**Herausgeber:**

Prof. Dr. Harald Fuchs
Physikalisches Institut und CeNTech
Westfälische Wilhelms-Universität Münster
Wilhelm-Klemm-Straße 10
D-48149 Münster
Telefon: 0251/83-33621
E-Mail: fuchsh@uni-muenster.de

Redaktion:

Dr. Hedwig Roderfeld
Physikalisches Institut der WWU Münster
Dipl.-Ing. Heiko Schwarzburger MA
www.cortexunit.de

Grafiken:

Michael Römer, www.solargrafik.de

Layout und Satz:

Burga Fillery, www.milch-berlin.de

Druck:

Buschmann, Münster

Erscheinungstermin:

November 2010

Bildnachweis:

Fotos S. 5, 14, 15, 28, 31, 34, 39, 44, 55, 65, 68, 69, 74, 78, 82 (Thomas Hauss, www.thomashauss.de). Das Copyright aller weiteren Fotos liegt bei den Autoren des jeweiligen Beitrages bzw. den Instituten der WWU Münster.

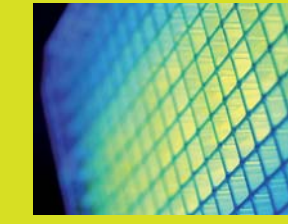
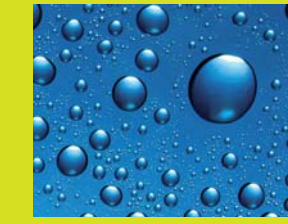
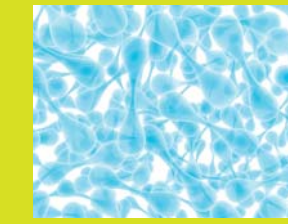
Bestellung:

Dr. Hedwig Roderfeld
Physikalisches Institut
Westfälische Wilhelms-Universität Münster
Wilhelm-Klemm-Straße 10
D-48149 Münster
Telefon: 0251/83-36303
E-Mail: roderfe@uni-muenster.de



Nanowelt Münster

Nanowelt Münster



Gut vernetzt in Europa

Die Münsteraner Forscher pflegen
vielfältige wissenschaftliche Kontakte



Einzigartige Forschungsdichte in der Nanoregion Münster



Weltweite Kooperationen der Nanoforscher aus Münster



Nanowelt Münster

Region Münster

Materialien

Biomedizin

Analytik und Theorie

Vorwort Markus Lewe, Oberbürgermeister in Münster	6
Vorwort Prof. Dr. Ursula Nelles, Rektorin der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster	7
Vorwort Prof. Dr. Harald Fuchs, Wissenschaftlicher Leiter des CeNTech, Direktor des Physikalischen Instituts der WWU	9

Region Münster

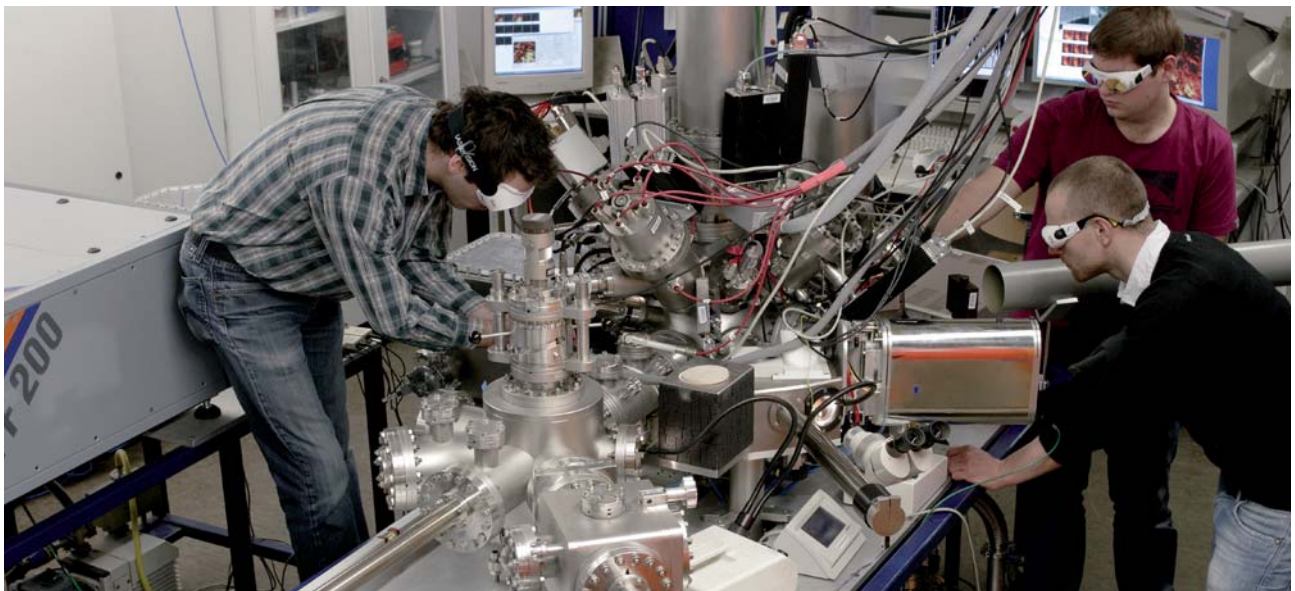


Das CeNTech: Ein Zentrum mit internationaler Ausstrahlungskraft Dr. Holger Winter, CeNTech	12
„Tiefgang und Vielfalt in einer einzigartigen Mischung“ Im Interview: Prof. Dr. Lifeng Chi und Prof. Dr. Harald Fuchs	14
TRR 61: Ein Pilotprojekt mit Vorbildcharakter Prof. Dr. Harald Fuchs, Dr. Hedwig Roderfeld, Transregio 61	18
Zehn Jahre erfolgreiche Aufbauarbeit PD Dr. Klaus-Michael Weltring, Gesellschaft für Bioanalytik e.V.	20
Aus dem Alltag kaum mehr wegzudenken Prof. Dr. Jens Leker, Institut für Betriebswirtschaftliches Management	22
Von einem Problem zu seiner Lösung Prof. Dr. Dr. h.c. Klaus Backhaus, Marketing Centrum Münster	24

Materialien

Die Guten ins Töpfchen, die Schlechten ins Kröpfchen Prof. Dr. Guido Schmitz, Institut für Materialphysik	28
Polymerbürsten für einen neuartigen Wafer Prof. Dr. Armido Studer, Organisch-Chemisches Institut	30
Intelligentes Label misst das Verfallsdatum Prof. Dr. Meinhard Knoll, Institut für Physikalische Chemie	32
Von Quantenpunkten und Nanodrähten Prof. Dr.-Ing. Gerhard Wilde, Institut für Materialphysik	34

Atome und Moleküle als Baustoffe für Arzneicontainer Prof. Dr. Monika Schönhoff, Institut für Physikalische Chemie	36
Ein Modellsystem für Miniproteine Prof. Dr. Bart Jan Ravoo, Organisch-Chemisches Institut	37
Licht steuert Licht - Optik auf der Nanoskala Prof. Dr. Cornelia Denz, Institut für Angewandte Physik	38
Maßgeschneiderte Werkstoffe für die Mikroelektronik Prof. Dr. Hartmut Bracht, Institut für Materialphysik	40



■ Biomedizin

Mit Licht gegen Bakterien und andere Erreger Prof. Dr. Luisa De Cola, Physikalisches Institut und CeNTech	44
Von Schmugglern, Barrieren und einem Trojanischen Pferd Prof. Dr. Hans-Joachim Galla, Institut für Biochemie	46
Lichtblitze machen Marker und Antikörper sichtbar Dr. Lutz Haalck, Luminartis GmbH	48
Ein tiefer Blick in das Wirrwarr der Synapsen Prof. Dr. Jürgen Klingauf, Institut für Medizinische Physik und Biophysik	50
Bahn frei für Bakterien mit Außenbordmotor Prof. Dr. Berenike Maier, Institut für Molekulare Zellbiologie	51



Die Vision der Zauberkugeln wird Realität 52

Prof. Dr. Klaus Langer, Institut für Pharmazeutische Technologie

Das Erbgut als Vorbild für neue Kunststoffe 54

Prof. Dr. Jens Müller, Institut für Anorganische und Analytische Chemie

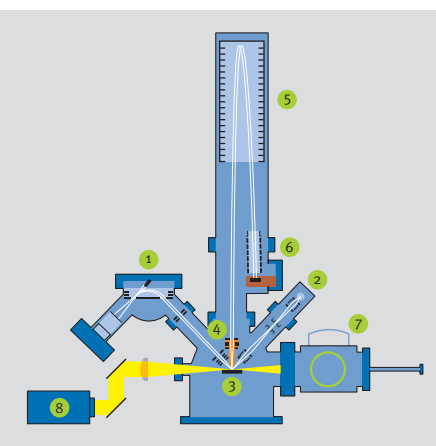
Vom Molekül zur Zelle und zum Menschen 56

Prof. Dr. med. Hans Oberleithner, Institut für Physiologie II

Die Nanomedizin: Chance und Risiko zugleich 58

Dr. Kristina Riehemann, Physikalisches Institut und CeNTech

Analytik und Theorie



Auf der Suche nach der Nadel im Heuhaufen 62

Prof. Dr. Heinrich Arlinghaus, Physikalisches Institut

Weltweit einzigartige Analysetechnik 64

Dr. Birgit Hagenhoff und Dr. Daniel Breitenstein, Tacson GmbH

Selbstorganisation: Vom Chaos zur Ordnung 66

Prof. Dr. Rudolf Friedrich, Institut für Theoretische Physik

Mit dem Spin zum ultraschnellen Speicher für Daten 68

Prof. Dr. Markus Donath, Physikalisches Institut

Atom für Atom zum Nanomagnet 70

Dr. Daniel Wegner, Physikalisches Institut und CeNTech

Wenn die Atome im Computer Modell stehen	72
Prof. Dr. Andreas Heuer, Institut für Physikalische Chemie	
Auf fünf Millionstel eines Millimeters genau	74
Prof. Dr. Helmut Kohl, Physikalisches Institut	
Im Dienst der Umwelt und der Wertschöpfung	75
Dr. Roger Dietrich, OFG Analytik GmbH	
Alles andere als oberflächlich	76
Dr. Andreas Schäfer, nanoAnalytics GmbH	
Was die Welt im Innersten zusammenhält	78
PD Dr. André Schirmeisen, Physikalisches Institut	
Ein Speziallabor für molekulare Biomedizin	80
Dr. Arnold M. Raem, arrows biomedical Deutschland GmbH	
Ultrakurze Messungen mit starken Lasern	82
Prof. Dr. Helmut Zacharias, Physikalisches Institut	
Gezielte Rasterfahndung nach Proteinen	84
Dr. Christiane Höppener, Physikalisches Institut	
Ultraschnelle Quantendynamik in Nanostrukturen	86
Prof. Dr. Tilmann Kuhn, Institut für Festkörpertheorie	





Münster ist zweifellos ein prosperierender Wissenschafts- und Wirtschaftsstandort, wobei die Wissenschaft entscheidender Erfolgsfaktor für die Zukunft unserer Stadt ist: Ohne die exzellenten Nanowissenschaften an der Universität Münster würde die Stadt nicht zu einem der führenden Standorte in der Nanotechnologie zählen. Gemeinsam mit der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster und der Fachhochschule Münster engagiert sich die Stadt in der „Allianz für Wissenschaft Münster“, diese Stärken des Standortes konsequent weiter auszubauen.

Die Stadt ist ihrer Tradition eng verbunden – Münster ist Stadt des Westfälischen Friedens – sie ist aber auch einer der deutschlandweit interessantesten Technologiestandorte. Münster ist eine Wissenschaftsstadt. Mit einer der größten deutschen Universitäten, einer der drittmittelstärksten Fachhochschulen Nordrhein-Westfalens, dem Max-Planck-Institut für Molekulare Biomedizin und weiteren sechs Hochschulen verfügt Münster über ein weltweit beachtetes Potenzial in Forschung und Entwicklung. Auch beherbergt unsere Stadt eines der größten und forschungsintensivsten Universitätskrankenhäuser Deutschlands. Viele Forschungseinrichtungen prägen Münsters Technologieprofil mit den drei Schwerpunkten Life Science, Informations- und Kommunikationstechnologien sowie Nanotechnologie.

Die Allianz für Wissenschaft hat einen Schwerpunkt in der Nanobioanalytik. Münster ist Europas Top-Standort in der Nanobioanalytik. Die Institute der Universität, das Zentrum für Nanotechnologie (CeNTech), welches derzeit erweitert wird, und die Wirtschaft verfügen in Münster über modernste Ausstattung in der Nanoanalytik. In Verbindung mit dem forschungsintensiven Universitätsklinikum, dem Max-Planck-Institut, den verschiedenen interdisziplinären Zentren und etwa 30 Biotechnologieunternehmen mit mehr als 1.000 Beschäftigten in Münster und im Münsterland, haben wir hier ein sehr dynamisches Cluster in der Nanobioanalytik. In diesem Kontext nimmt die Stadt Münster eine sehr aktive Rolle ein: in den nächsten Monaten realisieren wir – mit Unterstützung der Europäischen Union sowie des Landes Nordrhein-Westfalen – im Wissenschaftspark das Nanobio-Zentrum mit dem Ziel, die dynamische Entwicklung der Wirtschaft im Schwerpunkt Nanobiotechnologie zu unterstützen. Die vorliegende Broschüre verdeutlicht eindrucksvoll: Münster ist ein dynamischer Standort der Nanotechnologie. Ich wünsche ihr als Botschafter der Wissenschaftsstadt Münster die größtmögliche Verbreitung!

Ihr
Markus Lewé
Oberbürgermeister in Münster



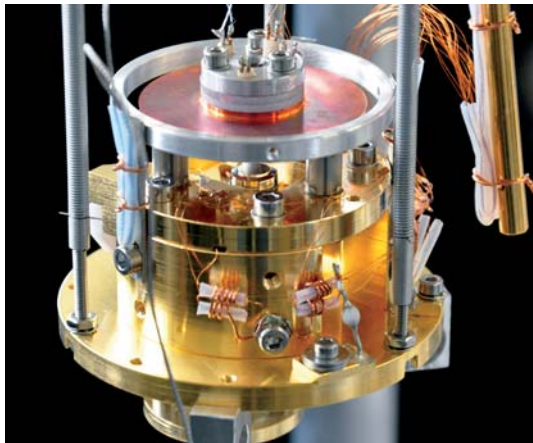
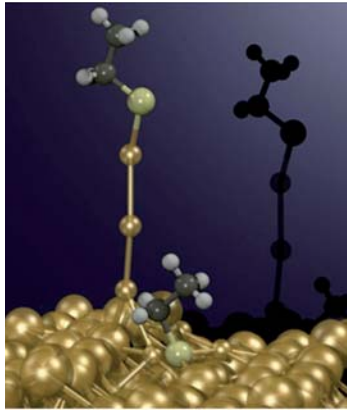
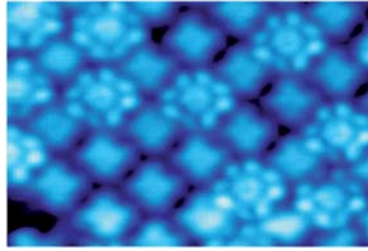
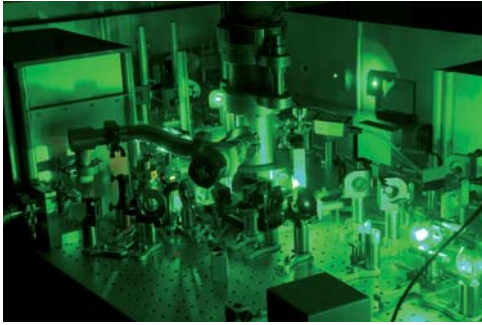
Benutzt man die Vorsilbe „Nano“ im allgemeinen Sprachgebrauch, so hat dies heutzutage einen Hauch von einem Trendwort – egal, welches Wort damit begleitet wird. Nanowissenschaft, Nanotechnologie oder Nanowerkstoff sind als Begriffe in vielen Unterhaltungen deshalb oft beliebt, da sie mit richtungsweisenden Innovationen in Verbindung gebracht werden. Das Präfix nano- ist bei Unternehmern und Wissenschaftlern heute ähnlich beliebt wie in den 1970er und 1980er Jahren mikro- und in den 1990er Jahren das e- wie bei eBanking, eGovernment, eBusiness etc.

Münster hingegen ist ein Pflaster, auf dem Traditionen einen nicht zu unterschätzenden Stellenwert genießen. Dies erweist sich im Bereich der Nanotechnologie als großer Vorteil: Als wichtiger Wissenschaftsstandort hat sich Münster gerade in diesem Bereich nicht erst über Nacht einem Trend angeschlossen, sondern forscht bereits seit Jahrzehnten aktiv auf diesem Gebiet. So ist es kaum verwunderlich, dass sich Münster auch weit über die deutschen Grenzen hinaus zu einem der führenden Standorte entwickelt hat und diesen Ruf sicherlich noch weiter ausbauen wird. Zahlreiche Kooperationen wie mit der Stadt oder der FH Münster oder internationalen Partnern, der geregelte Technologietransfer in die Wirtschaft und hervorragende Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler zeugen von dem enormen Potenzial. Schließlich nannte bereits der heute als Vater der Nanotechnologie geltende Wissenschaftler Richard Feynman seinen ersten Vortrag in diesem Wissenschaftsgebiet „There’s plenty of room at the bottom“ (Ganz unten ist eine Menge Platz). Frei nach diesem Motto wünsche ich Ihnen viel Spaß bei der Lektüre dieser Broschüre und bei der Entdeckung der zahlreichen Möglichkeiten, die sich in, mit und durch die Nanotechnologie entwickeln.

Ihre

Prof. Dr. Ursula Nelles

Rektorin der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster





Materie auf molekularer und atomarer Skala untersuchen und gezielt verändern zu können, ist ein alter Traum der Naturwissenschaften. In der Nanotechnologie beginnt dieser Traum Realität zu werden. Damit eröffnen sich neue Möglichkeiten in nahezu allen Technologiebereichen, einschließlich der Medizin und der Umwelttechnik. Oberflächenveredelung, intelligente nanoskalige Materialien, schnellere Elektronik, Optik, Sensoren und Nanomotoren sind nur einige Beispiele dieser rasch wachsenden Querschnittstechnologie. Diese thematische Breite zwingt zur inhaltlichen Spezialisierung, um im internationalen Vergleich eine führende Stellung einnehmen zu können. Seit 1998 arbeiten die Westfälische Wilhelms-Universität, die Fachhochschule Münster, die Stadt Münster und das Land Nordrhein-Westfalen eng zusammen, um den Nanowissenschaften in Münster zu internationaler Strahlkraft zu verhelfen.

Weit über die Grenzen Münsters hinaus sichtbare Früchte dieser Strategie sind das Kompetenzzentrum für Nanoanalytik des Bundesforschungsministeriums und das Zentrum für Nanotechnologie (CeNTech). Diese Aktivitäten sind nicht auf Münster beschränkt, sondern in zahlreiche Vernetzungen innerhalb Deutschlands, Europas und weltweit eingebettet. Das jüngste und herausragende Beispiel ist der Transregio-Sonderforschungsbereich TRR 61, der mit der berühmten Tsinghua-Universität in Peking eingerichtet wurde. Er ist zugleich der erste interkontinentale Sonderforschungsbereich, den die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) gemeinsam mit ihrer chinesischen Partnerorganisation National Science Foundation of China finanziert. Viele europäische Projekte und Netzwerke, darunter „Nano2Life“ und „Frontiers“ wurden wesentlich durch Aktivitäten aus Münster vorbereitet und erfolgreich umgesetzt. Münster hat sich auf europäischer Ebene zu einem international sichtbaren Knoten für die Nanotechnologie, insbesondere für Nanobiotechnologie und Nanoanalytik, entwickelt. Zahlreiche hochkarätige Wissenschaftler werden aufgrund der soliden Plattform und der Ausstattung nach Münster eingeladen und sind ihrerseits Multiplikatoren für die Forschung, aber darüber hinaus auch für die Stadt Münster in aller Welt. Diese Broschüre gibt an ausgewählten Beispielen einen Überblick über die vielfältigen Aktivitäten in der Nanotechnologie.

