergieTechnikZentrums (NETZ) an der UDE. Im Jahr 2014 wurde er mit dem Leibniz-Preis ausgezeichnet.



**Prof. Angelika Heinzel** ist Gründerin und Geschäftsführerin des Zentrums für Brennstoffzellentechnik ZBT GmbH in Duisburg und Professorin für Energietechnik an der Universität Duisburg-Essen. Der wissenschaftliche Fokus der Chemikerin liegt seit mehr als zwanzig Jahren auf der Brennstoffzellentechnologie. Seitdem beschäftigt sie sich unter anderem mit Membran- und Mikrobrennstoffzellen sowie der Erzeugung und Speicherung von Wasserstoff. Außerdem forscht sie im Bereich der Elektrochemie.



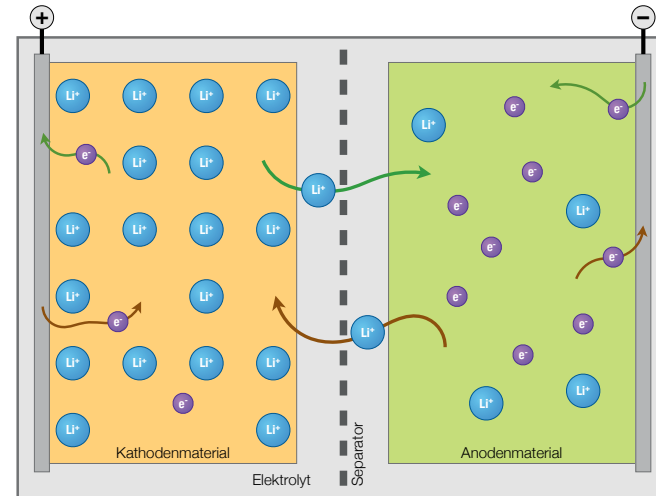
**Prof. Wolfgang Schuhmann** leitet das Zentrum für Elektrochemie an der Fakultät für Chemie und Biochemie der Ruhr-Universität Bochum. Neben der Entwicklung von Biosensoren und hochauflösenden mikroelektrochemischen Methoden konzentriert sich seine Forschung auf elektrochemische Energiewandlung wie die Bildung von Wasserstoff oder die  $\text{CO}_2$ -Umwandlung. Schuhmann forscht darüber hinaus zu neuartigen Batteriekonzepten.

Ersttaunlich lautlos zieht der Tesla S Performance am Porsche 911 vorbei. Innerhalb von nur drei Sekunden beschleunigt das Elektrofahrzeug von 0 auf 100 km/h. Dass er damit die meisten Autos mit Verbrennungsmotor in die Tasche steckt, liegt an seinem Herzstück: Der Lithium-Ionen-Batterie, die mittlerweile aus der uns umgebenden Elektronik nicht mehr wegzudenken ist. Diesen Energielieferanten wollen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus dem Ruhrgebiet jetzt noch weiter verbessern. Gemeinsam entwickeln sie dafür neue Elektrodenmaterialien.

Das unscheinbare Äußere einer Lithium-Ionen-Batterie verrät zunächst nichts über das seit 25 Jahren immer ausgeklügeltere Zusammenspiel der Komponenten in ihrem Inneren. Und das funktioniert so: Die beiden Elektroden einer Batterie heißen Anode und Kathode und liegen an den entgegengesetzten Polen. Sie sind von einem meist flüssigen Elektrolyten umgeben und durch einen Separator räumlich voneinander getrennt. Während wir also E-Mails auf unserem Smartphone abrufen, setzt die Anode stetig positiv geladene Lithium-Ionen und negativ geladene Elektronen frei. Nur die Ionen können den Separator passieren und so zur Kathode gelangen. Die Elektronen müssen den Weg „außen herum“ nehmen: Aus der Batterie durch das Smartphone zur Kathode, wo die Elektronen und auch die Ionen wieder aufgenommen werden. So stellen Batterien durch chemische Reaktionen Strom – also fließende Elektronen – zur Verfügung.

Übrigens: Im Deutschen wird traditionell zwischen der „Batterie“ für den einmaligen Gebrauch und dem wiederaufladbaren „Akkumulator“ unterschieden. In der Wissenschaft geht man jedoch dazu über, dem englischen Beispiel folgend als „Batterie“ auch die wiederverwendbare Variante zu bezeichnen – so auch in diesem Artikel.

Die Leistungsfähigkeit von Lithium-Ionen-Batterien ist seit ihren ersten Einsätzen in den 1990er Jahren mehr als verdreifacht worden. Dennoch stoßen sie schneller an ihre Grenzen als



So funktioniert die Lithium-Ionen-Batterie: Beim Laden wandern Lithium-Ionen zur Anode (grüne Pfeile); beim Entladen bewegen sie sich zur Kathode (braune Pfeile). Neue Kathoden- und Anodenmaterialien sollen die Leistungsfähigkeit der Batterie erhöhen. Das Bild auf der Titelseite dieses Beitrags zeigt das neue Kompositmaterial für die Anode: Die Silizium-Nanopartikel sind als kugelige Strukturen zu erkennen. Sie sind nur 100 Nanometer groß.

uns lieb ist: Nutzt man das Handy als Navigationssystem für eine Fahrt quer durch das Ruhrgebiet oder verfängt man sich in den Videos von YouTube, muss es nach kurzer Zeit aufgeladen werden. Die besten Elektroautos schaffen 500 Kilometer mit einer „Batteriefüllung“, dann ist eine Zwangspause zum Aufladen angesagt. Am letzten Beispiel wird deutlich, worauf es daher bei künftigen Generationen von Lithium-Ionen-Batterien für mobile Anwendungen ankommt: Sie sollen viel Energie speichern (Reichweite), die Energie schnell aufnehmen (Ladezeit) und abgeben können (Beschleunigung) und natürlich lange leben. Das alles aber bitte, ohne an Gewicht oder Volumen zuzunehmen.

Lithium-Ionen-Batterien sind aber nicht nur in mobilen Anwendungen auf dem Favoritenplatz. Immer mehr Energie sollen wir künftig aus nachhaltigen und umweltschonenden Quellen beziehen: Aus Windkraft- oder Photovoltaikanlagen oder auch Gezeitenkraftwerken. Im Gegensatz zu vom Menschen gesteuerten Kohle- oder Gaskraftwer-

ken stellt uns die Natur aber nicht unbedingt dann die meiste Energie zur Verfügung, wenn wir sie brauchen. Auch hier sind also Stromspeicher mit hoher Kapazität gefragt, und auch in diesem Fall stehen Lithium-Ionen-Batterien im Fokus. Allerdings sind die Voraussetzungen für diesen stationären Einsatz andere als für das Auto oder Smartphone: Während Größe und Gewicht eher unerheblich sind, zählen Haltbarkeit und geringe Betriebskosten umso mehr. Für die Wissenschaft stellt sich also mehr als eine Herausforderung.

Die optimale Batterie ist immer ein Kompromiss

In der Batterie sind es die Aktivmaterialien der Elektroden, die die elektrische Energie speichern. Lässt sich deren Kapazität verbessern, erhöht sich die Energiedichte der Batterie. Genau das hat sich ein Team aus Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der Materials Chain zum Ziel gesetzt:

Prof. Christof Schulz und Privatdozent Dr. Hartmut Wiggers vom Institut für Verbrennung und Gasdynamik (IVG) an der Universität Duisburg-Essen (UDE), Prof. Angelika Heinzel vom Zentrum für Brennstoffzellentechnik ZBT GmbH in Duisburg, ein An-Institut der UDE, und Prof. Wolfgang Schuhmann aus der Analytischen Chemie und dem Zentrum für Elektrochemie der Ruhr-Universität Bochum ergänzen einander für diese Aufgabe wunderbar.

Die Entstehungsgeschichte der neuen Elektroden beginnt in einem großen Labor im NanoEnergieTechnikZentrum (NETZ) an der UDE. Über drei Stockwerke zieht sich eine riesige Anlage aus silbernen Rohren und Zylindern, Schläuchen, kleineren Zuleitungen und Ventilen; in der Decke ist ein beweglicher Lastkran verankert. So groß der Aufbau ist, so klein ist dessen Produkt: Hier entstehen Nanomaterialien aus gasförmigen Ausgangsstoffen. Bis zu einem Kilogramm Nanopartikel kann die Anlage in einer Stunde herstellen. Außerhalb Duisburgs kann kein deut-





Auf drei Stockwerken steht die Anlage, die an der Universität Duisburg-Essen Nanopartikel herstellt.

sches Forschungslabor mit dieser Dimension mithalten. Die hier produzierten Mengen reichen aus, um zum Beispiel innerhalb der Materials Chain ganze Bauteil-Prototypen mit eigenem Material auszustatten.

Für eine Lithium-Ionen-Batterie ist die perfekte Materialzusammensetzung in der Theorie längst bekannt: Metallisches Lithium auf der Anodenseite, Lithiumoxid für die Kathode. Der Pferdefuß: Ein solches System ist bisher kaum wiederaufladbar und daher wenig ökonomisch. „In der Batterieforschung geht es daher nicht darum, das jeweils

beste Material für die Anode, die Kathode oder den Elektrolyten zu finden“, erklärt Christof Schulz. „Die eigentliche Kunst ist es, eine Batteriezusammensetzung zu finden, in der die Komponenten miteinander harmonieren und in der sich alle Materialien stabil und zuverlässig einbauen lassen.“ Denn die optimale Betriebstemperatur für den Elektrolyten ist nicht unbedingt dieselbe für die Elektroden. Oder die chemischen Bestandteile des vermeintlich perfekten Elektrolyten reagieren unerwünscht mit den Elektroden. „So ist die optimale Batterie immer ein Kompromiss.“

Für die Anode in einer Lithium-Ionen-Batterie arbeitet das Team um Schulz zum Beispiel mit Silizium: Es ist für Umwelt und Gesundheit unbedenklich, nahezu grenzenlos vorhanden und im Vergleich zum klassisch verwendeten Graphit kann es zehnmal mehr Lithium aufnehmen. Allerdings nimmt das Silizium dabei derartig an Volumen zu, dass seine Struktur nach wenigen Ladezyklen zerbricht. Die Lösung ist nanostrukturiertes Silizium. Diese Partikel sind nur 100 Nanometer groß, können aber über ihre im Vergleich zum Volumen große Oberfläche die mechanischen Spannungen abbauen und dadurch langfristig stabil bleiben. „Würde man 800 dieser Partikel wie einen Turm aufeinander stapeln, wäre er gerade einmal so hoch wie ein durchschnittliches Blatt Papier dick ist“, verdeutlicht Schulz die winzigen Dimensionen. Die Siliziumpartikel werden in ein Gerüst aus Kohlenstoff aufgenommen, das die Partikel elektrisch anbindet, zusätzlich stabilisiert und genug Zwischenräume für die Lithium-Ionen bietet.

„800 Nanopartikel übereinander wären so hoch wie ein Blatt Papier dick ist“

Die Kathode ist ein heikleres Thema. Sie muss genauso viel Lithium aufnehmen können wie die Anode, damit die Batterie funktioniert. Die Arbeitsgruppe von Christof Schulz arbeitet hierfür ebenfalls mit Kompositmaterialien – ein Material, das in diesem Fall aus Kohlenstoff und Lithium-Mangansilikaten besteht. Mangansilikat kann einerseits viele Lithium-Ionen aufnehmen, die Sache hat aber einen entscheidenden Haken: Mit jedem aufgenommenen Ion verändert es seine Kristallform. Beim Laden und Entladen wechselt es daher ständig zwischen einer Pyramide, einem Oktaeder oder flacheren Formen hin und her. Diesem molekularen Zirkeltraining hält auch nanostrukturiertes Material nur kurz stand, bevor es instabil wird.

„Alternative Materialien sind entweder umweltschädlich oder giftig“, erklärt Schulz. „Beides wollen wir vermeiden.“



Batteriezellen werden in einer Glovebox zusammengebaut – einem hermetisch von der Umgebung abgeschlossenen Kasten mit definierter Atmosphäre.

Daher gehen seine weiteren Planungen für die Kathode in Richtung anderer manganhaltiger Verbindungen. „Aber es wird noch dauern, bis die Kathode die Kapazität der heutigen Anoden erreicht.“

Kommen wir also zurück zur Anode und betreten das Zentrum für Brennstoffzellen Technik ZBT GmbH in Duisburg, ein An-Institut der dortigen Universität unter der Leitung von Angelika Heinzel: Hier wird das Aktivmaterial zusammen mit hoch leitfähigen Materialien, Binde- sowie Lösungsmitteln gemischt. Anschließend wird es als dünne Schicht von nur zehn bis wenigen hundert Mikrometern auf einen Stromableiter aufgetragen. Dieser besteht meist aus einer Kupfer- oder Aluminiumfolie. „Was sich so einfach anhört, ist in Wirklichkeit aufwendige Kleinarbeit“, verdeutlicht Heinzel. „Wir starten zuerst mit Versuchsreihen, in denen wir zum Beispiel die geeigneten Bindematerialien auswählen: Welche Komponenten mischen wir in welchem Verhältnis, um welche Struktur zu erhalten?“

Erst wenn hier das richtige Rezept gefunden ist, lässt sich beurteilen, ob die zu Anfang hergestellten Siliziumpartikel wirklich geeignet sind für die Anwendung in der Lithium-Ionen-Batterie. Die Halbzellentests stehen an: Dabei werden die Elektroden einem Langzeittest unterzogen, indem sie immer wieder ge- und entladen werden.

Batterien in Elektroautos müssen einige tausend Ladezyklen überstehen

Erreicht die Kapazität irgendwann nur noch 80 Prozent des Ausgangswerts, so ist per Definition das Ende der Batterielebenszeit erreicht. Für mobile Geräte müssen Batterien einigen hundert Ladezyklen standhalten, für Elektroautos sind sogar einige tausend gefordert. Die neuen Anoden aus dem Silizium-Kohlenstoff-Kompositmaterial behalten auch nach einigen hundert Zyklen eine Kapazität, die mehr als viermal besser ist als die des traditionell verwendeten Graphits.

„Damit wissen wir, dass unsere Elektrode grundsätzlich funktioniert“, erläutert Prof. Wolfgang Schuhmann, Leiter des Zentrums für Elektrochemie an der RUB. „Aber wir wollen im Einzelnen verstehen, was in der Batterie vorgeht, um das Potenzial des Materials voll auszuschöpfen.“ Dazu nutzt seine Arbeitsgruppe die „Elektrochemische Impedanzspektroskopie“. Damit kann man unterschiedliche Prozesse in der Batterie gleichzeitig beobachten: Wie die Lithium-Ionen durch den Elektrolyten wandern, wie sie von den Siliziumpartikeln aufgenommen werden, wie sie in deren Inneres diffundieren – um nur einige Beispiele zu nennen. „So können wir limitierende Prozesse identifizieren und an die Kolleginnen und Kollegen der UDE zurückmelden, an welchen Stellen sie noch feilen könnten.“

Und der Prozess beginnt von vorn, mit einer optimierten Zusammensetzung. Im buchstäblichen Sinne einer Materials Chain.

Birte Vierjahrh



## Durch den Datendschungel zu Werkstoffen der Zukunft

Im Projekt „Data Driven Materials Design“ schaffen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der UA Ruhr die Grundlagen für die Zusammenarbeit von Materialforschung und Informatik – und eröffnen damit neue Perspektiven.



**Prof. Alfred Ludwig** studierte Maschinenbau in Karlsruhe, wo er 1999 promovierte. Ende 2002 kam er als Juniorprofessor an die Ruhr-Universität Bochum (RUB) und leitete gleichzeitig eine caesar-Forschungsgruppe zur kombinatorischen Materialforschung. Zwischen 2007 und 2012 arbeitete Ludwig im Rahmen einer Heisenberg-Prozessur der Deutschen Forschungsgemeinschaft an der RUB. Seit 2012 hat er die Professur für Werkstoffe der Mikrotechnik am Institut für Werkstoffe inne. Aktuell koordiniert er den Aufbau des Zentrums für Grenzflächendominierte Höchstleistungswerkstoffe.



**Prof. Katharina Morik** hat 1981 an der Universität Hamburg promoviert und 1988 an der TU Berlin habilitiert. Sie ist seit 1991 Professorin an der TU Dortmund, wo sie an der Fakultät für Informatik den Bereich Künstliche Intelligenz einrichtete mit dem Fokus auf maschinellem Lernen und Data Mining. Morik hat an zahlreichen europäischen Projekten mitgewirkt. 2011 warb sie den Sonderforschungsbereich (SFB) 876 ein, dessen Sprecherin sie ist. Sie ist im Herausberggremium der internationalen Zeitschriften „Knowledge and Information Systems“ und „Data Mining and Knowledge Discovery“.