Ihr

Prof. Dr. Harald Fuchs

Wissenschaftlicher Leiter

des Zentrums für Nanotechnologie (CeNTech)

Direktor des Physikalischen Instituts der

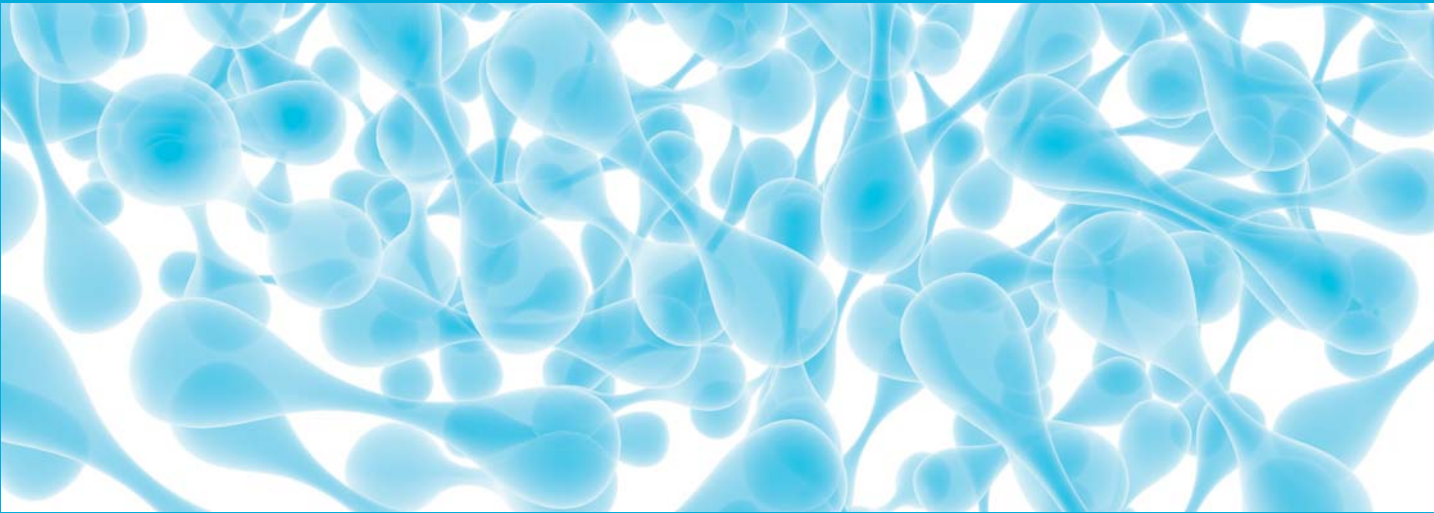
Westfälischen Wilhelms-Universität Münster

Eine starke Region

Die Erfolgsgeschichte der Nanowissenschaften in Münster beginnt im Jahr 1993. Seither werden zur Stärkung der Nanowissenschaften Neuberufungen von Professoren innerhalb der naturwissenschaftlichen Fakultät der WWU abgestimmt. Ausgangspunkt war eine langjährige Tradition in der physikalischen Methodenentwicklung, die sich für die Analytik im Nanometerbereich und darunter eignet. Mit ihrer Hilfe entstand ein weltweit sichtbarer Forschungsschwerpunkt. 1998 gründeten die Universität, die Stadt und das Land Nordrhein-Westfalen ein besonderes außeruniversitäres Forschungszentrum: das CeNTech. Fünf Jahre später wurde ein moderner Neubau eröffnet. Auf einem Drittel der Fläche beherbergt er junge Start-up-Firmen, stellt ihnen Büros, Labore und Technik zur Verfügung. Mittlerweile wird die Erweiterung des CeNTech erforderlich, denn die vielen etablierten Forschergruppen und sechs Nachwuchsgruppen (davon fünf mit eigener Finanzierung) benötigen zusätzliche Räume und Geräte. Baubeginn war im Sommer 2010. Schon bald wird ein weiteres Gebäude, das Nanobiozentrum, folgen, in dem kleine und mittelständische Unternehmen forschen.

Die CeNTech GmbH als Trägergesellschaft unterstützt den Technologietransfer, beispielsweise durch Patentanmeldungen und Lizenzvergaben. In der Folge hatte diese Public-Private-Partnership nicht nur eine Vielzahl von Industriekooperationen auf nationaler und europäischer Ebene zur Folge, sondern trug auch dazu bei, eine Reihe von ausgezeichneten jüngeren Wissenschaftlern nach Münster zu holen. Überdurchschnittlich viele Auszeichnungen, hohe Drittmiteinnahmen und zahlreiche Berufungen auf Lehrstühle haben dieses Konzept bestätigt.

Bis heute hat das CeNTech seinen modellhaften Charakter als gemeinsame Institution der Wirtschaftsförderung der Stadt Münster und der Universität nicht nur erhalten, sondern auch ausgebaut. Hier arbeiten Physiker, Chemiker, Biologen und Medizinphysiker zusammen, um die Ergebnisse ihrer Grundlagenforschung möglichst rasch in anwendbare Konzepte umzusetzen. Das Gebäude ist dafür optimal



ausgestattet. Über das CeNTech wurde außerdem die Kooperation der Universität mit der Wirtschaftsförderung der Stadt Münster vertieft. Die enge Diskussion mit den verschiedenen Entscheidungsträgern zur Förderung der Hochtechnologie in der Initiative „Allianz für Wissenschaft“ wurde intensiviert. Kurze Wege und die enge Vernetzung zwischen Stadt und Universität erlauben es, gemeinsam die Strategie für zukünftige Technologiefelder effizient zu entwickeln. Ein ständiger Planungs- und Strategiekreis, der sich aus Vertretern der Stadt Münster und der universitären Forschung sowie der Fachhochschule Münster zusammensetzt, gestattet den engen Informationsaustausch und gemeinsame Planung zum Beispiel in der Nanobioanalytik. Die Ziele werden in enger Zusammenarbeit mit der Wirtschaftsförderung umgesetzt.

Die räumliche Nähe zum Universitätsklinikum, zum Zentrum für Molekularbiologie der Entzündungen sowie zum Max-Planck-Institut für molekulare Biomedizin erlaubt die sehr enge Kooperation mit vielen Forschergruppen im CeNTech beziehungsweise an der Universität. Darüber hinaus reichende Phänomene, wie zum Beispiel der hierarchischen Musterbildung werden in gemeinsamer Arbeit mit dem Zentrum für nichtlineare Wissenschaften (CENOS) erforscht.

Der Technologietransfer ist jedoch keine rein wissenschaftliche Aufgabe, sondern er benötigt ebenso effizientes Marketing. Dieses Feld wird hervorragend durch das Institut für Anlagen und Systemtechnologien (IAS) abgedeckt. Interkulturelle Fragen der Forschungsk Kooperation werden durch das Institut für Betriebswirtschaftliches Management, Fragen der Ethik durch das Philosophische Seminar der Universität betreut. Insgesamt ergibt sich in der Stadt ein hervorragend funktionierendes Netzwerk, das komplexe Probleme des Technologietransfers, aber auch gesellschaftsrelevante Fragen kompetent beantwortet.

Das CeNTech: Ein Zentrum mit internationaler Ausstrahlungskraft

Um die vielfältigen Chancen der nanotechnologischen Forschung zu nutzen, geht man in Münster neue Wege

Eingebettet in ein dichtes Netz aus Hochschulen und Forschungsinstituten bietet es Forschergruppen aus der Physik, Chemie, Biologie und Medizin sowie jungen Firmen ideale Voraussetzungen, um die Ergebnisse aus der Wissenschaft schnell in neue Produkte und Anwendungen zu transferieren. Die Schwerpunkte liegen auf der Optimierung von Rastersonden- und optischen Mikroskopietechniken, auf neuen Materialien mit nanoskaligen Strukturen, Entwicklung von Nanopartikeln und Nanocontainern für biomedizinische Anwendungen und auf der Erforschung biophysikalischer Effekte, insbesondere von Prozessen innerhalb und zwischen Zellen.

Viel mehr als ein Speziallabor

Auf 2.400 Quadratmetern finden die Forscher gut ausgestattete Büros und besondere Labore vor, die

den spezifischen Anforderungen der Nanotechnologie entsprechen. Dazu gehören beispielsweise schwingungsfreie Fundamente, Reinräume und ein umfangreicher Gerätepark. Doch CeNTech ist viel mehr als ein Speziallabor. Dort treffen Forscher und Wirtschaftsunternehmen aufeinander. Diese Kombination aus wissenschaftlicher Exzellenz und unternehmerischem Denken beschleunigt den Transfer in marktfähige Anwendungen.

Träger des Zentrums ist die CeNTech GmbH. Sie hat es sich zur Aufgabe gemacht, eine effektive Plattform für den Austausch zwischen Wissenschaftlern und Industriepartnern zu schaffen. Sie stellt den Firmen aus der Nanotechnologie, Oberflächentechnik und Nanobiotechnologie nicht nur Räumlichkeiten zur Verfügung, sondern stärkt auch die kommerziellen Kooperationen. Ausgründungen werden in den ersten Jahren begleitet und mit fachlichem Wissen unterstützt. Außerdem koordiniert die CeNTech GmbH die Anmeldung und Verwertung von nanotechnologischen Patenten aus der Universität Münster. Seit der Gründung des Zentrums wurden



Das Zentrum für Nanotechnologie in Münster

bereits 23 Patente angemeldet. Die nachfolgenden Lizenzierungen und Patentverkäufe in die Industrie verdeutlichen das Interesse. Einen weiteren Schub wird das Konzept durch das Ende 2011 zur Verfügung stehende Erweiterungsgebäude erhalten. Finanziert wird es aus Mitteln des Landes Nordrhein-Westfalen und des Bundes.

Nanobioanalytik als Zukunftsfeld

Die CeNTech GmbH ist eine Tochter der Technologieförderung Münster GmbH und auf diese Weise sehr stark in die Entwicklung der Region eingebunden. Insbesondere die Nanobioanalytik gilt als eines von drei Zukunftsfeldern der Wissenschaftsregion Münster. Dieser Bereich wird auch in den nächsten Jahren konsequent ausgebaut. Die zusätzlichen 1.800 Quadratmeter Nutzfläche im Erweiterungsgebäude werden ausschließlich durch die Nanowissenschaftler der Universität genutzt. Kleine und mittlere Unternehmen können sich im neuen Nanobioanalytik-Zentrum (NBZ) ansiedeln, das ihnen hervorragende Bedingungen bieten wird.

Die CeNTech GmbH übernimmt zudem Aufgaben im Standortmarketing. 2010 fand in Münster die sechste Auflage der europäischen Leitmesse Nano-Bio Europe statt. Das Hauptaugenmerk der Veranstaltung, an der mehr als 250 Vertreter aus Wissenschaft und Wirtschaft teilnahmen, konzentrierte sich auf medizinische Anwendungen der Nanotechnologie. Die Teilnahme an Marketingprojekten, mit denen das Bundesforschungsministerium die Nanotechnologien förderte, unterstützte diese Profilierung. So wurden die Münsteraner Kompetenzen auch auf den großen internationalen Fachmessen in Tokio, Moskau und Boston präsentiert.

Kompetenz spricht sich herum

Darüber hinaus unterstützt die CeNTech GmbH alle Bemühungen, die Nanoforschung aus Münster regional bis international zu vernetzen. Dazu gehören EU-Projekte wie Nano-to-Life, Frontiers oder Nano-for-Market. Die Kompetenz der

Dr. Thomas Robbers

Dr. Holger Winter

CeNTech GmbH

Heisenbergstraße 11, 48149 Münster

Tel: 0251/53406-100

E-Mail: office@centech.de

Trägersgesellschaft hat sich bis nach Düsseldorf herumgesprochen: Das nordrhein-westfälische Innovationsministerium beauftragte die CeNTech GmbH als Führer eines Konsortiums mit der Durchführung des Technologieclusters „NanoMikro+Werkstoffe. NRW“. Dabei geht es um die Schaffung eines innovationsfördernden Umfeldes in Nordrhein-Westfalen, um die Stärkung von Wissenschaft und Wirtschaft gleichermaßen und eine Profilierung Nordrhein-Westfalens nach innen und nach außen. Die enge Zusammenarbeit aller am Technologietransfer beteiligten Partner verleiht der Region neue Impulse. Die Weiterbildung spielt dabei eine wichtige Rolle: In regelmäßigen Abständen werden Workshops, Masterkurse oder akademische Summer Schools für Studenten angeboten.



Dr. Thomas Robbers ist Volkswirt und seit 2006 Geschäftsführer der CeNTech GmbH. Außerdem leitet er die Wirtschaftsförderung Münster GmbH und die Technologieförderung Münster GmbH.

„Tiefgang und Vielfalt in einer einzigartigen Mischung“



Professor Harald Fuchs und Professorin Lifeng Chi

Die Nanoregion Münster ist ein Vorbild für fruchtbare Kooperation. Besonders eng sind die Verbindungen ins Reich der Mitte. Im Gespräch verraten Professor Lifeng Chi und Professor Harald Fuchs, welche Strategie zum Erfolg führte und wie sich beharrlicher Einsatz auszahlt

Welche Impulse gehen von Münster aus?

Professor Harald Fuchs: Die Münstersche Nanoregion hat sich in den zurückliegenden Jahren enorm entwickelt. Zunächst lag der Schwerpunkt auf der Nanoanalytik. Ganze Lehrstühle haben sich daran beteiligt, neue Methoden und Geräte zu entwickeln, um immer tiefer in die Geheimnisse der verborgenen Welt der Atome und Moleküle vorzudringen. Dort lauert ein eigenes Universum, dessen Erforschung ständig neue spannende Erkenntnisse bringt. Meist sind es quantenmechanische und spezielle chemische Effekte, die es zu ergründen gilt. Nun geht es zunehmend darum, die Erkenntnisse für neue Anwendungen und Produkte zu nutzen, sei es in der Medizin, in der Elektronik oder in neuen Materialien. In den letzten Jahren wurden die nanoanalytisch tätigen Gruppen durch eine zahlenmäßig ebenso starke Gruppe von Forschern im Bereich der Nano-(bio-)Materialien ergänzt, so dass heute weit über zwanzig Lehrstühle in Münster mit der Thematik ‚nano‘ verbunden sind, verteilt über die naturwissenschaftli-

chen Fächer und die Medizin. Die Nanoregion Münster bietet so eine einzigartige Breite an interdisziplinären Forschergruppen, Instituten und Firmen, die jede für sich sehr tief in die jeweilige Thematik eindringen.

Professor Lifeng Chi: Die Nanoanalytik ist in Münster sehr stark, das hat sich bis nach China herumgesprochen. Viele Forscher aus der Physik, der Chemie, der Biologie und der Medizin sind gut miteinander vernetzt und arbeiten sehr effektiv zusammen. Früher waren die Nanomaterialien noch nicht so stark vertreten wie heute. Auch die Erforschung von Selbstorganisation ist in Münster ein starkes Forschungsgebiet, das sich sehr gut mit biologisch orientierten Gruppen und nichtlinearer Physik verknüpfen lässt.

Professor Harald Fuchs: Diese neuen Themen brauchen nicht nur eine exzellente experimentelle Ausstattung. Dazu benötigt man hervorragende Theoretiker, um die Ergebnisse aus den Experimenten interpretieren zu können. Das ist ein weiterer Vorzug der Münsteraner Nanoregion.

Wie organisieren Sie die Kooperation der vielen Gruppen und Akteure?

Professor Harald Fuchs: In einer frühen Phase, vor über zehn Jahren, haben wir ein Kompetenzzentrum des Bundesforschungsministeriums installiert, das einige Jahre später in das Zentrum für Nanotechnologie, dem CeNTech, mündete. Es ist eine bundesweit einmalige Form einer engen Kooperation zwischen Universität und Stadt, ein echtes Vorbild. Im CeNTech arbeiten Forscher aus der Universität und Firmen im gleichen Haus – eine besonders anregende und wissenschaftlich befruchtende Umgebung. Auf diese Weise können wir die Resultate aus der Grundlagenforschung schnell in neue Verfahren oder wirtschaftliche Produkte umsetzen. Dadurch sind wir auch in der Lage, unsere einzigartige apparative Basis jederzeit im Zusammenspiel mit unseren materialorientierten Kollegen weiterzuentwickeln. Bislang sind im CeNTech acht Start-up-Firmen untergebracht. Zahl-

reiche Firmen haben sich im Umfeld angesiedelt. Die Patentverwertung wird über die eigens gegründete CeNTech GmbH abgewickelt. Sieben Jahre Aufbauarbeit seit 2003 haben sich gelohnt und tragen nun ihre Früchte.

Ist CeNTech der Kern der Nanoregion?

Professor Harald Fuchs: Sicher! Mit dem Zentrum ist es uns gelungen, eine neue Struktur zwischen der Stadt Münster und der Universität zu schaffen, wie es sie vorher nicht gab. Die Stadt hatte das Ziel, möglichst viele Hightech-Arbeitsplätze nach Münster zu holen. Die Universität brauchte geeignete

Kapazitäten für die interdisziplinäre Forschung. Ohne das gemeinsame Engagement des Landes NRW, der Stadt Münster und der Westfälischen Wilhelms-Universität wären wir kaum so weit gekommen. Der damalige und der heutige Bürgermeister – beide haben unser Projekt immer voll unterstützt. So sieht eine fruchtbare Kooperation aus. Dass sie fruchtbar ist, zeigt neben zahlreichen Patentanmeldungen und wissenschaftlichen Auszeichnungen der CeNTech-Erweiterungsbau, der im Sommer 2010 begonnen wurde und den wir mittlerweile dringend brauchen. Denn das bisherige CeNTech-Gebäude wird nach sieben Jahren Betriebszeit bereits zu eng.

Ein Webstuhl für winzige Muster

Aus den Eigenschaften der einzelnen Atome, Moleküle und Stoffe entstehen Muster, die sich selbst organisieren und zusammenfügen. Diese Selbstorganisationsfähigkeit nutzt die Forschergruppe um Professor Lifeng Chi aus, um nanostrukturierte Oberflächen zu erzeugen, die vergrößert oft den Eindruck gewebter Textilien vermitteln. Sie werden sozusagen maßgeschneidert. Dabei sind die Maschen sehr klein: nur wenige Millionstel bis einige Tausendstel Millimeter.

Einerseits konstruieren die Forscher winzige molekulare Morphologien, indem sie bestimmte Eigenschaften von organischem Material gezielt ausnutzen. Andererseits wollen sie die Zusammensetzung und die Ausrichtung der Moleküle beeinflussen. Deshalb arbeiten erfahrene Chemiker mit, die zur Gruppe von Professor Gerhard Erker gehören.

Prof. Dr. Lifeng Chi

Physikalisches Institut/CeNTech
Westfälische Wilhelms-Universität Münster,
Wilhelm-Klemm-Straße 10, 48149 Münster
Telefon: 0251/83-33651
E-Mail: chi@uni-muenster.de



Die Forschung braucht viel Fingerspitzengefühl.

Das Ziel sind neue Methoden, um Moleküle so zu organisieren und zu strukturieren, dass sie neue elektrische und optische Eigenschaften aufweisen. Zum Verständnis der Musterbildung bestehen enge Verbindungen zu den theoretischen Arbeitsgruppen von Professor Rudolf Friedrich und Professor Andreas Heuer.