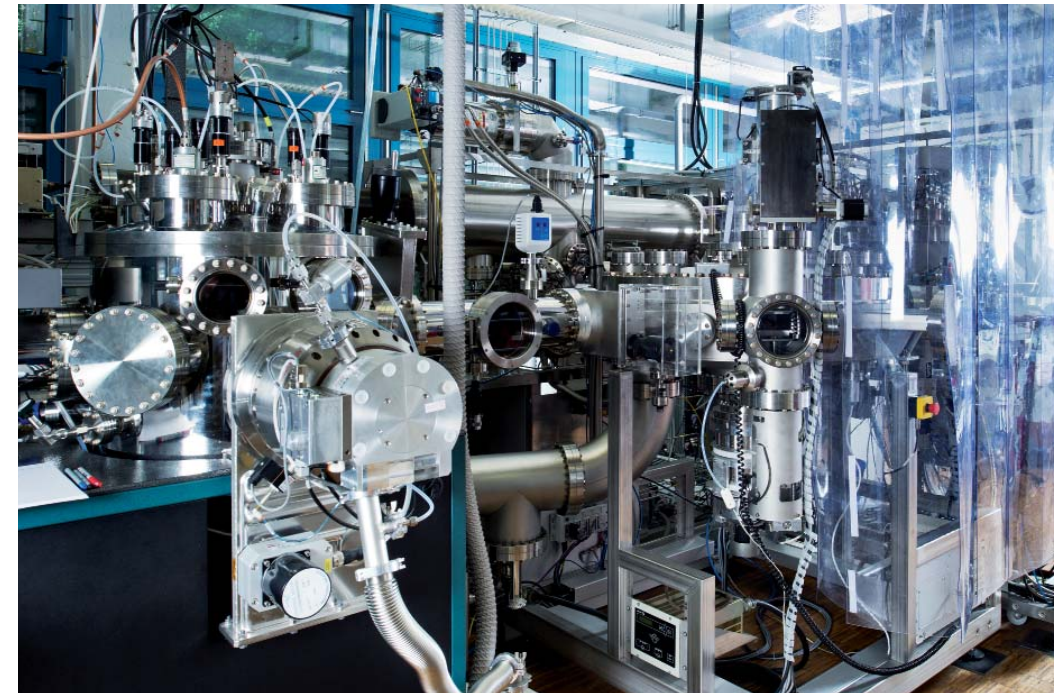


**Prof. Sven Rahmann** studierte Mathematik und Informatik an den Universitäten Göttingen, Santa Cruz und Heidelberg und promovierte 2004 mit einer Arbeit über Bioinformatik in Berlin. Zwischen 2007 und 2011 arbeitete er als Professor für Bioinformatik an der TU Dortmund. Seit 2011 hat Rahmann die Professur für Genomik an der Medizinischen Fakultät der Universität Duisburg-Essen inne. Er ist zudem UA Ruhr-Professor für Bioinformatik und an der Fakultät für Informatik der TU Dortmund kooptiert. Im Sonderforschungsbereich 876 von Prof. Morik ist er Projektleiter.

**F**reitagnachmittag in einem Labor des Instituts für Werkstoffe an der Ruhr-Universität Bochum (RUB): Zwei Doktoranden analysieren Daten aus Materialproben, die ein Elektronenmikroskop an ihre Rechner schickt. Nur ein gleichmäßiges Brummen im Hintergrund stört die Ruhe. Vakuumpumpen saugen kontinuierlich Luft aus einem Gefüge von Stahlrohren und Kammern in der Mitte des Raums. Die sogenannte Magnetron-Sputter-Anlage ist das Herzstück im Bereich Werkstoffe der Mikrotechnik. Hier werden Werkstoffe der Zukunft geboren. Die innovativen unter ihnen sollen bald noch schneller und effizienter gefunden werden können. Das ist das gemeinsame Ziel von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der UA Ruhr. Im MERCUR-Projekt „Data Driven Materials Design“ haben sie die Grundlagen für eine enge Zusammenarbeit zwischen Materialforschung und Informatik geschaffen.

Die Suche nach neuen Werkstoffen beginnt im Labor: Hier trägt die Magnetron-Sputter-Anlage in einem komplizierten Verfahren drei oder mehr Elemente in dünnen, keilförmigen Schichten auf eine Siliziumscheibe auf. Welche Legierung hat die beste Leitfähigkeit? Welche Zusammensetzung hält hohen Temperaturen stand? Welches Material kann Energie effizient speichern? Welche Struktur bleibt am besten in Form? In Hochdurchsatz-Experimenten – so heißen die automatisierten Messmethoden – werden die Hightech-Proben durchgetestet. Vielfach läuft die Anlage dann Tag und Nacht. Die Daten aus den Screenings fließen in sogenannte Materialbibliotheken ein. Deren Sammlung wächst Monat für Monat: Hunderte dieser komplexen „Nachschlagewerke“ für innovative Materialmixturen wurden bereits auf diese Weise erstellt.

Die Bochumer betreiben die systematische Erforschung neuer Legierungen mit besonderem Erfolg. Zukunftsweisend sind etwa Formgedächtnis-Legierungen für die Gefäßchirurgie: Flexible Stents, die immer wieder in ihre Ursprungsform zurückfinden, bewahren Blutgefäße vor dem Verschluss und ihre Träger vor dem



Die Magnetron-Sputter-Anlage ist das Herzstück im Bereich Werkstoffe der Mikrotechnik an der Ruhr-Universität Bochum. Hier werden Werkstoffe der Zukunft geboren. Neue Möglichkeiten eröffnet bald auch das Zentrum für Grenzflächendominierte Höchstleistungswerkstoffe (ZGH), das aktuell auf dem Bochumer Campus entsteht – mit einer einzigartigen Geräteausstattung und einer Vielzahl von Laboren für rund 80 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter.

Infarkt. Geforscht wird auch an umweltfreundlichen Materialien, darunter Werkstoffe, die Sonnenlicht nutzen, um aus Wasser Wasserstoff zu erzeugen. Superlegierungen für Flugzeugturbinen, die viele Jahre extremer Hitze standhalten, effiziente Dünnschichtbatterien, selbstheilende Korrosionsschichten – alles aktuelle Projekte der RUB.

„Neue Werkstoffe sind ein Schlüssel zur Lösung technologischer Herausforderungen in den Bereichen Energiesysteme, Medizin oder Mobilität. Und die Chancen, neue Materialien zu finden, sind groß“, sagt Alfred Ludwig, Professor für Werkstoffe der Mikrotechnik und einer der Sprecher des Materials Research Department an der RUB. Bei der kombinatorischen Materialforschung gehen die Bochumer mit großen Schritten voran. Die relativ junge Disziplin hat

allerdings einen großen Hemmschuh: Der Weg zu neuen Werkstoffen führt durch eine Masse von Daten.

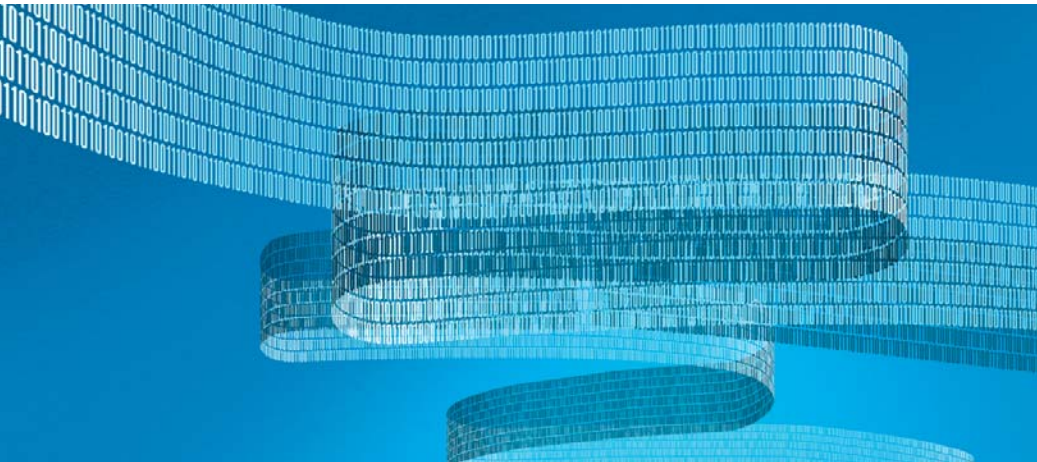
#### Mit selbstlernenden Methoden große Datenmengen gezielt analysieren

Allein wenn man 50 mögliche Ausgangselemente auswählt, ergeben sich für Materialien mit nur drei Komponenten schon rund 20.000 einfache Kombinationsmöglichkeiten. Dabei sind noch nicht die Möglichkeiten etwa einer thermischen oder mechanischen Nachbehandlung berücksichtigt – zwei weitere Stellschrauben zur Optimierung eines Werkstoffs.

„Die experimentellen Methoden zur Erforschung großer Parameterräume

sind schon weit fortgeschritten, aber die effiziente Bearbeitung und Analyse der anfallenden Daten ist eine neue Herausforderung“, so Materialforscher Ludwig. Wenn es gilt, große Datenmengen in den Griff zu bekommen und effektiv zu nutzen, sind die Informatik und Methoden des Data Mining gefragt.

Die Grundlagen für die Zusammenarbeit mit der Informatik haben die Bochumer Materialforscherinnen und -forscher rund um Prof. Alfred Ludwig und Prof. Ralf Drautz mit Informatikerinnen und Informatikern der TU Dortmund und der Universität Duisburg-Essen gelegt. Ziel der über drei Jahre laufenden Forschung war es, neuartige Datenanalyseverfahren für eine effiziente Ausbeute der Materialscreenings zu entwickeln. Minimiere die Anzahl der Messungen, lautete die Hauptaufgabe.



Durch den Datenschwungel zu Werkstoffen der Zukunft: Wenn es gilt, große Datenmengen in den Griff zu bekommen und effektiv zu nutzen, sind Methoden des Data Mining gefragt. Neuartige selbstlernende Datenanalyseverfahren sorgen für eine effiziente Ausbeute der Materialscreenings.

„Das hört sich zunächst einfach an, ist aber ein hochkomplexes Verfahren“, erklärt Katharina Morik, Professorin für Künstliche Intelligenz an der Fakultät für Informatik der TU Dortmund. Konkret ging es um Messdaten aus drei verschiedenen Legierungen: Kupfer-Nickel-Zink, Nickel-Chrom-Rhenium und Titan-Cobalt-Wolfram. Untersucht wurden diese Dünnschichtproben in Bochum hinsichtlich ihrer chemischen Zusammensetzung und Struktur sowie hinsichtlich ihres elektrischen Widerstands und der Farbwerte des reflektierten Lichts. Die Messdaten wurden unter anderem mit Messmethoden zur Materialanalyse gewonnen – die energiedispersive Röntgenanalyse und die Röntgenbeugung. Die so gewonnenen Messreihen heißen XRD-Spektren.

Das Problem: Jede Siliziumscheibe hat 342 definierte Messbereiche, an denen die Schichten jeweils unterschiedlich dick sind. Jeder Messpunkt liefert ein Spektrum von bis zu 100.000 Einzelwerten. Die vollständige Analyse eines solchen Wafers dauert mehrere Tage. Dabei sind am Ende längst nicht alle gewonnenen Daten für die Forscherinnen und Forscher interessant. Hier besteht ein deutlicher Optimierungsb-

edarf. „Unser Ziel war es, eine Methode zu entwickeln, die den Suchraum einschränkt, um gezielt nur relevante Spektren zu messen“, so die Dortmunder Informatikerin. Ein Verfahren fand Katharina Morik mit Methoden des adaptiven aktiven Lernens: „Das muss man sich wie eine Schlange vorstellen, die durch den Datenschwungel kriecht und jeweils entscheidet, welchen Messpunkt sie als nächstes ansteuert. Und auf diesem Weg wird die Schlange immer besser beim Auffinden der Punkte, die am meisten hergeben.“

#### Materialinformatik als eigenes Fachgebiet

Große Datenmengen analysieren, Muster erkennen und Vorhersagen treffen – das sind in aller Regel die wichtigsten Schritte im Data Mining, für das die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der TU Dortmund vielgefragte Experten sind. Datenwissenschaft ist vom Grundsatz her eine interdisziplinäre Wissenschaft, die Zusammenarbeit mit anderen Fachbereichen ist für Katharina Morik und ihr Team daher Taggeschäft. Mal geht es um Daten aus

einem Walzwerk, mal kommen sie aus dem Weltall, mal sind es religiöse Texte aus dem Internet – zwei Beispiele der Zusammenarbeit mit der Biologie und den Religionswissenschaften werden auf der rechten Seite vorgestellt. Das komplexe Feld der Materialforschung war allerdings selbst für die Fachfrau in künstlicher Intelligenz eine harte Nuss: „Eine Disziplin, die Forschung von der Elementarebene bis zur fertigen Beschichtung eines Flugzeugflügels vereint, ist nicht einfach zu verstehen. Deshalb hat der Prozess der Verständigung über Materials Design länger gedauert als bei anderen Projekten“, so die Informatikerin.

Eine langfristige Lösung dieses Dilemmas böte die Schaffung eines eigenen Fachgebiets Materialinformatik oder Materials Data Science. „Der Bedarf ist groß und seit langem bekannt“, erklärt Alfred Ludwig. Im MERCUR-Projekt haben die beteiligten Forscherinnen und Forscher einen ersten wichtigen Schritt in diese Richtung getan.

Christiane Spänhoff

## Informatik und Biologie: Krankheiten besser diagnostizieren

Die Kombination aus Informatik und einer anderen Wissenschaft hat sich in der Bioinformatik schon erfolgreich etabliert. Bioinformatikerinnen und -informatiker haben große Erfahrung darin, Fragestellungen aus der Biologie zu formalisieren und somit für die Informatik zu übersetzen und zugänglich zu machen. Sie entwickeln computergestützte Methoden, mit denen zum Beispiel Krankheitsdiagnosen verbessert und Therapieentscheidungen unterstützt werden können.

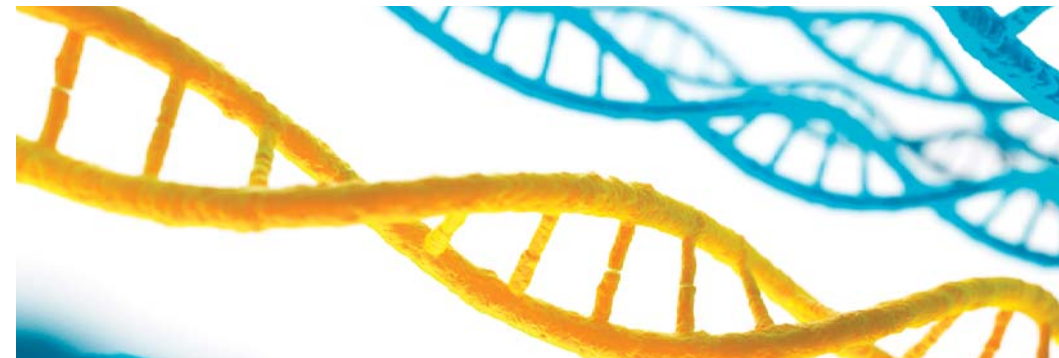
Einer ihrer Vertreter ist Prof. Sven Rahmann. Er ist an der Universität Duisburg-Essen Professor für Genominformatik und UA Ruhr-Professor für Bioinformatik mit Büros in Essen und Dortmund. Er war der Vierte im Bunde beim Projekt „Data Driven Materials Design“.

Gemeinsam mit seinem Team hat Rahmann einige sehr erfolgreiche Methoden zur DNA-Motivsuche publiziert.

Dabei geht es darum, in Genomdaten effizient so stark überrepräsentierte Muster zu finden, dass ihr Vorhandensein nur durch eine wichtige biologische Funktion erklärt werden kann.

„Wir hatten die Hoffnung, dass wir Methoden aus der bioinformatischen DNA-Sequenzanalyse direkt auf die Analyse von XRD-Beugungsmustern übertragen können“, erklärt Rahmann. „Die erfolgreiche Anwendung solcher Methoden auf XRD-Daten hätte uns möglicherweise direkt Materialeigenschaften vorhersagen können, die für einen menschlichen Betrachter nicht offensichtlich sind.“

Allerdings habe sich die Anpassung der Methoden auf die neuen Daten bisher schwierig gestaltet. Der Bioinformatiker bleibt dennoch optimistisch: „Wir haben viel dabei gelernt und hoffen, dass wir in Zukunft bessere Methoden basierend auf neuen Ideen entwickeln können.“



## Informatik und Religion: Texte aus sozialen Medien analysieren

Gemeinsam forschen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Ruhr-Universität Bochum und der Technischen Universität Dortmund in einem MERCUR-Projekt zur religiösen Online-Kommunikation: Was machen Religionsgemeinschaften im Internet? Was vertreten sie? Und worüber reden sie?

Im Projekt „Modellierung von Themen und Strukturen religiöser Online-Kommunikation“ arbeiten die Expertinnen und Experten des Bochumer Centrum für religionswissenschaftliche Studien um Prof. Volkhard Krech mit der Dortmunder Informatikprofessorin Katharina Morik und ihrem Team zusammen. Informatik und Religion? „Passt wunderbar zusammen“, meint Morik. Sie bringt ihre selbstlernenden Methoden zur Analyse großer Text-

mengen in das Projekt ein und entwickelt diese für die Anwendung auf Texte aus sozialen Medien weiter. „Dabei möchten wir auch die Bezüge der Themen untereinander darstellen: Welche Unterthemen entstehen? Welche Themen werden aufgegeben?“, erklärt Morik.