Prof. Dr. Gerhard Erker

Organisch-Chemisches Institut
Westfälische Wilhelms-Universität Münster,
Correnstraße 40, 48149 Münster
Telefon: 0251/83-33221
E-Mail: erker@uni-muenster.de

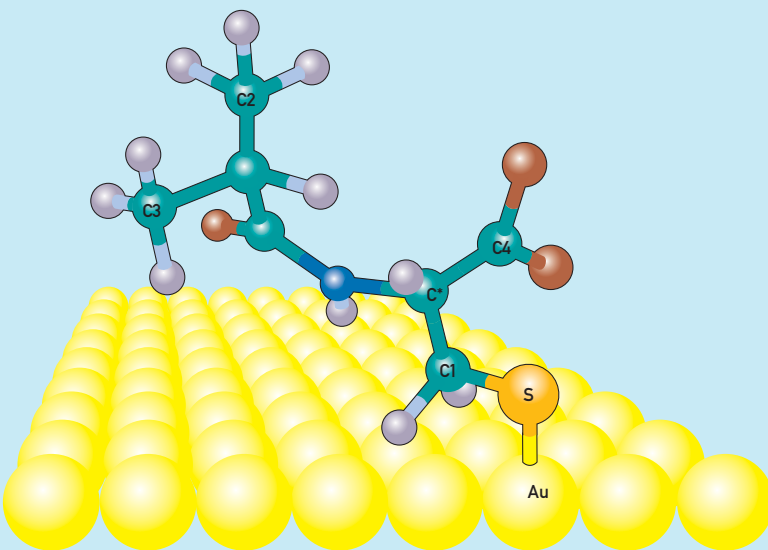
Inspiziert durch die Natur

Bei der Erforschung neuer Materialien für die Medizin nehmen sich die Wissenschaftler die Natur zum Vorbild. Denn natürliche biologische Systeme haben sich im Laufe vieler Jahrmillionen in der strengen Auslese der Evolution entwickelt, wurden stets aufs Neue überprüft und angepasst. Aus diesen Prozessen zu lernen, kann die Entwicklung neuer Materialien inspirieren und voranbringen.

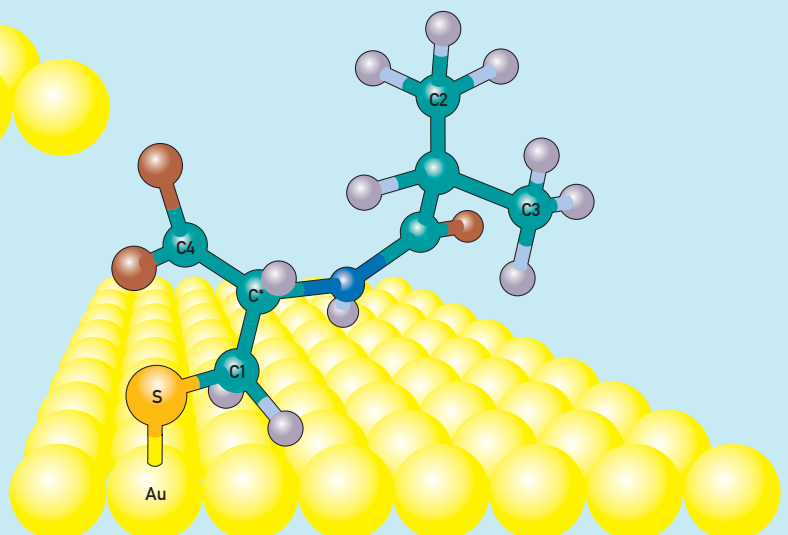
Ein wesentlicher Punkt ist die Erforschung der Effekte, die sich auf atomarer Ebene zwischen verschiedenen Biomaterialien einstellen. In der Natur spielt die feine Strukturierung von Oberflächen, die Besiedlung mit Zellen oder biochemischen Molekülen oft eine größere Rolle, als die Eigenschaften der

Zellen und Gewebe an sich. Ein Beispiel bietet die Lotos-Pflanze, deren schuppenartige Oberfläche auf den Blättern erst unterm Mikroskop sichtbar wird. Dadurch perlen Wasser und Schmutz von der Pflanze ab. Die Wissenschaftler um Dr. Taolei Sun haben diesen Effekt studiert, um ihn zur Benetzung und Befuchtung von funktionellen Oberflächen zu nutzen. Der Effekt lässt sich auch nutzen, um immunologische und andere Abstoßungsreaktionen von lebendem Gewebe zu reduzieren. Das ist wichtig für neue Anwendungen in der Biomedizin.

Ein Schwerpunkt sind die bevorzugte Ausrichtung von chiralen Molekülen, von denen stets zwei Varianten auftreten, ähnlich zwei Händen: rechts und links. Von chiralen Molekülen gibt es in der Natur zwei Anordnungen, die sich chemisch gleichen, aber als Spiegelbild voneinander angeordnet sind. Die so genannte Chiralität der Biomoleküle ist nicht selten wichtig, um einen gewünschten Effekt zu erzielen. Denn beide Moleküle können beispielsweise in der Medizin völlig unterschiedliche Wirkungen hervorrufen.



Die beiden Grafiken zeigen chirale Biomoleküle auf einem Goldsubstrat.



Wie viele Wissenschaftler sind in der Nanotechnologie in und um Münster tätig?

Professor Lifeng Chi: Allein im CeNTech sind es rund hundert Wissenschaftler. In der gesamten Region dürften es bis zu dreihundert sein. Dabei rede ich von hochqualifizierten Arbeitsplätzen in Forschung und Entwicklung. In den Firmen dürften es weitere fünfhundert sein.

Zwischen Münster und verschiedenen Hochschulen in China gibt es besonders enge Kontakte. Wie schaffen Sie es, über Kontinente hinweg gemeinsam zu forschen und zu lehren?

Professor Lifeng Chi: Mitte der neunziger Jahre begannen wir die ersten Projekte, meist in Form von persönlichen Kontakten zwischen Professoren. Ende der neunziger Jahre machte die Nanotechnologie einen enormen Sprung nach vorn. Damit stieg die weltweite Vernetzung der Forschergruppen stark an. Ab der Jahrtausendwende wurden unsere China-Projekte vom Land Nordrhein-Westfalen unterstützt, für fünf Jahre. Mittlerweile haben wir in Münster den ersten transkontinentalen Sonderforschungsbereich TRR 61, den die Deutsche Forschungsgemeinschaft eingerichtet hat. Der Transregio wird von der DFG und von deren Pendant, der National Science Foundation of China (NSFC), finanziert.

Professor Harald Fuchs: Als ich im Jahr 1982 auf dem Gebiet der Nanotechnologie promoviert habe, gab es in ganz Deutschland nur zwei bis drei Forschergruppen, die in diesem Themenfeld tätig waren. Seit 1993 bin ich in Münster, schon damals begannen wir mit dem Austausch von Doktoranden und Postdocs nach China.

Wie läuft die Zusammenarbeit heute ab?

Professor Harald Fuchs: Wissenschaft wird in erster Linie durch engagierte Menschen gemacht. Deshalb steht der Austausch von Forschern an erster Stelle, übrigens nicht nur nach China. Wir haben enge Verbindungen zum Beispiel nach Indien, in die Vereinigten Staaten, nach Japan, Singapur, Brasilien,

Kuba, Korea und Argentinien. Wir halten routinemäßig Videokonferenzen im Rahmen von Vorlesungen, Seminaren und Besprechungen, unter anderem mit Hochschulen in Südkorea, Brasilien und China.

Professor Lifeng Chi: Ich bin Professorin in Münster und zugleich an der Jilin-Universität in Changchun. Ich habe hier und dort eine eigene Arbeitsgruppe. In meiner Gruppe hier sind elf Doktoranden und Postdocs. Mein Kollege Taolei Sun, der mit dem Sofia-Kovalevskaja-Preis der Humboldtstiftung ausgezeichnet wurde, konnte eine eigene Nachwuchsgruppe im CeNTech aufbauen. So nehmen rund zwei Dutzend Wissenschaftler am regelmäßigen Austausch zwischen den deutschen und den chinesischen Gruppen teil.

Das bedeutet, Sie verbringen das halbe Jahr in Deutschland und das halbe Jahr in Asien ...

Professor Lifeng Chi: Das geht so weit, dass wir mit chinesischen Kollegen in einer Videokonferenz diskutieren, wie bestimmte Messergebnisse von chinesischen Materialproben hier in Münster zu bewerten sind. Da spielt die räumliche Entfernung überhaupt keine Rolle mehr. Mit Hilfe der Videotechnik veranstalten wir gemeinsame Seminare der Forschergruppen. In der Summe bin ich also zirka zwei Monate pro Jahr in China. Drei Viertel des Jahres arbeite und lebe ich in Münster.

Professor Harald Fuchs: Ich reise etwa zwei- bis dreimal pro Jahr zu kürzeren Aufenthalten nach China. Durch die moderne Technik sind wir auch auf andere Weise „mobil“. Wichtig ist zunächst der persönliche Kontakt. Danach lässt sich vieles über moderne Medien und das Internet machen. Sechs bis acht Mal im Jahr bin ich unterwegs, um internationale Kongresse zu besuchen oder mit den Studenten an unseren Partneruniversitäten zu arbeiten. Ich kehre natürlich immer wieder gerne nach Münster zurück, nicht nur wegen der ausgezeichneten wissenschaftlichen Umgebung, sondern auch weil es sich hier sehr angenehm leben lässt.

Das Gespräch führte Heiko Schwarzburger.

TRR 61: Ein Pilotprojekt mit Vorbildcharakter

Der Transfer von Wissen ist keine Einbahnstraße. Das beweist die neue chinesisch-deutsche Forschungskooperation

Schon einige Jahre währt der Austausch von Forschern aus der Nanophysik und Nanochemie zwischen Münster und Universitäten in China. Nun gelang es Professor Harald Fuchs, Professor Lifeng Chi und Professor Xi Zhang, diese erfolgreiche Kooperation auf eine langfristige Basis zu stellen: 2008

beschlossen die Deutsche Forschungsgemeinschaft und ihr chinesisches Pendant, die National Natural Science Foundation of China (NSFC), die gemeinsamen Forschungen für eine erste vierjährige Periode finanziell zu unterstützen. Die Wissenschaftler wollen die Eigenschaften molekularer Assemblate und anderer Nanoobjekte systematisch untersuchen. Im ersten transkontinentalen deutsch-chinesischen Sonderforschungsbereich „Hierarchisch aufgebaute molekulare Assemblate: Struktur, Dynamik und Funktion“ (Transregio 61) arbeiten seit Juli 2008

mehr als 90 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in 21 Projekten. Auf deutscher Seite stellt die Deutsche Forschungsgemeinschaft bis 2012 rund sechs Millionen Euro zur Verfügung. Im Gegenzug werden die chinesischen Forscher von der NSFC unterstützt.

Gebündelte Expertise

Physiker, Chemiker und Biologen renommierter chinesischer und Münsteraner Arbeitsgruppen bündeln ihre Expertise, um ungelöste Probleme bei molekularen Assemblaten und ihr großes technologisches Potenzial zu erforschen. In der ersten Projektphase geht es um die grundlegenden Mechanismen molekularer Systeme, insbesondere um multiple Wechselwirkung, kooperative Effekte und das dynamische Verhalten bei der Selbstorganisation von Molekülen. Längerfristig ist es das Ziel der Forscher, die Eigenschaften und Funktionen molekularer Assemblate zu verstehen und zu kontrollieren. Die Wissenschaftler stellen molekulare Materialien mit maßgeschneiderten elektronischen, optischen und sensorischen Eigenschaften her, die aufgrund ihrer Struktur und ihres kollektiven Verhaltens komplexe Funktionen erfüllen. Das können einzelne oder ungeordnete Moleküle nicht. Konkrete Ziele sind:





Symposium der Forschergruppen des Transregio 61 in Münster

- >> die Verbesserung von funktionalen Systemen durch Optimierung der Ladungsträgermobilität, des molekularen Transportes und der optischen spektralen Abstimmung bezüglich Emission, Absorption und Polarisation,
- >> Erzeugen von schaltbaren und responsiven Materialien, die in der Lage sind, Form, elektrooptische Eigenschaften, Benetzbarkeit und Bindungseigenschaften durch externe Stimuli zu verändern, sowie die Konstruktion von Biohybridsystemen für biokompatible Oberflächen und empfindliche Biosensoren.

Drei Cluster definiert

Zur Umsetzung der Ideen wurden drei Cluster definiert: In Cluster A werden die chemischen Eigenschaften der Assemblate in der gelösten Phase untersucht. Cluster B widmet sich komplexen Assemblaten an Grenzflächen und Oberflächen. Cluster C hat seinen Schwerpunkt auf biohybriden Assemblaten. Viele der 21 Projekte arbeiten Hand in Hand mit

Partnern aus Peking. Andere werden entweder von einem chinesischen oder einem deutschen Wissenschaftler geleitet.

Zudem bietet der Transregio 61 ein intensives Austauschprogramm. Nicht nur die Projektleiter haben die Möglichkeit, das Partnerland zu besuchen. Auch jeder der rund 50 Doktoranden kann bis zu drei Monate bei einem Kooperationspartner seine Kenntnisse vertiefen und den Transfer von Wissen beleben – in beide Richtungen.

Prof. Dr. Harald Fuchs

Sprecher Sonderforschungsbereich/Transregio 61

Dr. Hedwig Roderfeld

Projektmanagerin im SFB/TRR 61

Physikalisches Institut

Westfälische Wilhelms-Universität Münster

Wilhelm-Klemm-Straße 10, 48149 Münster

Telefon: 0251/83-36303

E-Mail: roderfe@uni-muenster.de

Zehn Jahre erfolgreiche Aufbauarbeit

Heute ist Münster ein Schwergewicht in der europäischen Nanobiotechnologie. Dazu bedurfte es eines langen Atems

Vor zehn Jahren haben sich weit blickende Forscher und Firmen entschlossen, in der Region Münster ein bundesweit einzigartiges Netzwerk der Nanobiotechnologie zu schaffen. Unterstützt von der Stadt und den Kammern, wurde im Jahr 2000 mit der Boston Consulting Group ein Konzept erarbeitet und die Gesellschaft für Bioanalytik Münster e. V. gegründet. Seitdem fungiert der Verein als Informationsplattform für alle Akteure, die Forschung und Entwicklung in der Nanobiotechnologie vorantreiben und für die wirtschaftliche Entwicklung der Region nutzen.

Die Nanobiotechnologie ist ein sehr interdisziplinäres Forschungsfeld. In ihr verschmelzen Erkenntnisse aus der Physik, Chemie und Ingenieurwissenschaften mit der Biologie und Medizin. Die Innovationen auf der Nanoskala der Atome und Moleküle machen sie zur Schlüsseltechnologie für viele Branchen – von den Lebenswissenschaften über die Medizin bis zum Umweltschutz.

Eine komplexe Sache

Nanobiotechnologie ist sehr komplex. Will man sie nutzbar machen, besteht eine große Herausforderung darin, die „Nanowelt“ und „Biowelt“ miteinander zu vernetzen. Physiker und Chemiker müssen mit Biologen und Medizinern ins Gespräch kommen, um ihre Erkenntnisse und Methoden in die jeweils andere „Welt“ zu transferieren. Nur dann sind gemeinsame Forschung und Entwicklung möglich. Außerdem muss man die Forscher und die Anwender der Nanobiotechnologie vernetzen, damit neue Ideen und der Bedarf an konkreten Lösungen Hand in Hand gehen. Beide Netzwerke, die eng miteinander verwoben sind, brauchen eine hervorragende Infrastruktur, um ihre Innovationen zu entwickeln und kommerziell umzusetzen. Um diese Aufgaben zu meistern, muss man Cluster aufbauen, um die erforderliche Nähe und Exzellenz zwischen Experten, Instituten und Firmen zu gestalten. Die Region Münster hat vor zehn Jahren begonnen, Strukturen für ein europaweit einzigartiges Cluster in der

Nanobioanalytik aufzubauen. Meilensteine dieser Entwicklung waren:

- >> Teilnahme am BioProfile-Wettbewerb des Bundesforschungsministeriums, bei dem ein langfristiges Konzept für die Nanobiotechnologie in Münster entstand,
- >> Gründung des Vereins Bioanalytik Münster e.V. zur Umsetzung des Konzepts und zum Aufbau des regionalen Netzwerks bestehend aus Forschern, Firmen und öffentlichen Unterstützern,
- >> Investitionen in Gebäude und Infrastruktur wie Technologiepark, Zentrum für Nanotechnologie (CeNTech) und Biotechnologiezentrum,
- >> Mitgliedschaften in Netzwerken wie dem Arbeitskreis der BioRegionen Nordrhein-Westfalen, dem europäischen Netzwerken Nano-to-Life, Frontiers und dem Clustermanagement Nano/Mikro-Werkstoffe, NRW.

Diese Maßnahmen und Investitionen schufen ein institutionelles und infrastrukturelles Umfeld, das besonders für innovative Unternehmen den Zugang zum wissenschaftlichen Erfahrungsschatz der regionalen Forschungsinstitute erleichtert. Darüber hinaus konnte sich der Verein Bioanalytik Münster eng mit nationalen und europäischen Clustern vernetzen. Auf diese Weise erhalten die Unternehmer und Forscher der Region die Chance, mit internationalen Partnern zu kooperieren und sich an länderübergreifenden Projekten zu beteiligen. Der eindeutige Schwerpunkt auf der Nanobiotechnologie ließ ein nicht kopierbares Umfeld entstehen, das Unternehmen an die Region bindet und ausländische Investitionen in junge Firmen fördert.

Die gesamte Kette der Wertschöpfung

Solche Cluster sind nur erfolgreich, wenn sie die gesamte Wertschöpfungskette abdecken. In der Erforschung der Grundlagen bedarf es einer hohen wissenschaftlichen Exzellenz. Das betrifft die Nanobioanalytik, die Biomedizin und klinische Forschungen. In Münster gibt es allein in der Biomedizin solche herausragenden Institute wie das Max-Planck-Institut für molekulare Biomedizin, das Zentrum für Molekularbiologie der Entzündung und das Europäische Institut für molekulare Bildgebung. Für klinische Forschungen bietet das Universitätsklinikum



Frontansicht des neuen Nanobioanalytik-Zentrums in Münster

ausgezeichnete Möglichkeiten. Die Nanoanalytik ist ausgesprochen stark im CeNTech und an den physikalischen, chemischen und ingenieurwissenschaftlichen Instituten von Universität und Fachhochschule vertreten. Diese Dichte und Vielfalt sucht bundesweit ihresgleichen. Sie bildet die Basis für die Ausstrahlung der Nanoregion Münster auf ganz Europa.

Ganz neu: Zentrum für Nanobioanalytik

Doch die wissenschaftliche Expertise ist nur eine Seite der Medaille. Sie benötigt geeignete Partner in der Wirtschaft, also Unternehmen, die wissenschaftliche Erkenntnisse mitgestalten und in anwendungsfähige Produkte und technische Lösungen bringen. In der Region Münster sind mehr als 30 Unternehmen mit mehr als 1.000 Arbeitsplätzen speziell in der Nanobiotechnologie tätig. Ihr Schwerpunkt liegt meist auf analytischen und diagnostischen Produkten und Dienstleistungen.

Dem Ausbau dieser fruchtbaren wirtschaftlichen Struktur dient auch das jüngste Infrastrukturprojekt,

das Nanobioanalytik-Zentrum für kleine und mittelständische Unternehmen. Es trägt dem Umstand Rechnung, dass die Nanobiotechnologie erhebliche Investitionen erfordert.

Die marktfähige Anpassung analytischer Geräte und Methoden an neuartige biologische und medizinische Materialien erfordert völlig neue Geräte und Messmethoden. Das können gerade die kleineren Unternehmen nicht aus eigener Kraft stemmen. Deshalb werden die Kräfte im neuen Nanobioanalytik-Zentrum gebündelt. Denn es braucht eine spezielle Infrastruktur, die nanoanalytischen und biomedizinischen Anforderungen vollauf entspricht.

PD Dr. Klaus-Michael Weltring

Gesellschaft für Bioanalytik Münster e.V.