Der Vorteil der Zusammenarbeit zwischen Religionswissenschaften und Informatik ist eindeutig: Mit Hilfe der selbstlernenden Methoden können die extrem umfangreichen Datenbestände nicht nur stichprobenartig, sondern in ihrer Gänze analysiert werden. Aufzeigen konnten die Beteiligten bereits, dass Ähnlichkeiten zwischen konservativen Christen und Muslimen bestehen – zum Beispiel im Kampf gegen die Säkularisierung oder beim Universalanspruch der eigenen Religion.



## Ein altbekanntes Material neu erforscht

Silber wurde schon in der Antike aufgrund seiner antibakteriellen Wirkung genutzt. Wie groß das „therapeutische Fenster“ für den Einsatz des Edelmetalls ist, haben vier Forscherinnen und Forscher der UA Ruhr untersucht.



**Prof. Matthias Epple** ist Professor für Anorganische Chemie an der Universität Duisburg-Essen. Er studierte an der TU Braunschweig, wo er 1992 seinen Dokortitel mit Auszeichnung erhielt. Nach Forschungsaufenthalten in Seattle, London und Cambridge habilitierte Epple in Hamburg, bevor er über die Universitäten Augsburg und Bochum nach Duisburg-Essen kam. Er erhielt mehrere Stipendien der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) und wurde 1998 mit dem Heinz Meier-Leibnitz-Preis ausgezeichnet.



**Prof. Bettina Siebers** ist seit 2008 Professorin für Molekulare Enzymtechnologie und Biochemie am Biofilm Centre der Universität Duisburg-Essen. Nach ihrem Diplomabschluss an der Universität Osnabrück wechselte Siebers an die damalige Universität Essen, wo sie 1995 den Dokortitel erlangte. Als Postdoc ging sie an die State University nach Virginia und kehrte danach an die Universität Duisburg-Essen zurück, wo sie 2003 habilitierte und seit 2008 ihre Professur innehat.



**Prof. Heinz Rehage** ist Professor für Physikalische Chemie an der Technischen Universität Dortmund. Nach seinem Studium in Clausthal-Zellerfeld und Göttingen promovierte Rehage in Bayreuth. Ein Auslandsaufenthalt führte ihn nach Paris an das renommierte Collège de France. 1989 habilitierte er an der Universität Bayreuth, bevor er zwei Jahre später auf die Hans-Goldschmidt-Stiftungsprofessur am Institut für Physikalische Chemie an die Universität Duisburg-Essen berufen wurde. 2004 folgte Rehage dem Ruf an die TU Dortmund.



**Prof. Manfred Köller** ist seit 2002 außerplanmäßiger Professor an der Ruhr-Universität Bochum (RUB). Nach seinem Biologiestudium promovierte er 1988 mit einer externen Arbeit der Medizinischen Fakultät an der Biologischen Fakultät der RUB. 1995 habilitierte er sich in der Medizinischen Fakultät für die Fächer Experimentelle Mikrobiologie und Infektionsimmunologie. Seit 1997 ist er Leiter der chirurgischen Forschung im Berufsgenossenschaftlichen Universitätsklinikum Bergmannsheil in Bochum.



Mehr als 1.000 Produkte, die mit Silber versetzt sind, werden weltweit angeboten, darunter zum Beispiel Cremes oder Zahnpasta.

**B**lendend hell funkelt es am Ohr einer Frau oder an der Manschette eines Männerhemds. Oder es blitzt auf dem Tisch neben dem Teller und zeugt von der Großzügigkeit der Gastgeberinnen. Silber ist ein teures Edelmetall und gilt in vielen Kulturen als Ausdruck von Wohlstand und Reichtum. Auch wenn es ein Statussymbol ist, so wird Silber nicht ausschließlich elitär verwendet. In verschiedener Form – zum Beispiel in Lösung oder als Nanopartikel – kommt das Metall aufgrund seiner antibakteriellen Wirkung vor allem im medizinischen Bereich zum Einsatz. Auch die Hersteller von Cremes, Pasten und anderen Kosmetika machen sich diese Eigenschaft des Metalls heutzutage zunutze.

Vor allem für den Einsatz von Nanosilber in verbrauchernahen Produkten wie Kleidung oder Kosmetika hat das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) 2012 eine Forschungslücke festgestellt: „Über das mögliche gesundheitsschädigende Potenzial von Nanosilber wissen wir immer noch zu wenig und können daher das gesundheitliche Risiko für den Verbraucher derzeit nicht

wissenschaftlich fundiert abschätzen“, sagte BfR-Präsident Prof. Andreas Hensel. Bei einer Konferenz zum Stand des Wissens über die möglichen gesundheitlichen Risiken kam das BfR zu dem Schluss, dass Silber als antibakteriell wirksame Substanz nicht in breitem Umfang außerhalb klinischer Anwendungen eingesetzt werden soll – und dass weitere Forschung nötig sei.

#### Ein altbekanntes Prophylaxe-Instrument

Eine solche Untersuchung zur Wirkung des Metalls haben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus dem Ruhrgebiet durchgeführt: Von der Universität Duisburg-Essen Prof. Matthias Epple und Dr. Hubert Kuhn, beide vom Institut für Anorganische Chemie, sowie Prof. Bettina Siebers, Professorin für Molekulare Enzymtechnologie und Biochemie, von der Technischen Universität Dortmund Prof. Heinz Rehage, Professor für Physikalische Chemie, und vom Berufsgenossenschaftlichen Universitätsklinikum Bergmannsheil

der Ruhr-Universität Bochum Prof. Manfred Köller und Juniorprofessorin Christina Sengstock. Mit Unterstützung von MERCUR gingen sie gemeinsam der Frage nach, welche chemischen und biochemischen Mechanismen wirken, wenn Silber in diversen Darreichungsformen auf Bakterien und menschliche Gewebezellen trifft.

Anlass zur Untersuchung gab es gewiss, wie Matthias Epple feststellt: „Auf dem weltweiten Markt gibt es heute mehr als 1.000 Produkte, in denen Silber in verschiedenen Formen enthalten ist.“ Ein Blick in die Vitrine vor seinem Büro gibt einen Eindruck von der Mannigfaltigkeit: Creme, Zahnbürste, Duschgel und Pflaster sind nur einige kosmetische Artikel, die mit Silber versetzt werden. Auch Kleidungsstücke wie Socken enthalten heute Silber, zum Beispiel in Fäden eingearbeitet, um Schweißgeruch zu minimieren. Des Weiteren sind Kühlschränke und Handys mit Materialien beschichtet, denen Silber hinzugefügt wurde. Fast alle Hersteller berufen sich dabei auf die antibakterielle Wirkung des Edelmetalls, die bereits seit Jahrtausenden bekannt ist.



Schon die Perser haben im fünften Jahrhundert vor Christus Wasser in Gefäßen aus Silber transportiert. Und auch unsere Urgroßmütter wussten das Edelmetall im Haushalt zu schätzen: Sie legten eine Silbermünze in die Blechkanne, damit sich die Milch länger hält.

Schon in der Antike wussten Griechen, Römer und Ägypter die Vorzüge von Silber zu nutzen. Von Herodot wurde etwa im fünften Jahrhundert vor Christus berichtet, dass Perser Gefäße aus Silber benutzten, um darin Wasser zu transportieren. Über die Jahrtausende hinweg haben Menschen mit Silber – als Metall oder gelöst in Salben und Cremes – Hautverbrennungen behandelt und damit Infektionen vorgebeugt. Erst die Entwicklung von Antibiotika im 20. Jahrhundert ließ den Einsatz von Silber zurückgehen. Seit den 1970er Jahren erlebt das Metall jedoch eine Art Renaissance, da es seither nicht nur in Lösungen oder als Salz genutzt werden kann, sondern die kontrollierte Herstellung – die Synthese – von Nanopartikeln möglich ist.

Um die Frage nach der Wirkung von Silber auf Bakterien und Zellen zu beantworten, nutzte das Team um Epple die Vorteile der Universitätsallianz Ruhr: Während sich Matthias Epple um die Synthese der Silbernanopartikel kümmerte, erforschte Heinz Rehage in Dortmund die Eigenschaften der winzigen Teilchen und untersuchte, wie Nanopartikel in Zellen eindringen. Bettina Siebers erforschte die Wirkung von Silber auf Bakterien und Manfred Köller untersuchte zusammen mit Christina Sengstock, welchen Effekt das Edelmetall auf typische bakterielle Krankheitserreger im Vergleich zu menschlichen Gewebezellen hat. Hubert Kuhn modellierte am Computer, wie Silberpartikel auf molekularer Ebene mit Zellen zusammenwirken.

Was man über Silber wissen muss: Wird das Metall in einen Organismus eingebracht, so reagiert es sowohl mit Bakterien als auch mit eukaryotischen Zellen, das sind zum Beispiel Zellen des menschlichen Körpers. Die toxische Wirkung des Edelmetalls auf Bakterien ist gewünscht: Je höher die Konzentration des Silbers ist, desto mehr Bakterien werden getötet. Jedoch werden bei höherer Konzentration auch mehr eukaryotische Zellen geschädigt. Aus diesen Zusammenhängen ergab sich für die Forschenden die Frage, wie breit das sogenannte „therapeutische Fens-

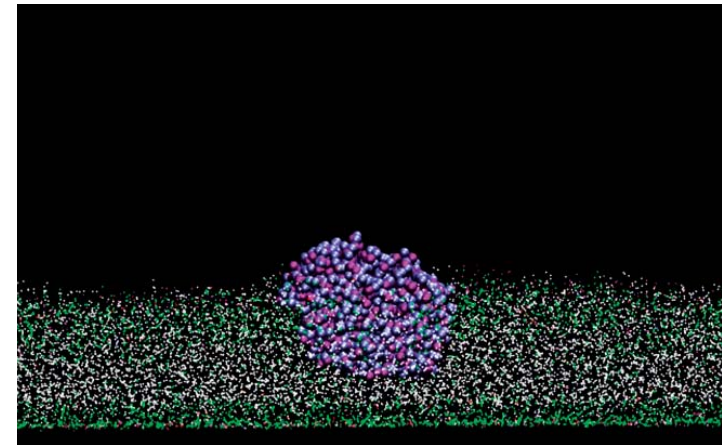
ter“ für den Einsatz von Silber ist. Damit ist die Dosis gemeint, bei der das Silber zwar Bakterien tötet, aber noch keine Gewebezellen schädigt. Bisherige Forschungsarbeiten ließen vermuten, dass es unter anderem von der Darreichungsform – ob Silber dem Körper in Lösung oder als Nanopartikel zugeführt wird – abhängt, wie stark diese Wirkung ist.

#### Silber wirkt toxisch auf Bakterien, aber auch auf menschliche Zellen

Eine Herausforderung des Projekts war, die Vergleichbarkeit der toxischen Wirkung des Silbers zu erreichen. „Bakterien und Eukaryoten werden mithilfe unterschiedlicher Zellkulturmedien gezüchtet“, erklärt Bettina Siebers. „Bakterien sind anspruchsloser als Eukaryoten; sie geben sich mit weniger zufrieden, um wachsen zu können.“ Um die Vergleichbarkeit zu ermöglichen, wurde das Zellkulturmedium der Bakterien angepasst.

„Eine wichtige Erkenntnis unserer Forschung war, dass das therapeutische Fenster schmal ist als gedacht“, sagt Matthias Epple. Die antibakterielle Wirkung von Silber wurde seiner Meinung nach bislang überschätzt, während die Risiken für den menschlichen Körper unterschätzt wurden. „Die Zelltoxizität – also die Konzentration von Silber, die nötig ist, um tödlich zu wirken – ist bei Bakterien und humanen Zellen ähnlich“, fügt Bettina Siebers hinzu. Ideal wäre jedoch, wenn Bakterien gegenüber Silber sehr anfällig und Eukaryoten recht robust wären.

Eine anfängliche Idee des Forschungsprojekts war es, silberdotierte Calciumphosphat-Nanopartikel als antibakteriell wirksames Knochenersatzmaterial einzusetzen. Doch die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler erkannten, dass diese Idee kaum zu realisieren war. Ein Grund dafür ist, dass sich Silbernanopartikel in humane Zellen einlagern und dauerhafte Schäden verursachen. Heinz Rehage sagt: „Wir konnten beobachten, dass Silbernanopartikel



Silbernanopartikel können sich in menschliche Gewebezellen einlagern und Schäden anrichten. Deswegen wird die antibakterielle Wirkung des Metalls nicht bei Langzeitanwendungen eingesetzt, sondern vor allem bei kurzzeitigen Implantaten wie Venen-, Drainage- und Blasenkatethern.

mit der Zeit Silberionen abgeben – wie ein Reservoir.“ Diese Ionen können über lange Zeit zur Gefahr für den menschlichen Körper werden. „Einige Forschende vermuteten einen sogenannten Naneffekt, der für die Toxizität von Silber verantwortlich ist – doch diesen konnten wir in unserer Arbeit nicht ausfindig machen“, sagt Epple.

#### Bei kurzem Einsatz in der Medizin überwiegt der Nutzen

Auch wenn der permanente Einsatz von Silber in der Humanmedizin deshalb nicht vertretbar ist, so kann die antibakterielle Wirkung des Edelmetalls bei kurzzeitigen Implantaten – beispielsweise Kathetern – effektiv genutzt werden. Heutzutage werden schon Venen-, Drainage- und Blasenkatether eingesetzt, deren Oberfläche mit Silbernanopartikeln beschichtet ist. Auch andere medizinische Geräte wie Nadeln oder Skalpelle sind mit Silberpartikeln beschichtet, um Infektionen vorzubeugen.

Doch wie bei vielen antibakteriellen Wirkstoffen ist auch bei Silber zu beobachten, dass mit der Zeit Resistenzen auftreten. Diese biologische Widerstandskraft verkleinert das therapeutische Fenster für den Einsatz von Silber im medizinischen Bereich.

In einem Punkt sind sich alle an diesem Projekt beteiligten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler einig: Sie befürworten den kontrollierten und kurzzeitigen Einsatz von Silber im medizinischen Bereich, da hier der Nutzen für Patientinnen und Patienten überwiegt. In verbrauchernahen Produkten wie Kleidung und Kosmetika ist Vorsicht geboten – und weitere Forschung notwendig. Diese kann durch die hochschulübergreifende und interdisziplinäre Kooperation innerhalb der UA Ruhr weitere wichtige Erkenntnisse im sicheren und nachhaltigen Umgang mit Materialien und Ressourcen bringen.

Sebastian Rothe

# Sonnenenergie im Eigenheim speichern

Startup der TU Dortmund produziert seinen kompakten Stromspeicher bald in Serie



Die Gründer und Geschäftsführer der volterion GmbH: Thorsten Seipp, Sascha Berthold und Thomas Gebauer

Die Vorbereitungen für die nächste Messe laufen auf Hochtouren. Außerdem steht bald der Umzug vom Laborstandort im Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT in Oberhausen ins Dortmunder Zentrum für Produktionstechnologie (ZfP) an. Das Team der volterion GmbH braucht dringend mehr Platz – schließlich sind inzwischen vier Vollzeit- und zwei Teilzeitkräfte mit an Bord und bald soll die Serienproduktion der neuartigen volterion Redox-Flow-Batterie starten.

Im Fraunhofer UMSICHT in Oberhausen hat vor fünf Jahren alles angefangen. Thorsten Seipp kam 2011 als Student des Chemieingenieurwesens ans Institut, um seine Diplomarbeit bei Elektrotechniker Sascha Berthold zu schreiben. Der wiederum war damals externer Doktorand der TU Dortmund. Sein Forschungsthema waren Redox-Flow-Batterien – eine etablierte Technologie, die

elektrische in chemische Energie umwandelt, die in einem flüssigen Elektrolyten gespeichert wird. Der Entladevorgang verläuft umgekehrt.

Redox-Flow-Batterien haben einige Vorteile gegenüber zum Beispiel Lithium-Ionen-Akkus. Sie sind äußerst langlebig, haben einen hohen Wirkungsgrad und entladen sich nicht selbst. Außerdem treten keine Memory-Effekte auf, bei denen Batterien durch Teilentladung an Kapazität verlieren. Allerdings hatten sie bisher den Nachteil, dass sie für Privatanwender zu groß und zu teuer waren. Und genau das sollte sich ändern. „Wir dachten, es muss doch möglich sein, kompaktere Exemplare zu bauen“, erläutert Thorsten Seipp (29) die anfänglichen Überlegungen. Also machten er und Sascha Berthold (40) sich an die Arbeit und entwickelten eine alternative Bauweise. In herkömmlichen Redox-Flow-Batterien sind die Kammern mit der Elektrolytlösung, die in vielen Rei-

hen zu sogenannten Stacks gestapelt sind, durch Dichtungen getrennt. Mit Hilfe neuer Materialkonstruktionen und Verfahren gelang es den beiden Wissenschaftlern erstmals, die Zellrahmen der einzelnen Kammern dicht miteinander zu verschweißen und damit auf Dichtungen gänzlich verzichten zu können. Das spart viel Material, Kosten und Platz. Der neue Energiespeicher ist bei gleicher Leistung sehr viel kleiner. Damit kann er jetzt mit ausreichender Kapazität in Privathäusern aufgestellt werden und den Strom aus der hauseigenen Photovoltaikanlage für die spätere Verwendung speichern.