Technologiehof

Mendelstraße 1, 148149 Münster

Telefon: 0251/980-1212

E-Mail: weltring@bioanalytik-muenster.de

Aus dem Alltag kaum mehr wegzudenken

Nach fünfzig Jahren wird eine Vision von Richard Feynman Wirklichkeit. Doch die Nanotechnologie steht erst am Anfang

Unter Physikern gilt Richard Feynman als Legende. Vor fünfzig Jahren hielt der visionäre Forscher einen Vortrag, der Furore machte. Seine Kollegen von der American Physical Society staunten nicht schlecht. Denn Feynman beschrieb die Grundzüge einer neuen Technologie, die erst viele Jahre später unter dem Begriff Nanotechnologie bekannt werden sollte. Mittlerweile ist die Nanotechnologie weit verbreitet. Wissenschaftler, Wirtschaftskapitäne und Politiker setzen große Erwartungen in die neue Technik.

Fünfzig Jahre nach Feynmans Vortrag ist die Nanotechnologie aus dem Alltag kaum mehr wegzudenken. Nanomaterialien finden sich in Kosmetikprodukten, in schmutzabweisenden Oberflächen von Duschkabinen, auf Lebensmittelverpackungen, in den Windschutzscheiben von Automobilen, in Farben und Lacken, in Leuchtdioden (LEDs) oder elektronischen Geräten. Die kommenden Jahre werden im

Zeichen einer rasanten Entwicklung dieser jungen Wissenschaft stehen. Immer mehr innovative Anwendungen werden folgen.

Statt „größer, höher, weiter“ lautet das Motto der Nanotechnologie: „kleiner, schneller, effizienter“. In den volkswirtschaftlich bedeutenden Branchen wie Chemie, Elektronik, Medizin und der Energiewirtschaft leistet diese Wissenschaft wichtige Beiträge zur Wettbewerbsfähigkeit. Denn sie erlaubt innovative Prozesse und Produkte, schont die Ressourcen an Material und Energie. Der Markt für Nanomaterialien wird 2010 auf rund 2.1 Milliarden US-Dollar geschätzt.

43 Milliarden US-Dollar

Der Markt für nanotechnologische Werkzeuge wird 2010 auf 43 Milliarden Dollar beziffert. In der Medizin erwarten die Analysten von Ernest & Young, dass die Nanotechnologie bis 2021 allein im US-amerikanischen Gesundheitsmarkt mehr als 119 Milliarden Dollar im Jahr umsetzt. In der Energieerzeugung gilt Dünnschichtsolartechnik als besonders aussichtsreich. Dieser Markt könnte bis 2011 auf rund



Doktoranden nehmen an einer wissenschaftlichen Konferenz teil: David Große-Kathöfer, Irina Tiemann, Steffen Kanzler und Martin Kirchner (International Society for Professional Innovation Management).

2,5 Milliarden Euro wachsen. Bei den Energiespeichern – gleichfalls ein Feld der Nanotechnologie – wird eine ähnliche Größenordnung erwartet. Dieses Potenzial wurde von der Wissenschaft, dem Staat und der Wirtschaft früh erkannt. Der Vorstoß in die Dimension der Nanoteilchen und der Dimensionen zwischen den Atomen und Molekülen erfolgt durch die Erforschung der physikalischen und chemischen Grundlagen. Die Entwicklung und Markteinführung von Produkten geht damit Hand in Hand.

Universitäre Forschungsinstitute wurden 2009 mit öffentlichen Fördermitteln in Höhe von 441,2 Millionen Euro unterstützt. Bedeutende Chemiekonzerne wie BASF, Bayer oder Evonik geben für Forschung und Entwicklung in der Nanotechnologie viele hundert Millionen Euro aus. Allein die BASF investierte zwischen 2006 und 2008 etwa 180 Millionen Euro. Als Beispiele für erfolgreiche Kooperationen zwischen Universitäten und Unternehmen gelten die Kompetenzzentren für Nanoanalytik in Münster, für Nanooptik in Berlin, Nanochemie und Nanobiologie in Saarbrücken, Nanomaterialien in Stuttgart und das Netzwerk für Nanobiotechnologie in München.

Schwer planbarer Prozess

Um nanotechnologische Innovationen zu schaffen, die als marktreife Produkte oder Verfahren ganze Industriezweige revolutionieren können, sind vergleichsweise lange Phasen der Forschung und Entwicklung nötig. Der Übergang von der Grundlagenforschung zur Anwendung lässt sich nur schwer planen. Nicht immer ist abzusehen, wie lang dieser Prozess dauert oder ob er überhaupt erfolgreich verläuft. Diese Phase benötigt Zeit, Arbeitskraft und Kapital, Einkünfte werden kaum erzielt. Um das Potenzial der Nanotechnologie wirtschaftlich zu nutzen, ist das effiziente Management der Innovationen unabdingbar.

Seine Aufgabe ist es, neue Ideen von der Grundlagenforschung über die angewandte Forschung, Entwicklung und Produktion, bis zur Markteinführung zu begleiten. Es geht darum, den Innovationsprozess unter wirtschaftlichen Kriterien zu planen, zu kontrollieren und die wichtigsten Kennzahlen zur Leistungsmessung und Leistungsbewertung zu identifizieren. Hauptziel des Innovationsmanagements ist es, aus dem „magischen Dreieck“ von Aufwand, Zeit

und Ergebnis messbare Wettbewerbsvorteile gegenüber der Konkurrenz zu erzielen. Die Nanotechnologie ist vielseitig, in ihr treffen sich viele verschiedene Wissensgebiete. Deshalb spielen Kooperationen zwischen Wissenschaftlern und Unternehmen, zwischen Kunden, Lieferanten und Wettbewerbern eine wichtige Rolle. Kooperationen erlauben den Partnern, externes Wissen zu integrieren, Ressourcen und Risiken zu teilen, Entwicklungsprozesse zu verkürzen oder Marktzugang zu erhalten. Für zwei Drittel der deutschen Unternehmen in der Nanotechnologie spielen Kooperationen mit europäischen Partnern eine wichtige Rolle, während ca. ein Drittel Kooperationen mit nordamerikanischen und asiatischen Partnern als wichtig erachten.

Eine gemeinsame Sprache

Kooperationen sind immer mit erhöhten Transaktionskosten, steigender Komplexität und der Gefahr des Abflusses von kritischem Wissen verbunden. Auch dabei kann das Innovationsmanagements koordinierend und kontrollierend eingreifen. Finden Nanoforscher und Manager eine gemeinsame Sprache, wird die Entwicklung von innovativen Produkten und Prozessen erfolgreich sein.

So wird die Nanotechnologie zur Schlüsseltechnologie des wirtschaftlichen Wachstums, trägt sie zur langfristigen Sicherung des gesellschaftlichen Wohlstands bei. Um zum Abschluss einem weiteren Wissenschaftler das Wort zu geben: „Die Nanotechnologie wird unser Leben in nicht geringerem Maße revolutionieren, als es die Mikroelektronik im letzten halben Jahrhundert getan hat“, sagte der Physiker und Nobelpreisträger Heinrich Rohrer vor sieben Jahren. „Nur die, die sich jetzt engagieren, werden diejenigen sein, die die zukünftige Entwicklung bestimmen. Lasst uns diese Chance ergreifen!“

Prof. Dr. Jens Leker

Institut für Betriebswirtschaftliches Management
Westfälische Wilhelms-Universität Münster,
Leonardo-Campus 1, 48149 Münster
Telefon: 0251/83-31810
E-Mail: leker@uni-muenster.de

Von einem Problem zu seiner Lösung

Die Nanotechnologen in Münster bleiben nicht bei den Erfindungen stehen. Denn sie suchen den Weg in den Markt

Nanotechnologie ist eine Querschnittstechnologie und einer der wesentlichen Treiber für Innovationen in vielen Bereichen des Lebens. Dazu gehören die Medizin und Biologie, die Unterhaltungselektronik und Automatisierungstechnik, mobile Kommunikationsgeräte, Computer, Sensoren oder Autolacke. Die Forscher in der Nanotechnologie kennen sich in der fächerübergreifenden Kommunikation aus. Dennoch zeigt die Praxis, dass sie oftmals noch zu eng aufgestellt sind. Ihre Erfolge sind nicht nur abhängig von der technischen Überlegenheit gegenüber anderen Lösungen. Die Verbreitung der Technologie erfordert auch eine konsistente Konzeption zur Vermarktung. Andernfalls findet die Innovation nicht ihren Weg in den Markt. Beispiele dafür gibt es ge-

Das ist Innovation: von der Grundlagenidee zum Produkt

So einfach es erscheinen mag, gute Ideen in den Markt zu bringen, so komplex und steinig kann der Weg dorthin im Einzelfall sein. In Münster werden vernetzte Strategien angewandt, um diesen Weg zu ebnen. Den Start-up-Firmen stehen mehrere Einrichtungen innerhalb der Westfälischen Wilhelms-Universität und des Technologieparks beratend zur Seite. Hierzu gehören die Entwicklung von Businessplänen und die Beschaffung von Finanzmitteln. Auf der fachlichen Seite helfen das Center for Nanotechnology (CeNTech) als Inkubator für Nanofirmen mit der CeNTech GmbH und den bereits integrierten Firmen als technischer Ratgeber, Betreuung in Patentangelegenheiten und Mietflächen. Mit diesem Instrumentarium und der Allianz für Wissenschaft zwischen Universität und Stadt gelingt ein sowohl professioneller und weicher Start aus der Universität heraus, der Start in die Selbständigkeit, aber auch die Ansiedlung externer Firmen in der Münsteraner Nanowelt.

nug: So wurde der Scanner schon 1963 von der Siemens-Tochter Hell erfunden. In einen Markterfolg verwandelten diese Erfindung jedoch Anbieter aus Fernost und Amerika. Der MP3-Spieler wurde zwar in einem deutschen Fraunhofer-Institut entwickelt. Die Vermarktungserfolge streichen vorwiegend japanische Unternehmen ein. Mit anderen Worten: Die Erfinder denken vorwiegend an die Technik. Für den Markt muss die neue Technik aber in Nutzelemente übersetzt werden. Hier liegt ein strukturelles Defizit deutscher Technologieforschung.

Breiter Weg der Kooperation

Die Münsteraner Forscher in der Nanotechnologie beschreiten einen breiteren Weg der Kooperation. Durch die Gründung des CeNTech wurden die Wissenschaft und praktische Anwendung ihrer Ergebnisse technologisch zusammengeführt. Daneben existiert auch eine Kooperation zwischen der Forschung und dem Marketing Centrum Münster (MCM). Erste Ergebnisse sind bereits sichtbar. So wurden im Fachbereich Biochemie der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster die Grundlagen für das cellZscope entwickelt. Mit Hilfe dieses neuen Laborgerätes kann man bestimmte Eigenschaften von biologischen Zellen in vitro und automatisiert analysieren. Die Firma nanoAnalytics, ein Start-up im CeNTech, entwickelte das Gerät vom Prototypen zu einem marktreifen Produkt. Inzwischen wird es von nanoAnalytics produziert und weltweit vertrieben.

Eine integrierte Strategie fürs Marketing

Da es sich um ein Business-to-Business-Produkt handelt, lag es nahe, die Spezialisten des Instituts für Anlagen und Systemtechnologien (IAS) am MCM zu bitten, eine integrierte Marketingstrategie zu entwickeln. Beginnend mit der Definition und Abgrenzung des relevanten Marktes und einer umfassenden Analyse der Wettbewerbsvorteile wurde der Handlungsbedarf für eine erfolgreiche Vermarktung identifiziert. Diese Ansatzpunkte wurden durch Handlungsempfehlungen für die Produktpolitik, die Kommunikation, die Preisbildung und den Vertrieb konkretisiert. Professor Hans-Joachim Galla, der Geschäftsführende Direktor des Instituts für Biochemie, charakterisierte diese fächerübergreifende



Fruchtbare Kooperation zur Vermarktung wissenschaftlicher Erfindungen: Prof. Hans-Joachim Galla (Zweiter von links), Prof. Harald Fuchs (Bildmitte links), Prof. Klaus Backhaus (Mitte rechts), Dr. Boris Anczykowski (rechts) und Dr. Markus Schäfer (vorn).

Kooperation: „Es ist beeindruckend, dass interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Wissenschaftsdisziplinen so konkrete Ergebnisse liefern kann.“

Raus aus dem Elfenbeinturm

In Münster verlässt die Nanotechnologie den Elfenbeinturm der rein technologischen Forschung. Sie ist eines der drei Wissenschaftsgebiete, mit denen sich Münster als Wissenschaftsstadt profilieren möchte. Um zu erfahren, was die Bevölkerung im Münsterland mit dem Begriff „Nanotechnologie“ verbindet, hat das Institut für Anlagen und Systemtechnologien eine Befragung der Bevölkerung gestartet. Um die internationale Bekanntheit zu erhöhen, ist die „European School of Nanoscience and Nanotechnology“ gegründet worden. Neben Austauschprogrammen für Doktoranden sollen den Nachwuchsforschern in einem europäischen Verbund verschiedene Nanodisziplinen nahegebracht werden. Die „European School

of Nanoscience and Nanotechnology“ wird breit angelegt und über technologische Fragen auch ethische Fragen, sowie Fragen der Projektorganisation und Vermarktung aufnehmen. Die Initiatoren dieses Vorhabens, Professor Harald Fuchs und Professor Klaus Backhaus, werden diese Kooperation weiter ausbauen. Eine derart umfassende Sicht betrachtet nicht nur die Invention, sondern integriert auch die Markteinführung der Forschungsergebnisse. Das ermöglicht die weitere Profilierung der Nanotechnologie in Münster.

Prof. Dr. Dr. h.c. Klaus Backhaus
Marketing Centrum Münster
Westfälische Wilhelms-Universität Münster
Am Stadtgraben 13-15, 48143 Münster
Telefon: 0251/83-22861
E-Mail: backhaus@wiwi.uni-muenster.de

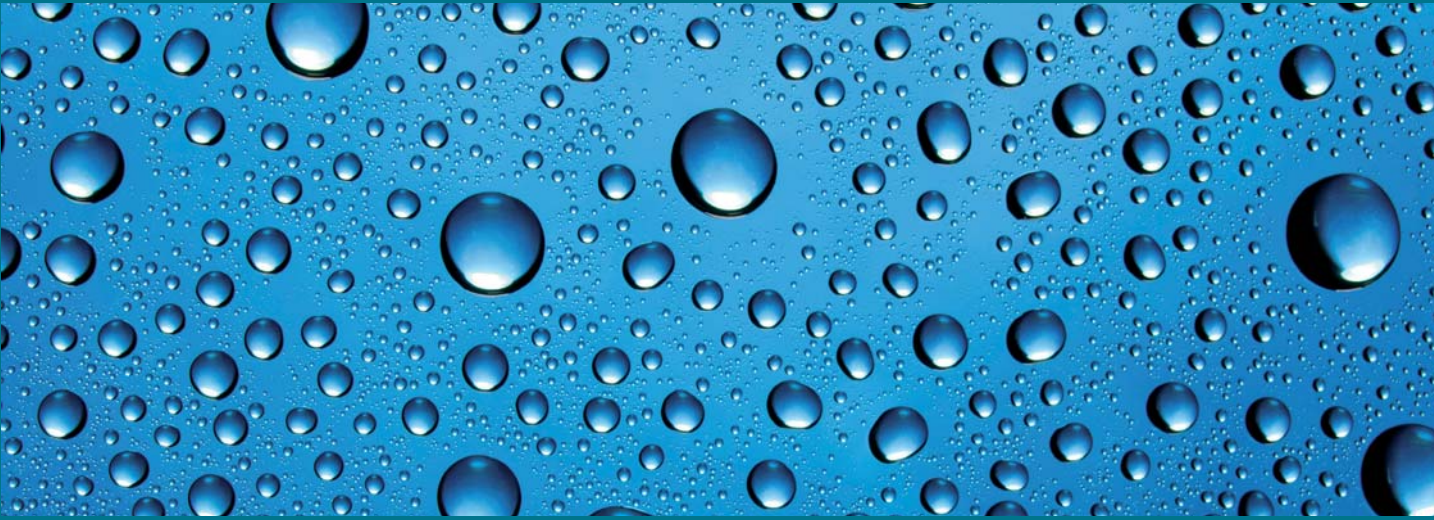


Nanomaterialien

Als Nanomaterialien bezeichnet man Stoffe, die aufgrund ihrer Nanoskaligkeit, das heißt Größe beziehungsweise Dimensionalität bestimmte physikalische Eigenschaften aufweisen, die man von makroskopischen Stücken dieser Materialien nicht kennt. Diese neuen qualitativen Eigenschaften hängen nicht von der chemischen Zusammensetzung ab, sondern beruhen ausschließlich auf Quantenphänomenen. Meist treten diese Phänomene in Dimensionen von zehn Nanometer und darunter auf. Man kann sie geschickt nutzen um beispielsweise die Farbe, katalytische oder elektronische Eigenschaften gezielt zu steuern.

Löst man eine Materialprobe mit weniger als 100 Nanometern auf, kommt man bereits in den verdächtigen Bereich, in der die Gesetze der Quantenphysik deutlich werden. So kleine Ausschnitte aus Festkörpern oder biomolekularen Proben werden in Münster in der naturwissenschaftlichen und medizinischen Forschung aber auch in Firmen intensiv erforscht und praktisch entwickelt. Daraus ergeben sich vielfältige Kooperationen, etwa in interdisziplinären Forschergruppen, Exzellenzclustern und Sonderforschungsbereichen. Derartige komplexe Strukturen sind erforderlich, um die vielfältigen Fragen zu beantworten und im internationalen Wettbewerb zu bestehen.

Die Entwicklung von Nanomaterialien erfordert eine intensive Zusammenarbeit mit Forschergruppen aus der Nanoanalytik und der Theorie. In diesem Gebiet hatte sich Münster zunächst einen internationalen Namen gemacht, bevor die Erforschung von Nanomaterialien ausgeweitet wurde. Dies erfolgte durch die gezielte Berufung von Materialforschern aus der Physik, Chemie und Biologie sowie der theoretischen Medizin und der Pharmazie.



Zehn Professoren in der nanoanalytischen Methodenentwicklung steht heute die gleiche Anzahl gegenüber, die sich mit Materialien der unterschiedlichsten Ausprägungen, mit anorganischen Nanosystemen, mit organischen stimulierbaren Systemen sowie biologischen und nanomedizinischen Systemen beschäftigen.

Katalysiert wurde dieser Prozess unter anderem durch die Fokus-Initiative. Dahinter verbirgt sich das Interdisziplinäres Forschungszentrum für kooperative nanoskalige Systeme, mit dem die Universitätsleitung 2004 die Möglichkeit schuf, drei neue Professuren in der Nanomaterialforschung einzurichten. Sie wurden zwischen den konventionellen Fachbereichen, beispielsweise Physik und Chemie beziehungsweise Physik und Biologie, mit vollem Stimmrecht assoziiert. Auf diese Weise lösten sich erstmals die klassischen Grenzen der Fachbereiche auf, um problemorientierte Forschungsarbeiten zu ermöglichen. Aus dieser Initiative entstanden fünf Nachwuchsgruppen, deren Forschungen durch externe Förderungen getragen werden. Dazu gehören der Europäischen Forschungsrat (ERC grants) und die Alexander von Humboldt-Stiftung (Sofja-Kovalevskaja-Preis). Im Folgenden werden einige Münsteraner Forschungsprojekte über Nanomaterialien vorgestellt.

Die Guten ins Töpfchen, die Schlechten ins Kröpfchen ...

Für ihre Experimente pflücken die Forscher um Guido Schmitz einzelne Atome wie Beerenobst

Bahnbrechende Fortschritte in der Mikroskopie haben die derzeitige stürmische Entwicklung in der Nanotechnologie erst ausgelöst. Die zielgerichtete Entwicklung von kleinsten Strukturen ist ohne die Weiterentwicklung der chemischen Analyse in höchster räumlicher Auflösung nicht denkbar.

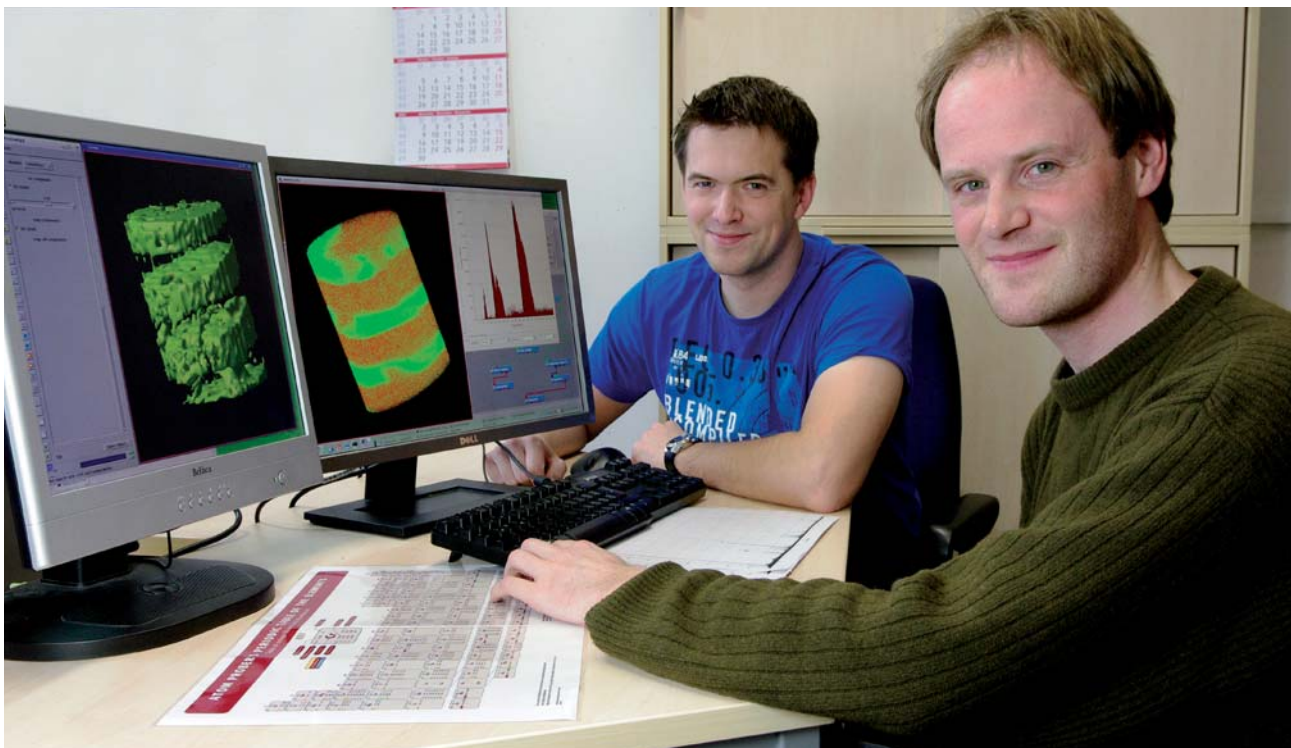
Weniger als zehn Atomlagen dick sind Barrierenschichten in modernen elektronischen Schaltelementen. Bewegen sich in einer solchen Barriere nur einige wenige Atome von ihren vorgesehen Plätzen, wird das Bauelement unwiderruflich zerstört. Um solche mikroskopischen Wanderungen zu untersuchen, beschreiten die Physiker um Professor Guido Schmitz am Institut für Materialphysik der Universität Münster außergewöhnliche Wege. Anstatt sich mit einer vergrößerten Abbildung zu begnügen, wird in ihrer Atomsondentomografie die Probe Atom für Atom abgetragen. Jedes einzelne Atom wird lokalisiert und identifiziert. Werden in einer Messreihe viele Milli-

onen solcher Einzeldaten ausgewertet, kann man den inneren Aufbau der Probe in zuvor unerreichter Detailtreue rekonstruieren. Die Atomsondentomografie liefert dreidimensionale Karten, in denen jedes einzelne Atom aufgeführt ist.

Das Hantieren mit einzelnen Atomen sei, so Promotionsstudent Patrick Stender, eines der aufregendsten Abenteuer eines Wissenschaftlers. Wie kann man einzelne Atome aus der Probe pflücken, so als handelte es sich um Beerenobst? Der Trick der Münsteraner Physiker liegt in der Herstellung sehr feiner Nadeln, die mittels Ionenstrahlen aus den Nanostrukturen herausgeschnitten werden. Zehntausend Mal schärfer als gewöhnliche Stecknadeln müssen diese Spitzen sein.

Ein aufregendes Abenteuer

Legt man an so winzige Objekte Hochspannungen von einigen zehntausend Volt, entstehen enorme elektrische Felder, wie man sie in unserer alltäglichen, makroskopischen Welt niemals beobachten könnte. Damit die Atome in diesem Feld nicht von der Spitze verdampfen, werden die Proben mit flüssigem Helium gekühlt – bis dicht an den absoluten



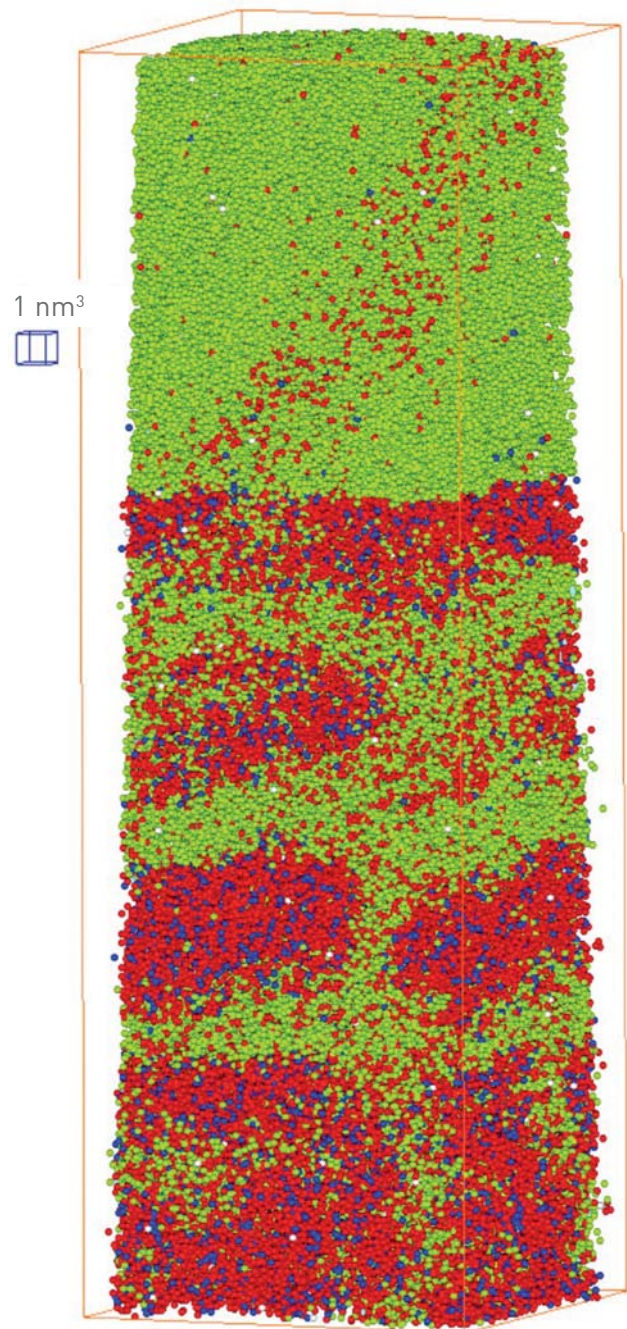
Patrick Stender und Christian Oberdorfer vor dem atomar aufgelösten Tomogramm einer Magnetsensorschicht.

Nullpunkt der Temperaturskala bei minus 270 Grad Celsius. Der letzte Schritt ist dann ein sehr feiner Laserstrahl, der auf die Spitze zielt. Ultrakurze Laserblitze erwärmen die Spitze für den winzigsten Bruchteil einer Sekunde. Wird die Intensität des Laserstrahls richtig gewählt, so hüpf während eines solchen Blitzes immer nur ein einziges Atom von der Spitze, das man anschließend identifiziert und vermessen kann. Die Entwicklung der Methode und der Aufbau der komplexen Ultrahochvakuumanlagen sind nicht das eigentliche Ziel der Arbeitsgruppe, sondern nur Mittel zum Zweck. Vielmehr steht das detaillierte Verständnis der atomaren Reaktionen in nanostrukturierten Materialien im Brennpunkt des Interesses.

Zahlreiche Anfragen

Der Erfolg gibt der Arbeitsgruppe Recht. So konnte sie mit den Analysen der Atomsondentomografie fundamentale physikalische Mechanismen, die die natürliche Breite von Grenzflächen und Strukturen auf der Nanometerskala kontrollieren, aufdecken und vermessen. Mechanismen, die große Bedeutung haben für die Stabilität von Magnetsensoren, für die Zuverlässigkeit von Lötverbindungen in der Mikroelektronik oder die Funktionsweise von wiederaufladbaren Batterien. Ganze Feldeffekttransistoren, die grundlegenden Schaltelemente der Mikroelektronik, oder halbleitende Funktionsschichten moderner Solarzellen werden Atom für Atom zerlegt und ausgemessen. Es erstaunt nicht, dass zahlreiche auswärtige Forschergruppen anfragen, um ihre Analysen mit den speziellen Geräten in Münster durchzuführen. Derweil experimentieren die Münsteraner Forscher schon mit exotischen Materialien. Ultradünne Polymerschichten, sogar biologische Membranen werden auf feine Trägerspitzen gebracht und gemessen.

Die orts aufgelöste lokale Analyse einzelner Atome in solchen Schichten aus weicher Materie, aus der auch der menschliche Körper aufgebaut ist – das wäre ein wissenschaftlicher Durchbruch.



Atomsondentomografie eines Magnetsensors nach thermischer Belastung: Die Position der einzelnen Atome ist durch farbige Punkte dargestellt. Kupfer erkennt man an der grünen Farbe, Nickel ist rot, Eisen blau und Wolfram grau.

Prof. Dr. Guido Schmitz

Institut für Materialphysik

Westfälische Wilhelms-Universität Münster

Wilhelm-Klemm-Straße 10, 48149 Münster

Telefon: 0251/83-33572

E-Mail: gschmitz@uni-muenster.de

Polymerbürsten für einen neuartigen Wafer

Kunststoffe und Halbleiter wachsen zusammen: Die Arbeitsgruppe von Armido Studer erzielt dabei große Fortschritte

Ein zentrales Forschungsfeld der Nanotechnologie besteht darin, die Atome und Moleküle auf funktionellen Oberflächen auf spezielle Weise zu strukturieren. Dadurch kann man die Eigenschaften der Materialien gezielt beeinflussen. Professor Armido Studer und sein Wissenschaftlerteam beschäftigen sich seit mehreren Jahren mit diesem Thema. Die Studien erfolgen in enger Kooperation mit Gruppen aus der Oberflächenphysik.

Ein Beispiel sind bestimmte radikalische Polymere, die man auf einer Oberfläche abscheiden oder aufwachsen will. Dazu nutzt die Arbeitsgruppe ein Verfahren, bei dem die Polymerisation durch Nitroxi-

de vermittelt wird (NMP). Die Forscher entwickelten vielfältige Nitroxide für die kontrollierte Polymerisation von Styrol und Butylacrylat. Die NMP wird zur Herstellung von intelligenten Polymer-Biohybrid-Materialien verwendet. Darüber hinaus untersuchen die Wissenschaftler die Eigenschaften von Polymer-Protein-Konjugaten. In Zusammenarbeit mit Professorin Luisa De Cola studieren sie die Herstellung und das Aggregationsverhalten von Zeolith-Polymer-Konjugaten.

Umsichtige Auswahl

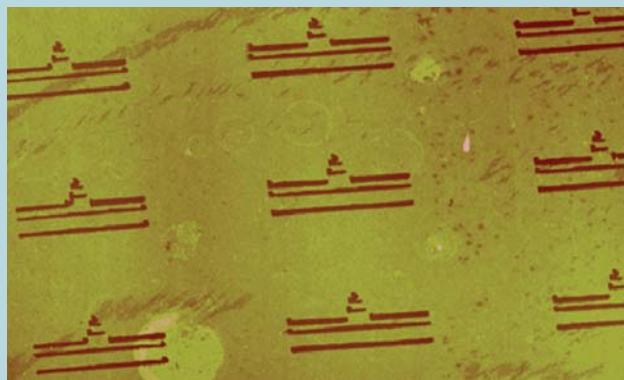
Die Gruppe um Armido Studer nutzt die kontrollierte NMP auch, um verschiedene Oberflächensysteme wie Filme oder Siliziumwafer zu modifizieren. Dabei erzeugt die Polymerisation auf der Oberfläche so genannte Polymerbürsten. Durch umsichtige Wahl der molekularen Grundbausteine (Monomere) entstehen

Synergien in der Chemie

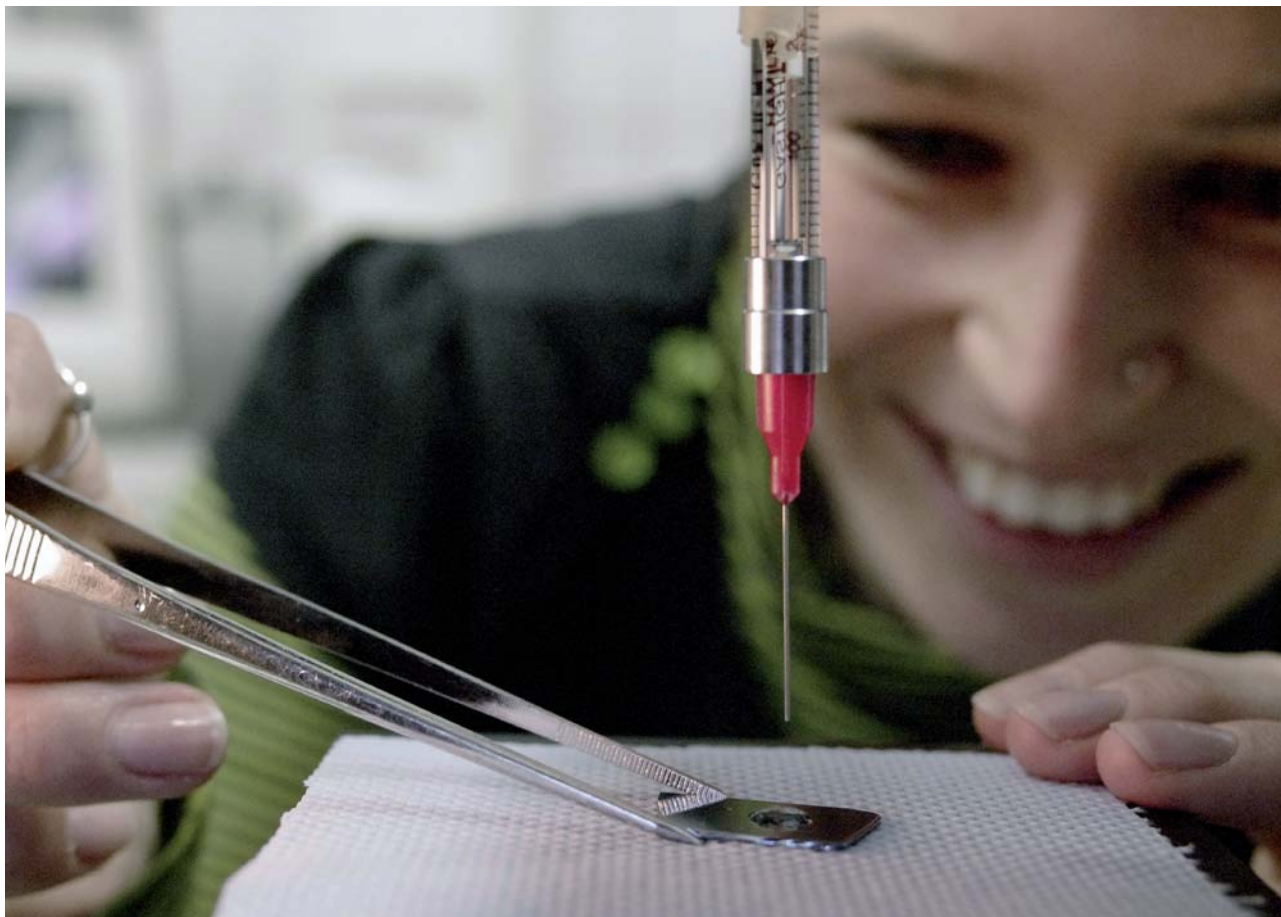
Professor Armido Studer ist auch Sprecher des Sonderforschungsbereiches „Synergetische Effekte in der Chemie“, den die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) zu Beginn des Jahres 2010 an der Universität Münster eingerichtet hat. Innerhalb von vier Jahren stellt die DFG fast acht Millionen Euro für das Projekt zur Verfügung. An dem neuen Sonderforschungsbereich werden eine Reihe ausgewiesener Experten aus der Chemie, der Physik und Medizin beteiligt sein, darunter viel versprechende Nachwuchswissenschaftler. „Wir sind froh, dass die DFG unsere Bemühungen zur Realisierung interdisziplinärer Forschungsvorhaben unterstützt“, kommentiert Professor Studer.

Die Wissenschaftler wollen untersuchen, inwieweit das räumliche und zeitliche Zusammenwirken mehrerer chemischer Komponenten einen Einfluss auf das Resultat chemischer Reaktionen hat – im Vergleich zur schrittweisen Reaktionsführung. „Viel-fach bleiben Möglichkeiten ungenutzt, mit mehreren gleichzeitig einwirkenden Faktoren die Erzeugung von Materialien und Stoffen zu steuern“, erklärt Armido Studer. „Dabei können wir heute unter geziel-

ter Berücksichtigung gemeinsam wirkender chemischer Komponenten chemische Reaktionen ganz neu entwickeln und neue Produkte oder Phänomene wie Leitfähigkeit, molekulare Erkennung oder Magnetismus erzeugen.“ Im Sonderforschungsbereich werden solche Effekte erstmalig über Fächergrenzen hinweg studiert. Die Universität Münster bietet mit 19 beteiligten Forschungsgruppen aus vier Instituten der Chemie und je einem Institut aus den Fachbereichen Physik und Medizin ein ideales Umfeld.



Strukturierte Polymerbürsten (Kooperation Prof. Studer und Prof. Chi). Die Stärke der dunklen Linien beträgt 200 Nanometer.



Die wissenschaftliche Arbeit erfordert Elan und Präzision gleichermaßen.

beschichtete Oberflächen, die diskrete Wechselwirkungen mit unterschiedlichen funktionellen Gruppen oder physiologischen Zellen eingehen. Von der Arbeitsgruppe Studer wurde auch die radikalische Carboaminoxilylierung entwickelt. Dieses Verfahren erwies sich als höchst wertvoll für die C-C-Bindungsknüpfung an Olefin-terminierten Siliziumwafern.

Exzellente Ausbeute

Die Reaktionen verlaufen mit guten bis exzellenten Ausbeuten bei vergleichsweise milden Bedingungen. Über diesen Ansatz kann man eine Vielzahl von funktionellen Gruppen auf dem Siliziumwafer anbringen. Das ermöglicht den Zugang zu Halbleitern, welche mit Zuckerderivaten und Peptiden beschichtet sind.

Zudem entwickeln die Forscher in Kooperation mit Professor Harald Fuchs und Professor Lifeng Chi eine auf der Langmuir-Blodgett-Lithografie basierende Methode, um so genannte Alkoxyaminregulatoren an

definierten Positionen der Oberflächen anzubinden. Die NMP erlaubt in diesem Falle, dreidimensionale Polymerblöcke auf der Oberfläche aufzubauen, etwa in Form der erwähnten Polystyrolbürsten. Die einzelnen Polystyrolabschnitte sind nur 110 Nanometer breit und zehn Nanometer hoch. Ritzt man die Polymerbürsten mit einer AFM-Spitze, entstehen genau definierte Strukturmuster im Maßstab von wenigen Nanometern.