Die beiden Wissenschaftler erkannten das geschäftliche Potenzial ihrer Erfindung und wollten, dass sie den Weg aus dem Labor in die Praxis findet. „Für uns war es ganz wichtig, dass aus unserer Idee auch ein Produkt für den Markt wird“, so Sascha Berthold. „Ein Unternehmen zu gründen, war die logische Konsequenz und eine neue große Herausforderung.“

Deshalb holten sie sich Hilfe bei der Beratung der Gründungsinitiative tu>startup der TU Dortmund und wurden 2014 schließlich für das Förderprogramm EXIST-Forschungstransfer des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie ausgewählt. Dieses Programm der High-Tech-Strategie bietet vielversprechenden Startups aus Hochschulen mit aufwendiger Entwicklungsarbeit mehrjährige Unterstützung. Als kaufmännischer Experte kam noch Betriebswirt Thomas Gebauer zu den beiden Technikern ins Team. Die volterion GmbH wurde im September 2015 gegründet.

Die Jungchefs konnten schon einige Auszeichnungen entgegennehmen. Im Juni 2015 gab es den bundesweiten AICHEM-Gründerpreis für hervorragende Ideen für junge Unternehmen aus den



Sie haben eine Idee, aber noch keinen Businessplan?  
Oder Ihr Businessplan braucht den letzten Schliff?  
In jedem Fall sind Sie beim Gründungswettbewerb start2grow richtig!

Unsere Bausteine für Ihre erfolgreiche Gründung:

- Kostenfreie Teilnahme
- Bundesweiter Wettbewerb
- Hohe Geld- und Sachpreise
- Interaktive Events
- Sonderpreis „Technologie“
- Netzwerk mit über 600 Coaches
- Kontakte zu Wirtschaft, Wissenschaft und Kapital

Jetzt informieren und anmelden:  
[www.start2grow.de](http://www.start2grow.de)

## Gründungsförderung an der Ruhr

Die Hochschulen der Universitätsallianz Ruhr initiieren, fördern und würdigen Unternehmensgründungen aus der Wissenschaft. Sie unterstützen ihre Studierenden, Absolventinnen und Absolventen sowie Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter aktiv bei der Entwicklung und Umsetzung von Geschäftsideen.

**Technische Universität Dortmund:** Die Gründungsinitiative „tu>startup“ wurde bereits 2012 vom Förderprogramm „EXIST-Gründungskultur“ ausgezeichnet und wird seither gefördert. Den Kern bilden die von Prof. Andreas Liening geleitete Entrepreneurship School und die „tu>startup STIFTUNG“. Partner sind das TechnologieZentrumDortmund und die Wirtschaftsförderung. Einmal im Jahr zeichnet die TU Dortmund innovative Ausgründungen aus. [www.tu-startup.de](http://www.tu-startup.de)

**Ruhr-Universität Bochum (RUB):** Mit der WORLDFACTORY startet die RUB ein neuartiges Transfer- und Gründerkonzept. Angebote in den drei Säulen Entrepreneurship, Praxis und Transfer unterstützen anwendungs- und gründungsinteressierte Studierende und Promovierende. [www.rub.de/worldfactory](http://www.rub.de/worldfactory)

**Universität Duisburg-Essen (UDE):** Das „IDE – Kompetenzzentrum für Innovation und Unternehmensgründung“ bietet ein Netzwerk für Gründungsinteressierte sowie Unterstützung und Beratung bei der Ideenentwicklung, Businessplanerstellung, Finanzierung und Qualifikation. [www.uni-due.de/ide](http://www.uni-due.de/ide)

Bereichen Chemie, Verfahrenstechnik und Biotechnologie. Anfang 2016 belegten sie den ersten Platz beim tu>startup AWARD der TU Dortmund.

Firmensitz der volterion GmbH ist Dortmund. „Wir haben wirklich aus Überzeugung in Dortmund gegründet“, so Thorsten Seipp. „Wir haben hier viel Hilfe erfahren, es gibt tolle Netzwerke und eine gute Hochschulnähe. Außerdem hat uns das Konzept vom Zentrum für Produktionstechnologie überzeugt, da wir unsere Produktionsflächen je nach Bedarf dort erweitern können.“

Bis es so weit ist, wird noch ein Investor gesucht, da teure Maschinen und Anlagen angeschafft werden müssen, um effektiv in Serie produzieren zu können. Vielversprechende Gespräche mit interessierten Geldgebern laufen bereits.

Claudia Pejas

[www.volterion.com](http://www.volterion.com)





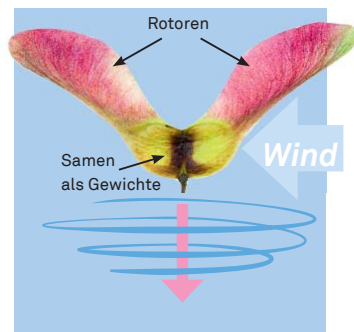
**Bionik –  
Professor guckt  
bei Bäumen ab**

Wie fliegen Raketen, Flugzeuge und Hubschrauber? Und wie sind schlaue Menschen auf den Bauplan dieser Fluggeräte gekommen? Bioniker wie Professor Norbert Kockmann gucken von der Natur ab – sie betrachten zum Beispiel Ahornsamen ganz genau.

## Die Vorlage: Ahornsamen

Ein Apfel fällt von seinem Zweig direkt auf den Boden – zack. Ahornsamen sind da ganz anders: Wenn der Herbstwind sie vom Baum löst, fangen sie an, sich um die eigene Achse zu drehen, weil sie zwei Rotoren haben. Sie kreiseln langsam zu Boden und der Wind hat viel Zeit, sie durch die Gegend zu wirbeln. Er weht die Samen vielleicht dorthin, wo Platz für einen neuen Ahornbaum ist. Im Frühjahr wachsen dann Wurzeln und grüne Blätter. Ein neuer Ahornbaum entsteht.

**Vom Ahornsamen zum Hubschrauber**  
Professor Kockmann kennt sich mit Bionik aus. Das bedeutet, er weiß viel über Biologie und viel über Technik. Er guckt sich die Tricks der Natur genau an. Dann überlegt er, ob diese auch den Menschen helfen können. Am Ende baut er kleine und große Modelle, in denen er die Tricks der Natur übernimmt. Professor Kockmann interessiert sich für Ahornsamen, weil die so elegant durch die Luft kreiseln. Der Professor baut hier einen Papierhubschrauber, der einige Eigenschaften des Ahornsamens übernimmt.



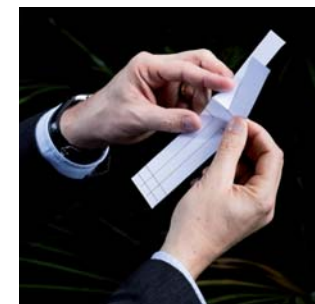
gestrichelte Linien falten

dicke Linien schneiden

## Alles, was du brauchst:

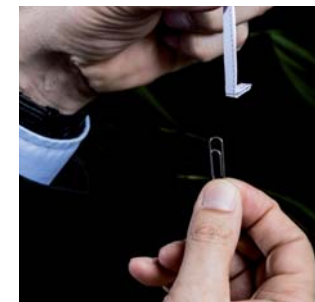
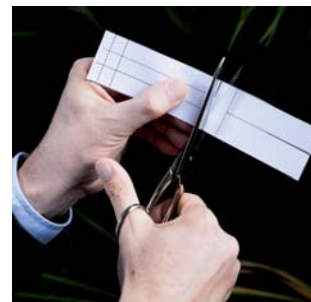
- das Schnittmuster auf der linken Seite unten
- eine Schere
- eine Büroklammer

So soll der Hubschrauber aussehen: Unten ist das Gewicht, oben sind zwei Rotoren wie beim Ahornsamen.



Jetzt aber los! Zuerst schneidest du das Schnittmuster unten auf der linken Seite aus. Dann schneidest du entlang der langen durchgezogenen Linie. Danach musst du noch die zwei kurzen durchgezogenen Linien einschneiden.

Danach knickst du unten entlang der gestrichelten Linie einen Zipfel ein. Der macht das Bein stabil, damit du eine Büroklammer ans untere Ende anbringen kannst.