Prof. Dr. Armido Studer

Organisch-Chemisches Institut
Westfälische Wilhelms-Universität Münster
Corrensstraße 40, 48149 Münster
Telefon: 0251/83-33291
E-Mail: studer@uni-muenster.de

Intelligentes Label misst das Verfallsdatum

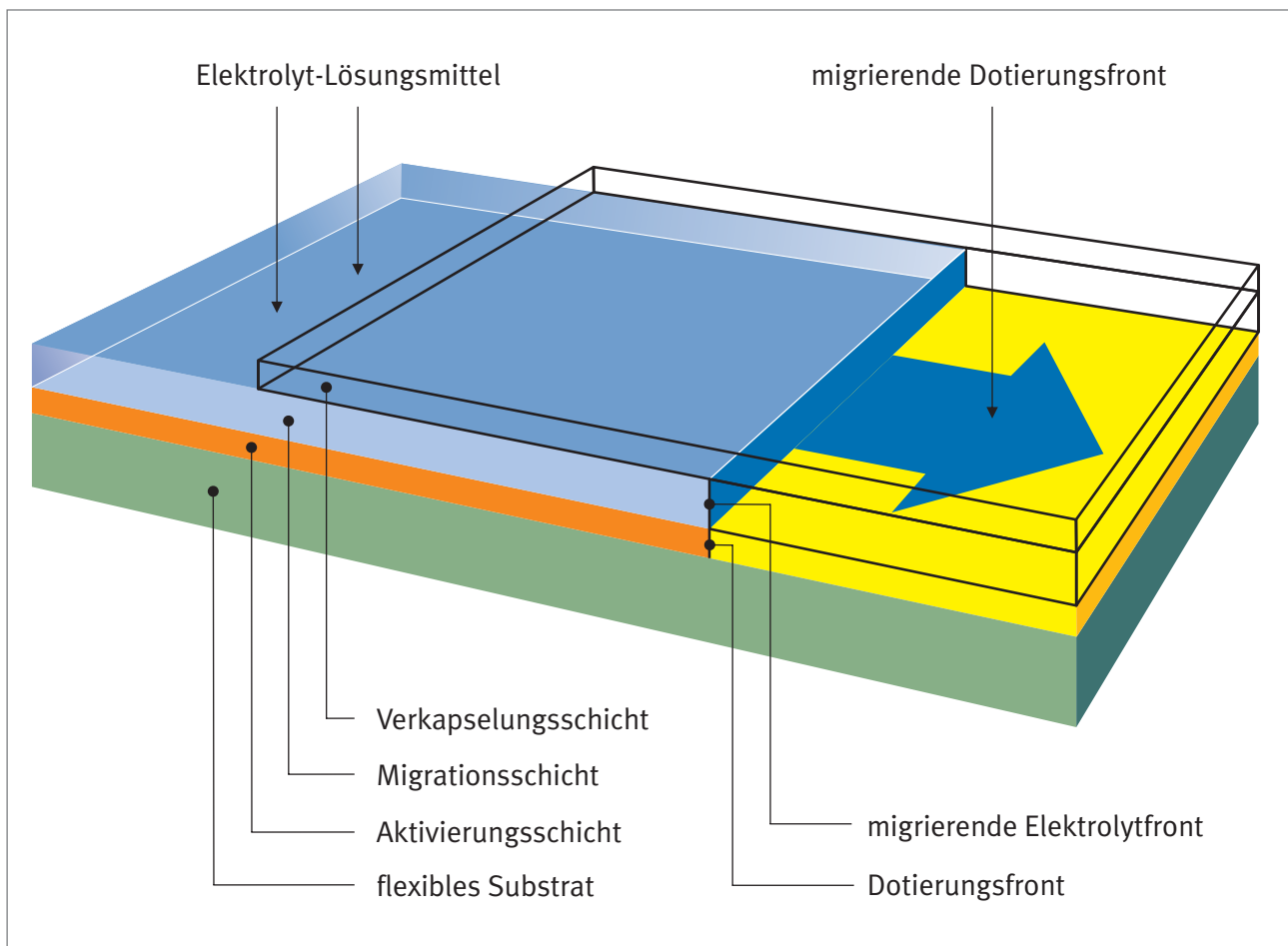
PolyTaksys ermöglicht intelligente Etiketten für Lebensmittel. Sie nutzen feinste Nanoröhren

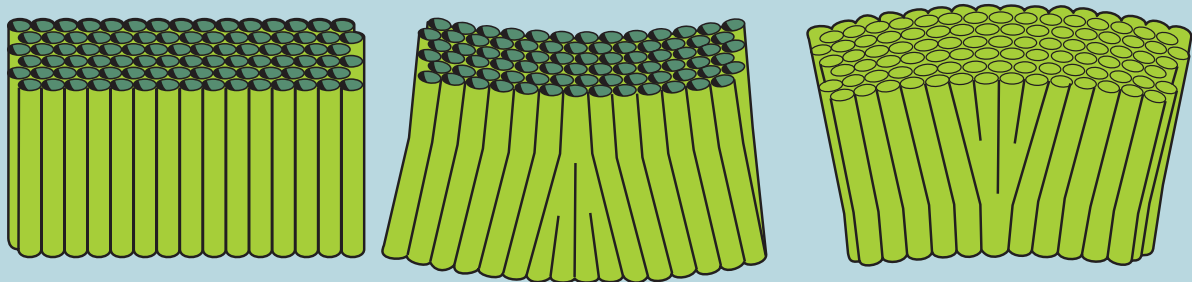
Die Nanotechnologie öffnet das Tor zu völlig neuen technischen Ideen und Produkten. Mit Hilfe kleinster Nanokanäle, die sich selbst organisieren, entstehen hauchfeine Röhren. Die Abstände der Kanäle, ihre Durchmesser und die Winkel zueinander lassen sich genau einstellen. Auch Kanalverzweigungen oder Kanalenden sind möglich. Auf diese Weise entstehen neuartige elektronische Funktionselemente, die man als Smart Label bezeichnet. Die Wissenschaftler in der Gruppe von Professor Meinhard Knoll entwickeln eine neue Klasse dieser intelligenten Etikette für Waren und Produkte. Auf der Basis organo-elektronischer Materialien fand Meinhard Knoll den Effekt der so genannten Dotierungsfrontmigration, bei dem

Prof. Dr. Meinhard Knoll

Institut für Physikalische Chemie/CeNTech
Westfälische Wilhelms-Universität Münster
Heisenbergstraße 11
48149 Münster
Telefon: 0251/83-63 851
E-Mail: knoll@uni-muenster.de

eine mit wenigen Nanometern pro Sekunde wandernde Front die elektrischen und optischen Eigenschaften von dünnen Schichten verändert. Diesen Effekt nutzt die neue PolyTaksys-Technologie aus, um einzigartige Eigenschaften anzubieten. Die Nanoelemente kommen ohne Batterie aus, ermöglichen die Integration einer Uhr, analoge oder digitale Anzeige, erlauben elektrische Schalteffekte und lassen sich





Parallele, divergierende und konvergierende Nanokanäle mit Verzweigungen und Enden

elektromagnetisch auslesen, in dem man einen herkömmlichen RFID-Transponder modifiziert.

Eine neue Generation von Smart Labels

Das sind ideale Voraussetzungen, um Smart Labels einer neuen Generation zu bauen. Die erste Anwendung findet PolyTaksys in Form eines elektronischen Mindesthaltbarkeitsdatums, das man in Lebensmittelverpackungen integriert. Es misst die Zeit, die nach der Aktivierung des Labels verstrichen ist und berücksichtigt gleichzeitig die Temperatur. Denn sie ist für die Haltbarkeit oft von entscheidender Bedeutung. PolyTaksys sieht aus wie ein dünnes Etikett aus Plastikfolie, das die Messparameter aufzeichnet und für das menschliche Auge sichtbar macht. Zusätzlich kann man es elektromagnetisch auslesen.



Von Quantenpunkten und Nanodrähten

Die Materialphysiker arbeiten an einer neuen Klasse von funktionellen Werkstoffen

Die meisten technisch genutzten Metalle und Keramiken bestehen aus winzigen Kristalliten, die wenige Mikrometer bis einige Millimeter groß sind. Reduziert man ihre Größe auf einige Nanometer, sprich: Tausendstel eines Mikrometers, entsteht eine neue Klasse von Materialien. Sie ist dadurch gekennzeichnet, dass das Volumen der Grenzflächen vergleichbar ist zum Volumen der Kristallite. Aufgrund dieses hohen Grenzflächenanteils besitzen nanokristalline Materialien besondere Eigenschaften, wie sie in bisher vorhandenen Werkstoffen nicht auftreten.

Die Eigenschaften nanokristalliner Materialien hängen sowohl von der Größe, der Dimensionalität, der chemischen Zusammensetzung und der atomaren

Prof. Dr.-Ing. Gerhard Wilde

Institut für Materialphysik/CeNTech
Westfälische Wilhelms-Universität Münster
Wilhelm-Klemm-Straße 10, 48149 Münster
Telefon: 0251/83-33571
E-Mail: gwilde@uni-muenster.de

Struktur der Kristallite ab. Weitere Faktoren sind die chemische und atomare Struktur ihrer Grenzflächen, die zwischen den Kristalliten in großer Zahl vorhanden sind. Es sind genau diese Parameter, deren Variation zu großen Änderungen zum Beispiel des magnetischen, optischen, elektrischen, mechanischen und katalytischen Verhaltens führen. Die genauen physikalischen Ursachen für diese Veränderung der Eigenschaften sind bisher noch relativ wenig verstanden. Will man nanokristalline Materialien in der Technik



Konzentration bei der Vorbereitung der Experimente ist ein Geheimnis des wissenschaftlichen Erfolges.

anwenden, ist dieses Verständnis unabdingbar. Darüber hinaus sind nanostrukturierte Materialien schon heute von großer Bedeutung, etwa als organische Leuchtdioden (LED) oder Katalysatoren.

Die Forscher der Arbeitsgruppe von Professor Gerhard Wilde untersuchen eine ganze Reihe von Fragen, deren Beantwortung für vielfältige Anwendungen wichtig ist. Dazu zählen die Sensorik von Gasen oder Feinstäuben, optisch funktionalisierte Oberflächen, hochfeste und gleichzeitig zähe (duktile) Werkstoffe für Implantate oder als Speicher für Daten und Energie. Die nanokristallinen und nanostrukturierten Materialien werden mit Methoden synthetisiert, die teilweise von den Forschern erst entwickelt werden müssen. Außerdem werden die Struktur und ausgewählte Eigenschaften der neuen Materialien analysiert.

Methoden neu entwickeln

Ein Schwerpunkt liegt auf nanostrukturierten Oberflächen. Eine neuartige Methode, die gemeinsam mit Professor Yong Lei weiterentwickelt wurde, bietet bessere Möglichkeiten, Nanostrukturen auf nahezu beliebigen Oberflächen kontrolliert und kostengünstig herzustellen. Dabei reicht das Spektrum von halbleitenden Quantenpunkten über metallische Nanodrähte und oxidische beziehungsweise metallische Kern-Schale-Partikel bis zu nanoporösen Multilagensystemen mit extrem hoher spezifischer Oberfläche.

Einen zweiten Schwerpunkt bilden Forschungen an nanokristallinen Materialien. Ein Hauptaugenmerk liegt auf den mechanischen Eigenschaften massiver nanokristalliner Materialien. So ist nanokristallines Titan für medizinische Implantate besonders interessant. Denn es weist zugleich höhere Festigkeit und gesteigerte Zähigkeit auf. Diese Kombination ist ideal für Implantate, lässt sich jedoch mit herkömmlichen Materialien nicht erreichen. Eine Übertragung dieser günstigen Kombination auf andere Materialien erfordert ein atomistisches Verständnis der Struktur und der Transportprozesse entlang innerer Grenzflächen. Der Lehrstuhl für Materialphysik der Universität Münster kann sich bei diesen Forschungen auf eine weltweit einzigartige Analysetechnik und Kompetenz stützen. Die Forscher können die

Materialien synthetisieren, die Mikrostrukturen analysieren, die Eigenschaften des Materials charakterisieren und Transportprozesse im Material messen, besonders entlang der inneren Grenzflächen. Das ist sehr wichtig, um die zugrunde liegenden Prozesse und Mechanismen zu verstehen und für neue Funktionswerkstoffe zu nutzen.

Bessere Gassensoren dank Nanostrukturen

Seit langem ist bekannt, dass Luftschadstoffe die Gesundheit und Umwelt gefährden. Besonders gefährlich sind Stickstoffdioxid und Kohlenmonoxid. Die Konzentration dieser Gase in der Umgebung korreliert eng mit der Konzentration von Feinstaub, der zum Teil anthropogen bedingt ist und Atemwegserkrankungen hervorrufen kann. Der Kraftfahrzeugverkehr ist der größte Emittent von Stickstoffdioxid und Kohlenmonoxid.

Daher ist die Gassensorik zur Detektierung der Verschmutzung sehr wichtig. Die Technik ist aber noch immer nicht ausgereift. Zum Beispiel liegt die minimal schädliche Konzentration von Stickstoffdioxid in der Luft für den menschlichen Körper bei ca. 50 ppb (parts per billion). Das sind 50 Partikel in einer Milliarde Teilchen. Die Nachweisgrenze eines kommerziellen Gassensor ist schon bei 500 ppb erreicht. Um die Nachweisgrenze zu verfeinern, wurde eine 3D-Oberflächen-Nanostrukturierungstechnik für Gassensoren entwickelt. Die auf der nanostrukturierten Oberfläche liegenden Gassensoren sind in der Lage, minimale Konzentrationen der Schadgase in der Luft messen. Dazu nutzen die Forscher freistehende Nanodrähte und Nanoröhren auf einem Siliziumsubstrat.

Prof. Dr. Yong Lei

Institut für Materialphysik/CeNTech
Westfälische Wilhelms-Universität Münster
Wilhelm-Klemm-Straße 10, 48149 Münster,
Telefon: 0251/83-33574
E-Mail: yong.lei@uni-muenster.de

Atome und Moleküle als Baustoff für Arzneicontainer

Vielfachschichten und Nanobehälter aus geladenen Polymeren erweisen sich als stabil und vielfältig einsetzbar

Die Nanotechnologie macht es möglich: Sogar einzelne Atome und Moleküle lassen sich als Baustoff verwenden. Die Forschergruppe von Professor Monika Schönhoff verwendet Molekülketten, um daraus ultradünne Schichten oder Nanocontainer aufzubauen. Speziell geht es um elektrisch geladene Moleküle, die so genannten Polyelektrolyte. Sie erlauben den Aufbau sehr stabiler Vielfachschichten, die nur Millionstel Millimeter dick sind. Die Einzelschichten sind dabei abwechselnd positiv und negativ geladen, daher ziehen sie sich an. So entstehen neuartige Materialien, die weich und dennoch stabil sind. Außerdem können sie Wasser oder kleinere Moleküle aufnehmen. Man kann sie also gezielt dazu bringen, aufzuquellen oder bestimmte Gastmoleküle zu beherbergen. In Zusammenarbeit mit Wissenschaftlern der Tsinghua Universität in Peking (TRR61) untersucht die Gruppe, wie sich Bindungsstellen für Gastmoleküle in solche Schichten einprägen. Dadurch könnte man die Multischichten zu selektiven Filtern für bestimmte Moleküle entwickeln. Die Eigenschaften von Nanoschichten werden dazu durch spezielle Methoden wie die Ellipsometrie, Quarzkristallmikrowaage (QCM-D), Impedanzspektroskopie oder ATR-IR analysiert.

Nanocontainer für Wirkstoffe

Kleinste Partikel mit Größen um hundert Nanometer sind in der Lage, in Zellen einzudringen und medizinische Wirkstoffe zu transportieren. Es lassen sich kleine Wirkmoleküle in polymere Hohlkapseln aus Polyionen einpacken, wie in einen Container. Die For-

scher untersuchen zunächst grundlegende Fragen zum Einbau, der Dynamik und dem Transport solcher Gastmoleküle. Mit einer speziell in der Gruppe von Professor Schönhoff vorangetriebenen Methode, die auf der Messung der Diffusion mit Hilfe von Kernspinresonanz beruht, wird zum Beispiel ermittelt, wie die Wirkstoffe durch die Wände des Nanocontainers diffundieren, und wo sie sich im Partikel befinden. Dabei kann man nicht nur molekulare Wirkstoffe, sondern auch geeignete Modellschubstanzen für vielfältige Anwendungen untersuchen.



Die Arbeitsgruppe von Professorin Monika Schönhoff (zweite Reihe von oben, links) am Institut

Prof. Dr. Monika Schönhoff

Institut für Physikalische Chemie
Westfälische Wilhelms-Universität Münster
Corrensstraße 30, 48149 Münster
Telefon: 0251/83-23419
E-Mail: schoenho@uni-muenster.de

Für neuartige Batterien sind sehr dünne Membranen erforderlich, die kleine Ionen, also zum Beispiel elektrisch geladenes Lithium, leiten können. Die Wissenschaftler suchen Antworten auf wichtige Fragen: Wie schnell bewegen sich die Ionen in einem Polymermaterial? Erfolgt der Transport in Form einzelner Ionen oder als ungeladenes Paar?

Diese Fragen werden durch den Vergleich von Diffusion und Leitfähigkeit geklärt. Das Verständnis, wie sich die negativ und positiv geladenen Ionen bewegen,

hilft dabei, die Polymere der Membran zu optimieren. Es werden sowohl Salz-in-Polymer-Elektrolyte untersucht, als auch Polyelektrolyt-Multischichten, in die man nachträglich Ionen in Form von Salzen einbringt.

Da diese Membranen besonders dünn sind, könnte man hiermit zum Beispiel die Ladezeit einer Batterie beschleunigen. Die Forschungen werden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft und dem Land Nordrhein-Westfalen finanziert.

Ein Modellsystem für Miniproteine

Die Natur macht es vor: Durch Selbstorganisation unzähliger molekularer Bausteine entstehen die funktionellen und dynamischen Strukturen, die das Leben erst ermöglichen. Das Ziel der Forschungen im Arbeitskreis von Professor Bart Jan Ravoo ist es, selbstorganisierende Moleküle als kleinstmögliche Bausteine für nanoskalige Strukturen einzusetzen. Der Aufbau komplexer und dynamischer Molekülsysteme führt zu Materialien mit neuen Eigenschaften. Die Gruppe forscht in der supramolekularen Chemie und modifiziert Oberflächen mittels molekularer Selbstorganisation. Da sie natürliche Prinzipien und Prozesse erforscht, um sie für technische Innovationen zu nutzen, spricht man von Bionik oder auch Biomimetik.

In der supramolekularen Chemie untersuchen die Wissenschaftler vor allem die Erkennung und Selbstorganisation von Molekülen, Nanopartikeln und Kolloiden in wässriger Lösung. Dazu benutzen sie nicht-kovalente Wechselwirkungen zwischen den Molekülen, um größere Strukturen aufzubauen. Mehrere schwache Wechselwirkungen führen zu starken und selektiven multivalenten Wechselwirkungen. Ein Forschungsthema betrifft Vesikel (Bläschen) mit eingebauten Rezeptormolekülen, die so genannten Wirtsmoleküle wie zum Beispiel Cyclodextrine. Die Erkennung von Gastmolekülen an der Vesikeloberfläche und die Wechselwirkung zwischen den Vesikeln sind ein spannendes Modellsystem für die biologische Zell-Zell-Erkennung. Darüber hinaus ergründen die Forscher das Potenzial dieser Vesikel

für gezielte Pharmakotherapie. Ein neues Thema ist die Synthese von Kohlenhydratrezeptoren. Diese künstlichen Mini-Proteine binden sich sowohl in Wasser als auch an Membranoberflächen effektiv an ausgewählte Kohlenhydrate. Damit sind sie für biomedizinische Zwecke von großem Interesse. In der Modifikation von molekularen und selbstorganisierenden Oberflächen geht es um die Herstellung und die Eigenschaften von Monoschichten auf festen Substraten. Die natürlichen Prozesse der Selbstorganisation werden mit lithografischen Verfahren wie dem Mikrokontaktdruck kombiniert.

Dabei kommen reaktive molekulare Tinten zum Einsatz, die man in einem Muster auf eine Oberfläche stempelt. Der Stempel leitet zugleich eine chemische Reaktion der Moleküle an der Oberfläche ein. Die Wissenschaftler analysieren die grundlegende Chemie am Mikrokontakt und wenden sie für chemische und biologische Templates an, etwa Biochips mit Proteinen, Nukleotiden oder Kohlenhydraten. Außerdem werden die elektrischen Eigenschaften molekularer Monoschichten untersucht.