## Fertig und Abflug

Jetzt lässt Professor Kockmann seinen Papierhubschrauber fliegen. Probiere auch du es aus! Vielleicht möchtest du ihn und andere Professorinnen und Professoren bei den KinderUni-Vorträgen der TU Dortmund besuchen. Die freuen sich bestimmt.



Die Bastelanleitung für den Papierhubschrauber gehört zu Professor Kockmanns Vortrag für die KinderUni der TU Dortmund. Auch einige seiner Kolleginnen und Kollegen aus ganz unterschiedlichen Fächern gehen gemeinsam mit Kindern zwischen acht und zwölf Jahren spannenden Fragen auf den Grund: Bei der KinderUni gibt es Vorträge in den Reihen „Technik macht Spaß“, „Wissen macht Spaß“, „Nachhaltiges Wirtschaften“ und „Dortmund entdecken“. Die Vorträge finden auf dem Campus der TU Dortmund, auf der Hochschuletage

im Dortmunder U und im Familienzentrum „Stern im Norden“ statt. Das neue Programm erscheint Ende September. Viele weitere Infos und die Angebote für Kinder der Ruhr-Universität Bochum und der Universität Duisburg-Essen sind auf diesen Websites zu finden:

[www.tu-dortmund.de/kinderuni](http://www.tu-dortmund.de/kinderuni)  
[www.ruhr-uni-bochum.de/kinderuni](http://www.ruhr-uni-bochum.de/kinderuni)  
[www.uni-due.de/unikids](http://www.uni-due.de/unikids)



Das Ruhrgebiet hat als Wissenschaftsregion deutliche Fortschritte gemacht und punktet mit hohen Drittmitteleinnahmen und Kooperationen mit der Wirtschaft.

## Studie: Wissenschaftsregion Ruhr nimmt an Bedeutung zu

Das Centrum für Hochschulentwicklung (CHE) hat im Auftrag der Stiftung Mercator die stärksten Wissenschaftsregionen Deutschlands verglichen: Berlin, München, Rhein/Main, Hannover/Braunschweig/Clausthal – und das Ruhrgebiet. Die Studie „Erfolgsfaktoren wissenschaftlicher Metropolregionen“, die im Januar 2016 veröffentlicht wurde, zeigt, dass das Ruhrgebiet große Entwicklungsschritte vollzogen hat. Zwar konnte die Region nicht zu Berlin und München aufschließen, der Vergleich mit den beiden Flächenregionen zeigt allerdings gerade in der Forschung schon deutliche Fortschritte.

„Die Universitätsallianz Ruhr hat in der Forschung an Substanz gewonnen“, sagt der Leiter der Studie Dr. Christian Berthold. Die Studie attestiert der UA Ruhr eine außergewöhnlich enge und vor allem freiwillige Kooperation benachbarter gro-

ßer Universitäten. Ihre gemeinsame Forschung wird unter anderem durch das Mercator Research Center Ruhr (MERCUR) gefördert. In der Forschung liegen die Stärken des Ruhrgebiets insbesondere in den technischen Fächern wie Maschinenbau, aber auch in den Sozialwissenschaften. Das zeigen die im nationalen Vergleich hohen Drittmitteleinnahmen und die Kooperationen mit der Wirtschaft.

In einem Punkt hat das Ruhrgebiet sogar alle Vergleichsregionen hinter sich gelassen: Beim Wachstum bei den Studierendenzahlen. Hier hat die Metropolregion Ruhr die Herausforderung des Strukturwandels angenommen. Hervorzuheben ist auch der steigende Anteil an internationalen Studierenden, was für eine wachsende internationale Reputation der Hochschulen spricht.



Erste Station in Dortmund: Eine Delegation aus den USA und Kanada hat im Dezember 2015 die drei UA Ruhr-Universitäten und das Ruhrgebiet kennengelernt.

## Delegation aus Nordamerika zu Gast im Ruhrgebiet

Zehn Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus den USA und Kanada waren im Dezember 2015 zu Gast bei der Universitätsallianz Ruhr: Sie besuchten die Ruhr-Universität Bochum, die TU Dortmund und die Universität Duisburg-Essen. Die Gäste repräsentierten Universitäten wie die Rutgers University in New Jersey, die Drexel University in Philadelphia, die University of California, Berkeley, die University of Rhode Island sowie die University of Ottawa in Kanada.

An ausgewählten Stationen konnte sich die Delegation von der Forschungsstärke der UA Ruhr überzeugen: Sie besuchte unter anderem den LogistikCampus der TU Dortmund und des Fraunhofer-Instituts für Materialfluss und Logistik (IML), das Center of Nanointegration (CENIDE) an der Universität Duisburg-Essen sowie den Exzellenzcluster RESOLV (Ruhr

Explores Solvation) an der Ruhr-Universität Bochum. Darüber hinaus wurde die Gruppe von Wissenschaftsministerin Svenja Schulze in Düsseldorf empfangen. In zahlreichen Gesprächen wurden neue Partnerschaften mit der UA Ruhr angebahnt – zum Beispiel zwischen CENIDE und dem Institute for Nanotechnology an der University of Waterloo.

Die UA Ruhr pflegt enge Kontakte zu ausländischen Hochschulen. Die langjährige Kooperation mit Nordamerika ist dabei eine Besonderheit: Schon seit 2004 unterhalten die drei UA Ruhr-Universitäten ein Verbindungsbüro in New York. Außerdem wurden 2009 und 2011 weitere Verbindungsbüros in Moskau und in Rio de Janeiro/São Paulo eröffnet. Ihre Aufgabe ist es, die Netzwerke mit akademischen Institutionen vor Ort auszubauen.

### Bildnachweise:

Titelbild und Rückseite siehe unten S. 12-13, 18-19, 24-25, 30-31, 36-37, 48-49; S. 4-5 Universitätsallianz Ruhr (UA Ruhr); S. 6 TU Dortmund/Nikolas Golsch; S. 7 UA Ruhr; S. 8 Materials Chain; S. 9 li. Materials Chain, mi. Ruhr-Universität Bochum (RUB), re. TU Dortmund; S. 10 Materials Chain; S. 11 deyangorgiev2/Shotshop.com; S. 12-13 TU Dortmund/Jürgen Huhn; S. 14 o. RUB/Marquard, u. li. TU Dortmund/Roland Baege, u. re. Universität Duisburg-Essen (UDE); S. 15 icsnaps/Shotshop.com; S. 16 Taddeus/Shotshop.com; S. 17 RVR/Christian Lord; S. 18-19 vladmoses/Shotshop.com; S. 20 o. RUB/Marquard, u. li. TU Dortmund/Nikolas Golsch, u. re. Max Greve; S. 21 Thomas Westermann/Shotshop.com; S. 22 beachboyx10/Shotshop.com; S. 23 vitranowski/Shotshop.com; S. 24-25 3darf/Shotshop.com; S. 26 TU Dortmund/Roland Baege; S. 27 RUB; S. 28 TU Dortmund/Nikolas Golsch; S. 29 li. CENIDE, re. RUB; S. 30-31 Tim Müßle; S. 32 o. Max Greve, u. li. TU Dortmund/Jürgen Huhn, u. re. RUB; S. 33 LaurentinoLordache/Shotshop.com; S. 34 TU Dortmund/Roland Baege; S. 36-37 Anna Reinert/Shotshop.com, S. 38 li. TU Dortmund/Roland Baege, re. RUB; S. 39 merial/Shotshop.com; S. 40 Tkizarti/Shotshop.com; S. 41 krisChristiaens/Shotshop.com; S. 42-43 UDE, S. 44 o. UDE, u. li. ZBT GmbH, re. RUB/Marquard; S. 45 Birte Vierjahn; S. 46 CENIDE/JDE; S. 47 RUB; S. 48-49 Christian Nielinger; S. 50 o. RUB, u. li. Ursula Dören, u. re. Frank Preuss; S. 51 Christian Nielinger; S. 52 numismartyShotshop.com; S. 53 leonardomedical/Shotshop.com; S. 54-55 PRILL Mediendesign&Fotografie/Shotshop.com; S. 56 o. Max Greve, u. li. TU Dortmund/Nikolas Golsch, u. mi. UDE, u. re. V. Daum/Bergmannsheil; S. 57 pashapixellV/Shotshop.com; S. 58 bangkokhappiness/Shotshop.com; S. 59 UDE; S. 60 Volterion; S. 62 Ahorn-samen: ligora/Shotshop.com; S. 62-63 Grafiken und Fotos TU Dortmund/Roland Baege; S. 64 o. JiSign/Fotolia, S. 64 u. TU Dortmund/Roland Baege.