Prof. Dr. Bart Jan Ravoo

Organisch-Chemisches Institut
Westfälische Wilhelms-Universität Münster
Corrensstraße 40, 48149 Münster
Telefon: 0251/83-33287
E-Mail: b.j.ravoo@uni-muenster.de

Licht steuert Licht – Optik auf der Nanoskala

Im Wechselspiel mit Nanostrukturen entstehen neue Visionen der Informationsverarbeitung.

Licht verfügt wie kein anderes Medium über eine Vielfalt einzigartiger Eigenschaften. Es lässt sich bis auf den millionsten Teil eines Millimeters bündeln. Ein Laser kann Worte auf ein Haar schreiben. Ebenso setzt man Licht zur Strukturierung auf der Nanoskala ein. Es ermöglicht kürzeste Pulse von einer milliardstel Sekunde – einer Femtosekunde. Damit kann Licht bis zu einer Million Millionen Daten in einer Sekunde übertragen. Nicht nur in der Datenübertragung, auch in der Verarbeitung der Daten ist das Licht erheblich schneller als die Elektronik, da es parallele Operationen ausführen kann. Das ist die Vision der optischen Informationsverarbeitung: Optische Rechner, in denen Licht durch Licht gesteuert wird.

Photonische Rechner auf der Nanoskala

Will man mit Photonen rechnen, sind optische Speicher und Prozessoren notwendig. Die optische Datenspeicherung lässt sich besonders eindrucksvoll mit der Volumenholografie umsetzen, denn sie erlaubt höchste Datenkapazität auf kleinstem Raum. Für einen optischen Mikroprozessor muss man ein Material so fein strukturieren, dass die Wellenlänge des Lichts erreicht wird, das er verarbeiten soll. So entstehen photonische Kristalle – künstliche periodische Materialien, die sich gegenüber den Lichtteilchen (Photonen) wie ein Halbleiter gegenüber Elektronen verhalten. Photonische Kristalle können das Licht beliebig führen und leiten. Gelingt es, die Lichtführung und andere optische Elemente auf einem Chip zu integrieren, rückt der optische Chip in greifbare Nähe.

Die Herstellung photonischer Kristalle stellt jedoch eine große Herausforderung dar. Um eine dreidimensionale periodische Struktur zu erzielen, muss diese entweder durch einzelne Schichten stapelweise aufgebaut oder aus einer Vorform herausgeschnitten oder hineingeätzt werden. Das verlangt Ätz- und Lithografieverfahren, die auf wenige Mikrometer genau arbeiten. Eine andere Möglichkeit macht die Natur

vor, deren wesentliches Bauprinzip die Selbstorganisation ist. Opale – schillernde Kristalle mit einem beeindruckenden Farbspiel – erzeugen bereits beim Wachstum eine geeignete photonische Struktur. Dieses Verfahren der Selbstanordnung wird genutzt, um synthetische photonische Kristalle aus Polymeren herzustellen. Durch ihre oft komplexen Strukturen sind sie sehr gut für optische Chips geeignet.

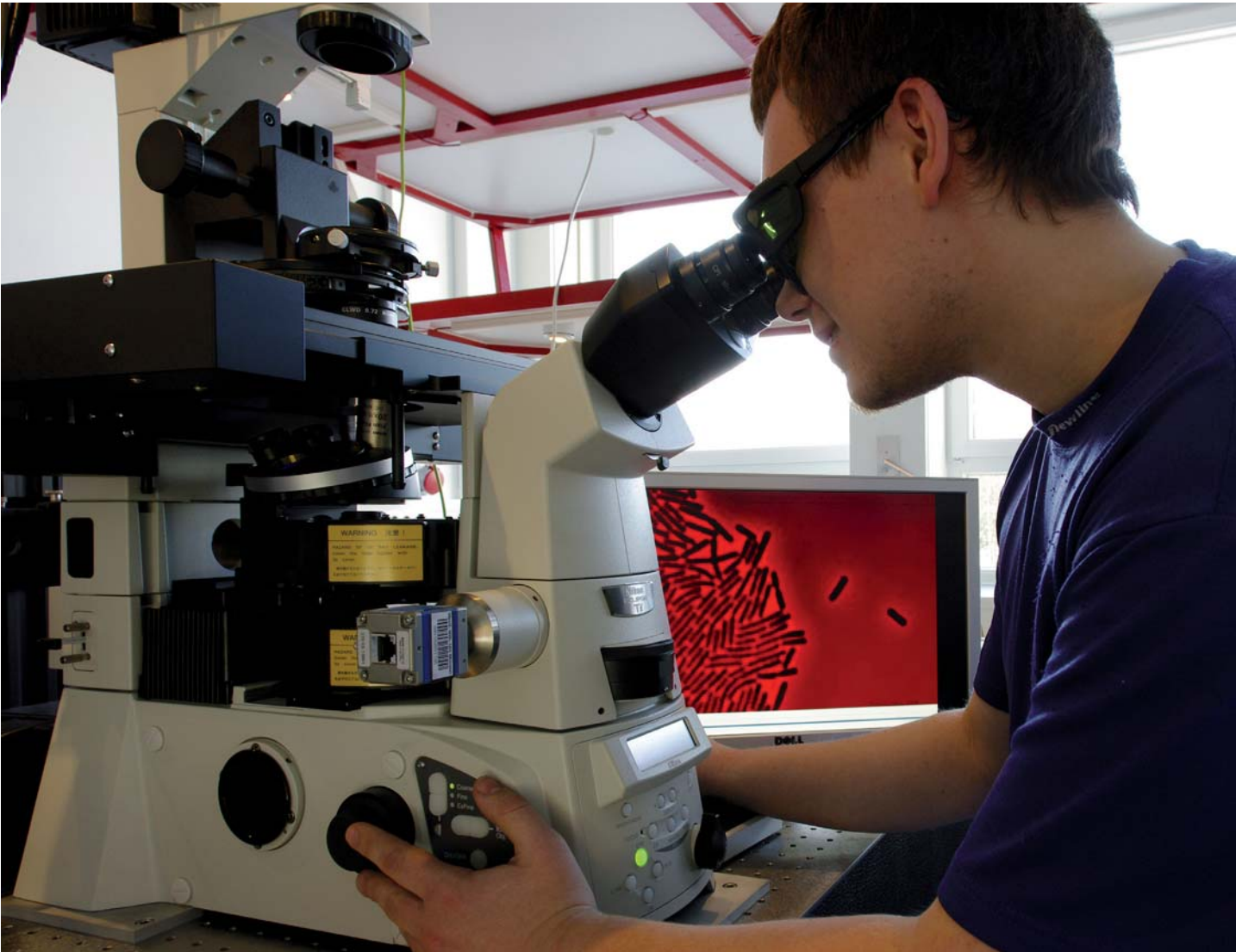
Eine weitere Möglichkeit besteht in lichtinduzierten Materialänderungen, wie sie durch nichtlineare Optik entstehen. Mit Hilfe dieser Methoden gelingt es, direkt mit Laserstrahlen im Material periodische Strukturen zu schreiben. Diese Technik wendet das Team um Professorin Denz an, um Licht stark zu verlangsamen und so zu takten, dass optische Rechenoperationen möglich werden.

Der derzeit eleganteste Weg der Nanostrukturierung ergibt sich in so genannten photorefraktiven Kristallen bei sehr geringen Lichtleistungen. Hier kann man mit Projektionsmethoden auf der Basis von Flüssigkristallbildschirmen höchst komplexe mehrdimensionale photonische Strukturen schreiben. Sie können nicht nur Licht leiten, sondern auch die für die Datenverarbeitung notwendigen nichtlinearen optischen Effekte bereitstellen – eine essentielle Voraussetzung für den photonischen Chip.

Licht sieht im Nanometerbereich klar

Licht kann nicht nur rechnen, sondern auch feinste Strukturen im Nanometerbereich sichtbar machen. In den letzten Jahren wurde die Auflösung der Mikroskope beeindruckend verringert. Insbesondere die Markierung mit Farbstoffen ermöglicht mit Hilfe nichtlinearer Lichtanregung die genaue Ortung eines Organismus oder Moleküls. So kann Licht Strukturen von weniger als zehn Nanometer auflösen.

Der Nachteil dieses Verfahrens ist jedoch, dass der Lichtstrahl Punkt für Punkt über die Probe rastert und nicht das gesamte Bildfeld gleichzeitig erfasst. Gerade bei der Bewegung von Zellen oder organischen Nanomotoren – so genannten molekularen Motoren – stößt diese Technik an ihre Grenzen. Professorin Denz hat gemeinsam mit ihrer Forschergruppe ein nichtlineares dynamisches Phasenkontrastmikroskop entwickelt, mit dessen Hilfe Mikroorganismen und Bakterien in ihrer Bewegung innerhalb und zwi-



Die Auflösung der Mikroskope hat sich in den letzten Jahren sehr verbessert.

schen Zellen beobachtet werden können. Es kann überall eingesetzt werden, wo die Bewegung Aufschluss über das Verhalten eines Organismus gibt. So kann man Latenzzeiten, Populationsdynamiken, die Beweglichkeit von Antikörpern, die Reaktion von Bakterien auf verschiedene Wirkstoffe, die Durchlässigkeit von Adern oder die Mischung verschiedener Substanzen direkt in Echtzeit analysieren.

Licht macht Partikel dingfest

Licht kann auf der Nanoskala jedoch nicht nur Material strukturieren oder Nanobiovorgänge direkt beobachten. Bündelt man es in einem Objektiv oder einer Linse, entstehen im Brennpunkt starke Kräfte. Sie reichen aus, um kleinste Partikel präzise festzuhalten. So entsteht eine optische Pinzette, die Objekte von einigen Nanometern Größe lokalisieren, bewegen und manipulieren kann. Durch Nutzung von Techniken der Holografie ist es dem Team um Professorin Denz gelungen, eine Vielzahl von Nano-

partikeln gleichzeitig aber unabhängig voneinander festzuhalten, zu transportieren oder dynamisch umzuverteilen. Damit können Moleküle zu künstlichen Kristallen geordnet werden, lebende Kleinstorganismen wie molekulare Motoren so orientiert werden, dass sie sich im Takt bewegen und damit ihre Kraft vervielfachen – bis sie die Leistung großer Motoren erreichen, oder Nanocontainer, die Medikamente enthalten, in kranke Zellen eingeschleust werden und dort Zell- oder Nervenwachstum anregen. Dies ergibt ganz neue Methoden der Prävention und Heilung mit Hilfe der Nanomedizin.

Prof. Dr. Cornelia Denz

Institut für Angewandte Physik
Westfälische Wilhelms-Universität Münster
Corrensstraße 2/4, 48149 Münster
Telefon: 0251/83-33517
E-Mail: denz@uni-muenster.de

Maßgeschneiderte Werkstoffe für die Mikroelektronik

Materialforscher untersuchen atomare Defekte, Nanokristalle und Ionenleiter, um neue Technologien nach vorn zu bringen

Ohne maßgeschneiderte Werkstoffe wäre die moderne Technik undenkbar. Vor allem in der Chipindustrie spielen speziell veränderte Halbleiter eine wesentliche Rolle. Ihre Eigenschaften werden maßgeblich durch Fremdatome bestimmt, die man gezielt in die atomare Gitterstruktur einschleust, um so genannte Defekte zu erzeugen. Auf diese Weise kann man beispielsweise den elektrischen Widerstand variieren. Auch die Grenzflächen zwischen verschiedenen Materialien spielen eine wesentliche Rolle. In so genannten MOS-Transistoren entscheiden sie über die elektrischen Eigenschaften. Die MOS-Bauelemente kombinieren unter anderem Silizium und Siliziumdioxid, sie sind aus der modernen Mikroelektronik nicht wegzudenken. Auch für Materialsysteme in der Solarstromtechnik, für thermoelektrische Anwendungen, Brennstoffzellen oder spezielle Ionenbatterien aus Festkörpern muss man die Wirkung der atomaren Defekte, der Grenzflächen und der Mikrostrukturen kennen. Professor Hartmut Bracht und seine Arbeitsgruppe erforschen das Zusammenspiel von atomaren, mikroskopischen und makroskopischen Eigenschaften, um neue Funktionswerkstoffe gezielt zu entwickeln oder bekannte Materialien zu optimieren.

Germanium statt Silizium

Ein Beispiel ist die Idee, Germanium anstelle von Silizium als Halbleiter für elektronische Bauelemente zu verwenden. Davon versprechen sich die Wissenschaftler, dass die Leistungsfähigkeit der Mikroprozessoren weiter steigt. Bevor man Germanium jedoch gezielt mit Fremdatomen dotieren kann, muss man die grundlegenden Mechanismen der atomaren Beweglichkeit von Defekten und Dotieratomen in diesem Material genau aufklären. Zu diesem Zweck experimentieren die Forscher mit speziellen Strukturen, die aus wenigen Nanometer dicken Halbleiterschichten bestehen. Sie werden mit Isotopen angereichert. Ein Nanometer ist der Millionste Teil eines Millimeters. Anhand dieser Teststrukturen analysie-

ren die Wissenschaftler, welchen Einfluss die Fremdatome auf die Bewegung der Germaniumatome haben. Dazu nutzen sie das so genannte Flug-Zeit-Massenspektrometer. Solche Versuche sind nicht nur von grundlegender Bedeutung für neue Verfahren zur Dotierung von Halbleitern. Sie liefern auch Informationen über die thermodynamischen Eigenschaften der atomaren Defekte. Das ist wichtig, um die Resultate mit theoretischen Voraussagen vergleichen zu können. Die Arbeiten werden in Kooperation mit in- und ausländischen Universitäten und Firmen durchgeführt, unter anderem in Dänemark, den USA und Japan. Finanzielle Unterstützung erfolgt durch Mittel aus den Forschungsprogrammen der Europäischen Union und der Deutschen Forschungsgemeinschaft.

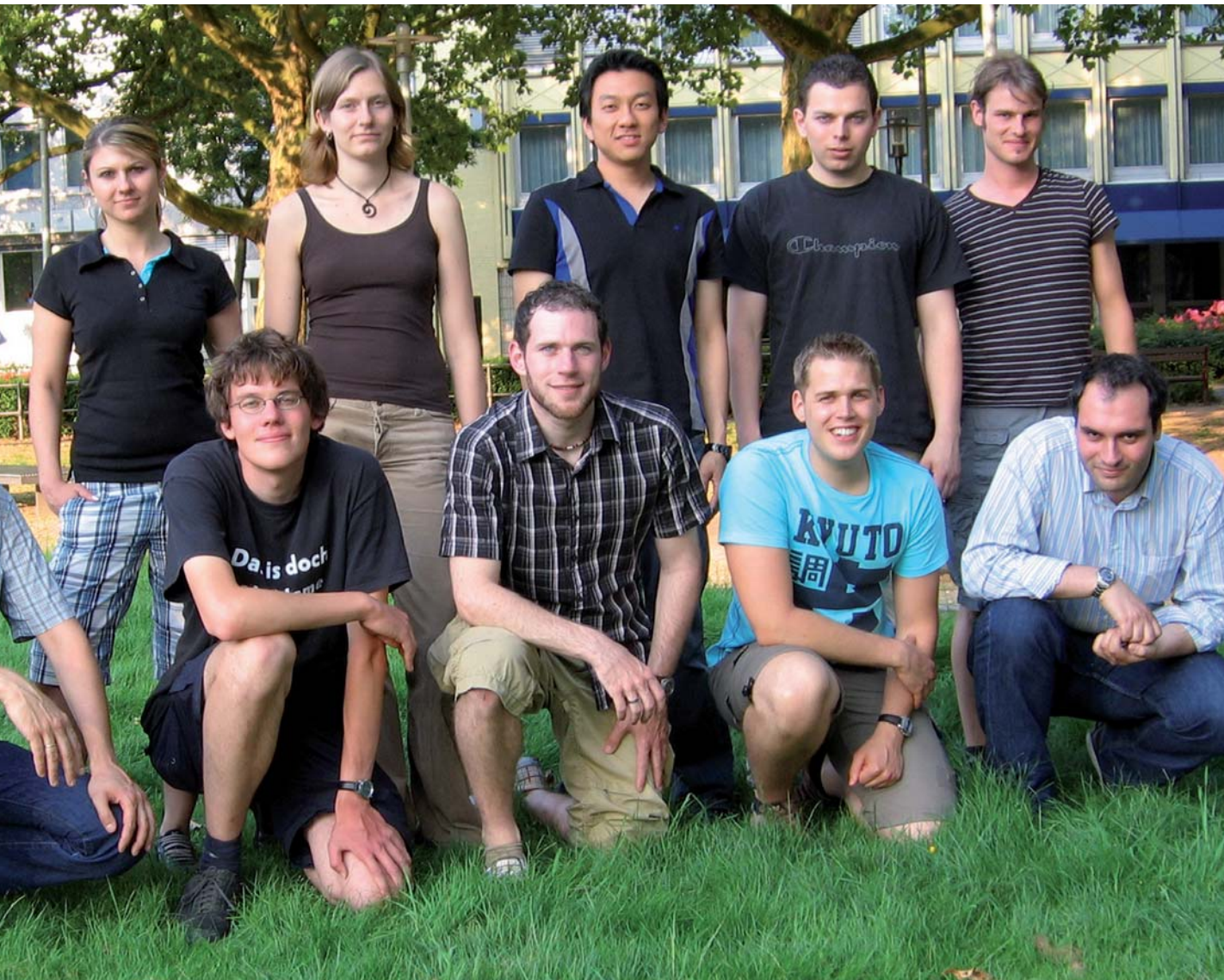
Nanokristalle speichern Daten

Ein zentrales Zukunftsthema der Materialwissenschaftler ist die möglichst verlustarme Speicherung von elektrischer Energie und elektronischen Daten. Die Forschergruppe um Hartmut Bracht entwickelte ein kostengünstiges nasschemisches Verfahren, um dielektrische Schichten mit speziellen Nanopartikeln zu synthetisieren. Das Verfahren wurde bereits zum Patent angemeldet. Die Ausprägung der Nanopartikel lässt sich durch die Parameter des nasschemischen Prozesses kontrollieren. Untersuchungen der Wissenschaftler belegen, dass man elektrische Ladungen in und an den Grenzflächen von Nanokristallen speichern kann.

Neuartige Ionenleiter in Festkörpern

Das ist ein erster und wichtiger Schritt auf dem Weg zu neuartigen Speichern für Daten und Energie. Diese Forschungen werden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft unterstützt. Für Brennstoffzellen, spezielle Batterien und so genannte Superkondensatoren gilt die so genannte Ionenleitung





Ein junges Team aus Wissenschaftlern der nächsten Generation, vorn links: Prof. Hartmut Bracht.

in Festkörpern als aussichtsreich. Die Forscher um Hartmut Bracht untersuchen, wie die Leitfähigkeit von Ionen in bestimmten Materialien und ungeordneten Strukturen beeinflusst wird. Dabei stehen vor allem ionenleitende Silikatgläser im Zentrum ihres Interesses.

Es geht darum, die energetischen Barrieren der Ionenleitung kontrolliert zu beeinflussen. Messungen der Leitfähigkeit und Experimente zur Wanderung der Ionen im Glasgefüge aus Silizium und Sauerstoff geben Hinweise, wie sich die netzartige Struktur des Glases auf die ionenleitenden Eigenschaften auswirkt. Dieses Projekt gehört zum Sonderfor-

schungsbereich „Ionenbewegung in Materialien mit ungeordneten Strukturen“ an der WWU Münster, den die Deutsche Forschungsgemeinschaft gleichfalls fördert.

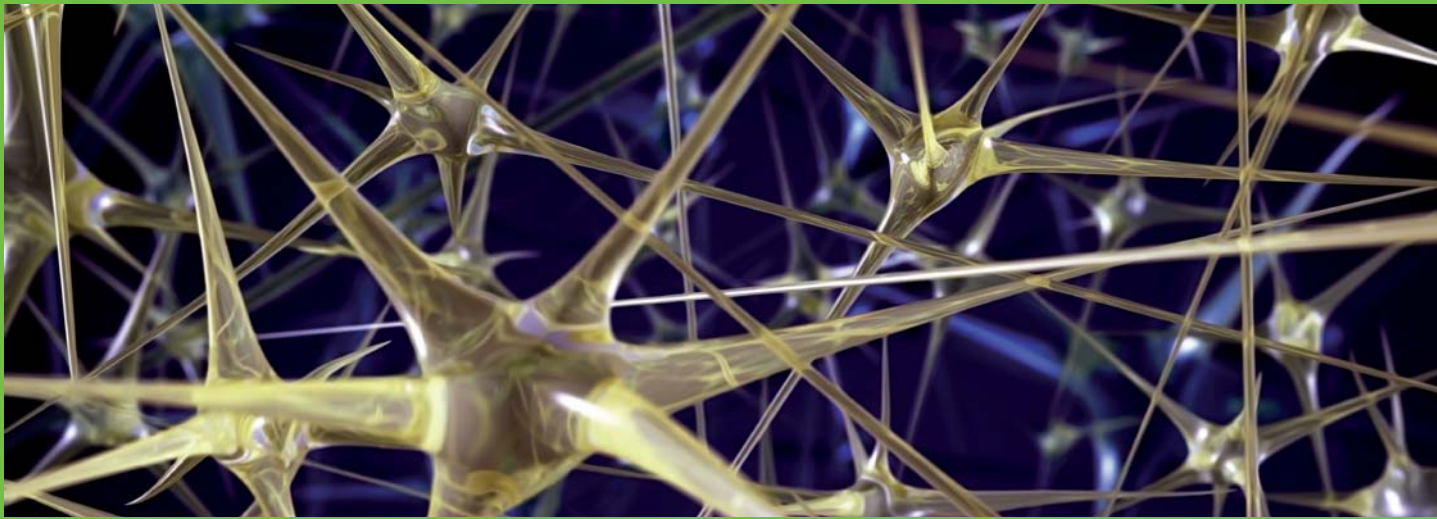
Prof. Dr. Hartmut Bracht

Institut für Materialphysik
Westfälische Wilhelms-Universität Münster
Wilhelm-Klemm-Straße 10, 48149 Münster
Telefon: 0251/83-39004
E-Mail: bracht@uni-muenster.de

Nanobiomedizin

Die Anwendung nanotechnologischer Konzepte in der Medizin verbindet zwei große interdisziplinäre Wissenschaftsgebiete mit einem beispiellosen sozialen und ökonomischen Potenzial. Diese Nanomedizin nutzt die Errungenschaften beider Forschungsfelder, wobei die gemeinsame Basis die Untersuchung spezifischer Eigenschaften auf der Molekülebene ist. Mithilfe lokaler Sonden und molekularer Bildgebungstechniken können Oberflächen- und Grenzflächeneigenschaften auf der Nanometerskala an vorgegebenen Messpunkten charakterisiert werden, während es mit chemischen Methoden gelingt, Oberflächen kontrolliert zu modifizieren und zu adressieren. Beispiele hierfür sind neuartige Konzepte für den gezielten Wirkstofftransport, die Optimierung der Biokompatibilität und neuroprothetische Anwendungen.

Während die Nanomedizin sich auf die Anwendung nanotechnologischer Konzepte für medizinische Zwecke beschränkt, umfasst die Nanobiotechnologie die gesamte Grundlagenforschung im Nanometerkosmos der biologischen Systeme. Dazu gehört auch die Untersuchung von Pflanzen.



Die Bedeutung der Nanobioanalytik und Nanomedizin hat bei der Einrichtung der Allianz für Wissenschaft zwischen der Stadt Münster, der Universität und der Fachhochschule Münster eine wichtige Rolle gespielt. In gemeinsamen Arbeitsgruppen werden von Mitgliedern des Stadtmarketings, der Universität, des Universitätsklinikums, der Fachhochschule und des Max-Planck-Instituts für molekulare Biomedizin sowie beteiligten Firmen Strategien erarbeitet, um die Möglichkeiten dieser Techniken bekannt zu machen und für neue medizinische Präventivmaßnahmen zu werben. Im Internet finden sich die eindrucksvollen Ergebnisse dieser strategischen Allianz (www.allianz-fuer-wissenschaft.de). Im folgenden Kapitel werden sowohl Projekte aus der Grundlagenforschung als auch medizinnahe Anwendungen vorgestellt. Sie veranschaulichen die Bedeutung der Nanobiomedizin, ihre Chancen und Herausforderungen.

Mit Licht gegen Bakterien und andere Erreger

Nanophotonische Kristalle öffnen neue Horizonte in der Medizin, Beleuchtungstechnik und Telekommunikation

Photonik ist die Wissenschaft vom Licht. Nanophotoniker studieren das Verhalten des Lichts im Bereich weniger Nanometer. Ein Nanometer ist der Millionste Teil eines Millimeters, tausendfach dünner als ein menschliches Haar. Mit Hilfe der Erkenntnisse aus der Nanophotonik ist man in der Lage, Materialien in ihrer atomaren Struktur zu modifizieren. Das eröffnet bisher undenkbbare Horizonte. Die Nanophotonik gehört zu den wichtigsten Zukunftsfeldern, denn sie könnte die Telekommunikation, die medizinische Diagnostik oder die Beleuchtungstechnik revolutionieren. Die Forschergruppe von Professorin De Cola stellt solche neuartige Materialien her und charakterisiert ihre nanophotonischen Eigenschaften. Von besonderem Interesse sind chemische Verbindungen, die Licht im sichtbaren und nahen infraroten Bereich emittieren, sowie die Kombination von biologischen Systemen mit anorganischen Strukturen. Ziel der Forscher ist es, solche Architekturen in der Biomedizin, in Leuchtdioden und in der Telekommunikation einzusetzen.

Die Basis bilden spezielle Zeolith-L-Kristalle, die mit verschiedenen Farbstoffen beladen sind. Sie lassen sich zu stangenförmigen Strukturen zusammensetzen, wobei nanometergroße Strichcodes entstehen. Um die Zeolithe in der Medizin nutzen zu können, muss man sie mit geeigneten Molekülen bestücken. Um sie beispielsweise als Kontrastmittel in der MRT-Diagnostik zu verwenden, werden sie mit Gadolinium-Einheiten versehen. Für die Anwendung in der nuklearen Bildgebung wurde ein Isotop des Indiums in die Kristalle eingeschleust und mit Stopfenmolekülen eingeschlossen.

Bakterien farbig markieren

Lumineszierende Zeolith-L-Kristalle kann man auch an lebende Bakterien binden, um sie farbig zu markieren. Die Resistenz von Bakterien gegen Antibiotika ist eine große Herausforderung für Mediziner. Bei der Bekämpfung von resistenten Krankheitserregern stehen die Ärzte mit stumpfer Waffe da – Infek-



Professorin Luisa De Cola zeigt das vergrößerte Modell eines Nanokristalls.

tionen mit solchen Erregern können nur schwer oder im schlimmsten Fall gar nicht bekämpft werden. Die Forscher der Arbeitsgruppe von Professorin De Cola haben ein Nanomaterial entwickelt, das resistente Bakterien abtötet.

Dabei zeigten die Wissenschaftler erstmals, dass man die Nanopartikel mit folgenden drei Funktionen ausstatten kann: Die Partikel heften sich gezielt an die Bakterien an, markieren sie und töten sie schließlich ab. Als Ausgangsmaterial verwenden die Forscher die erwähnten Zeolith-L-Nanokristalle. In einem einfachen und kostengünstigen Verfahren werden diese Nanopartikel mit einer Substanz versehen, mit deren Hilfe der Partikel an der Bakterie haftet. Zusätzlich werden die Partikel mit einem Farbstoff ausgestattet, der unter dem Fluoreszenzmikroskop grün leuchtet und die Bakterien sichtbar macht. Die Wirksamkeit der Nanopartikel beruht auf der Metho-

de der photodynamischen Therapie: Bei Bestrahlung mit Licht wird eine Reaktion in Gang gesetzt, in deren Folge die Bakterienzellen absterben. Dazu heften die Forscher einen dritten Stoff an die Mikrokristalle an, der durch rotes Licht aktiviert wird und aggressive Sauerstoffmoleküle erzeugt. Diese Moleküle, die man als Singulett-Sauerstoff bezeichnet, starten die tödliche Reaktionskette.

Die Arbeitsgruppe von Professorin De Cola verfügt über umfangreiche Erfahrungen im Design, der Darstellung und der Charakterisierung von neuartigen Metallkomplexen, die bei elektrischer Ansteuerung Licht emittieren. Diese können in organischen Licht-emittierenden Dioden (OLEDs) eingebaut werden, welche den eingespeisten Strom bis zu 100 Prozent in Licht umsetzen können, ohne Wärmeverluste. Zukunftsvision ist es, diese extrem dünnen Lichtquellen in farbechten Flachbildschirmen und großflächigen Beleuchtungsquellen einzusetzen. Daraus könnte man zum Beispiel leuchtende Tapeten herstellen.

Prof. Dr. Luisa De Cola

Physikalisches Institut/CeNTech
Westfälische Wilhelms-Universität Münster
Mendelstrasse 7, 48149 Münster
Telefon: 0251/980-2873
E-Mail: decola@uni-muenster.de

Professorin De Cola arbeitete mehrere Jahre lang erfolgreich mit Industriepartnern zusammen. Zu ihren Partnern zählen Philips Research, Ciba Specialty Chemicals und Siemens. Das Team gehört zum europäischen Forschungsprojekt „Organische Nanomaterialien für Elektronik und Photonik (ONE-P)“. Es arbeitet auch im Forschungsvorhaben „SO-Light“ mit, das vom Bundesforschungsministerium finanziert wird. Ein weiterer Kooperationspartner ist das Max-Planck-Institut für molekulare Biomedizin in Münster.

Neu Möglichkeiten für die Medizin

Dr. Cristian A. Strassert hat mit seinen Kollegen aus der Arbeitsgruppe von Professorin De Cola ein multifunktionales, hybrides Nanomaterial entwickelt, das an pathogene und gegen Antibiotika resistente Bakterien gezielt anbindet, sie sichtbar macht und mit ungefährlichem rotem Licht inaktiviert.

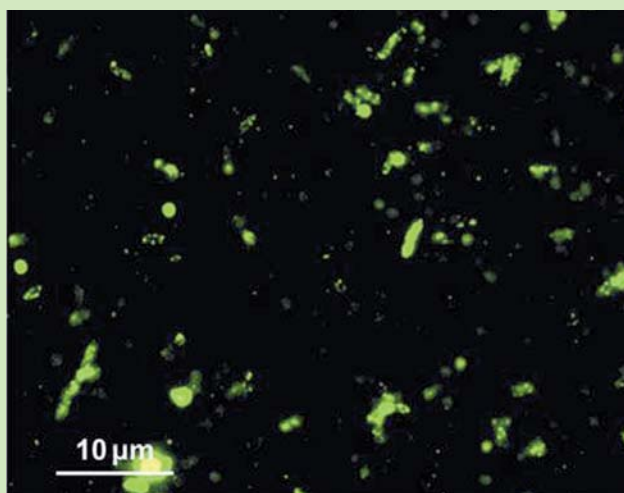
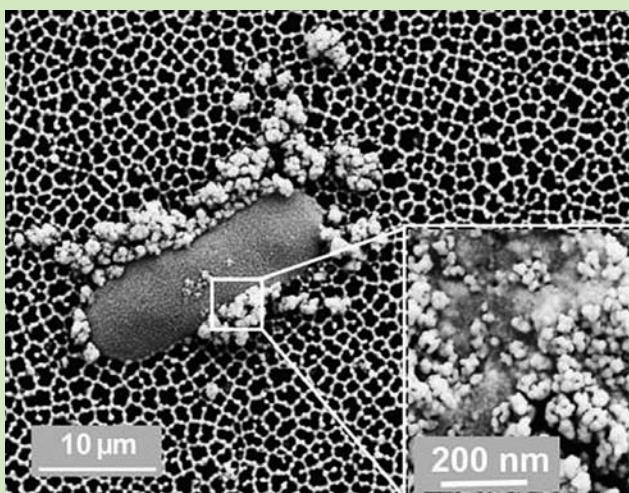


Bild links: Gezieltes Anbinden von multifunktionalem Nanomaterial. Rechts: Ein gegen Antibiotikum resistentes Bakterium wird photodynamisch inaktiviert.

Von Schmugglern, Barrieren und einem Trojanischen Pferd

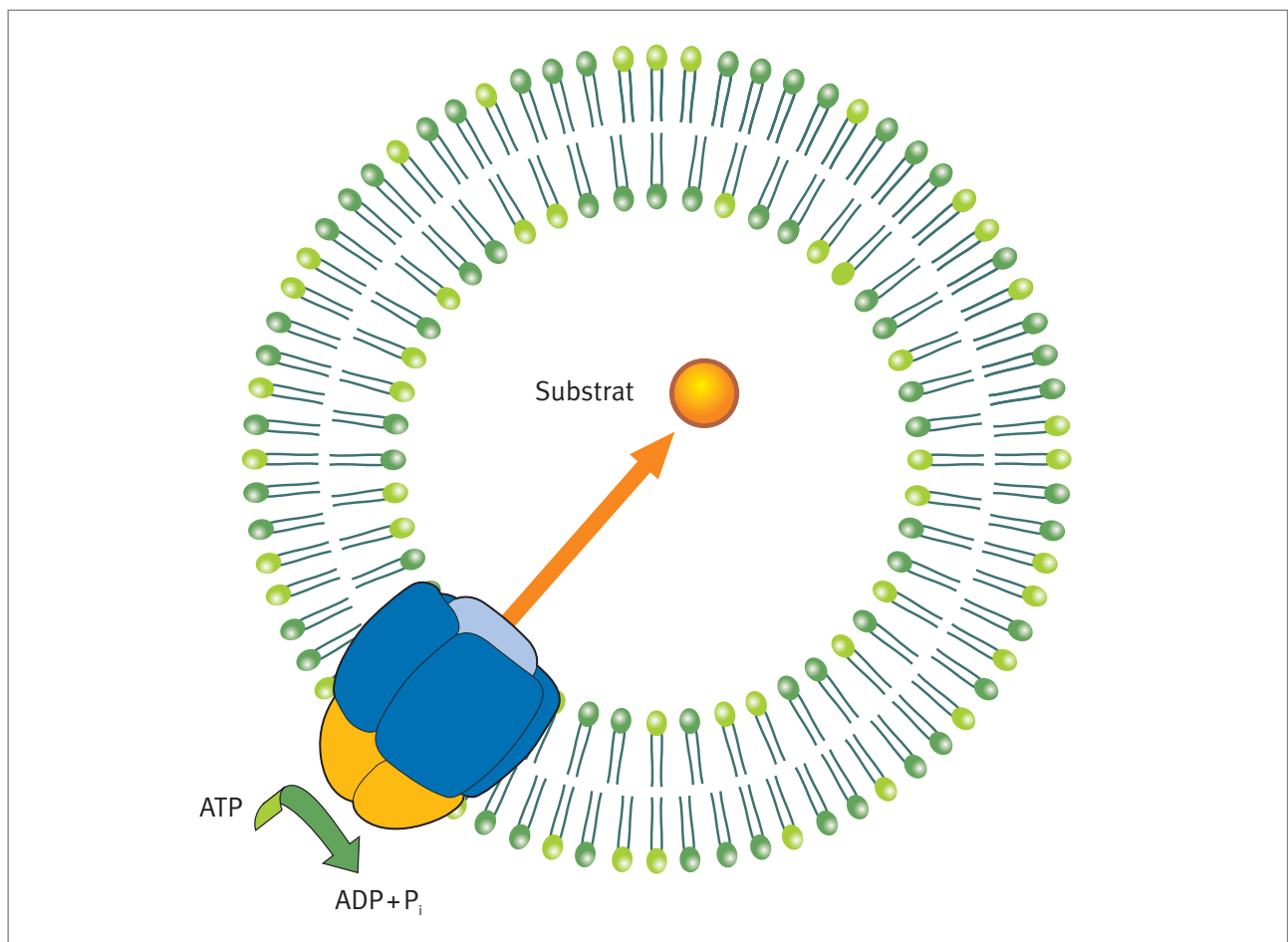
Nanopartikel und nanostrukturierte Biomembranen zielen auf neuartige Methoden der Diagnostik und der Therapie

Nanopartikel lassen sich in der Medizin auf sehr vielfältige Weise einsetzen. Sie öffnen neue Wege in der Diagnostik und Therapie von Krankheiten. So könnten Millionstel Millimeter große Sonden menschliche Zellen analysieren oder als Vehikel dienen, um pharmazeutische Wirkstoffe wohldosiert und punktgenau auszuliefern, auch über biologische Barrieren hinweg. Der Arbeitskreis von Professor Hans-Joachim Galla am Institut für Biochemie hat ein funktionelles Zellkultursystem entwickelt, mit dessen Hilfe man den Pharmatransport von Nanopartikeln über die Blut-Hirn-Schranke hinweg ins zentrale Nervensystem untersuchen kann. Herkömmliche Arzneimittel

sind nicht in der Lage, diese so genannte Multi-Drug-Resistance zu überwinden. Die Nanopartikel wirken also wie Schmuggler, um heilende Substanzen aus der Blutbahn in die Nervenzellen zu schleusen. Die Blut-Hirn-Schranke schützt das Gehirn gegen eindringende Substanzen aus dem Blut, um Störungen der Hirnfunktion zu vermeiden. Dazu bilden spezialisierte Endothelzellen eine feste Barriere. Diese Zellen sind mit nanostrukturierten Lipid-Protein-Komplexen verschweißt.

Eine Schranke im Hirn

Um ihre strukturelle Organisation zu verstehen, werden die Komplexe mit Hilfe von hochauflösenden Techniken untersucht. Zusätzlich zu dieser Diffusionsbarriere garantieren so genannte Effluxpumpen den ausgeglichen und stabilen Zustand (Homöostase) des Gehirns. Diese Transporter entfernen the-



So genannter ABC-Transporter überwindet eine biochemische Barriere, um den Wirkstoff ans Ziel zu bringen.

therapeutisch eingesetzte Pharmaka aus dem Gehirn und verhindern eine effektive medizinische Therapie etwa bei neuronalen Erkrankungen. Um diese Multi-Drug-Resistance zu umgehen, könnte man Nanopartikel einsetzen. Zur Erforschung dienen Zellkulturen, die die Blut-Hirn-Schranke in vitro nachbilden. Man kann sie auch nutzen, um gewebeschädigende Nebenwirkungen der Nanopartikel zu erkennen.

Ein Angriff auf die Lunge

Denn die Nanopartikel können nicht nur bei der Heilung helfen. Manchmal treten sie schädigend auf. Ein potenzieller Angriffspunkt ist die Lunge. Deshalb analysieren die Forscher auch die biophysikalischen Wechselwirkungen von Nanopartikeln mit dem Surfactant, einem Lipid-Protein-Film, der die innere Oberfläche der Lungenbläschen bedeckt. Der Film ist nur eine einzige Moleküllage dick und hat die Aufgabe, die Spannung der wässrigen, zellulären Oberfläche der Lunge zu verringern. Mit diesem Trick gelingt es der Natur, den Energieaufwand zur Expansion der Lunge beim Einatmen zu senken. Das ist für die Physiologie der Atmung essentiell.

Der Oberflächenfilm besitzt eine chemische Zusammensetzung und Nanostruktur, deren Aufklärung sich die Wissenschaftler zum Ziel gesetzt haben. Dabei haben sie verschiedene Techniken zur Hand: Filmwaage, Fluoreszenztechniken und die Rasterkraftmikroskopie. Es geht auch darum, einfache Lipid-Protein-Systeme zu finden, die als Ersatz dienen, falls der alveolare Surfactant aufgrund von Krankheiten beschädigt ist und seine Funktion nicht mehr ausreichend erfüllt.

Feine Nanopartikel in der Luft

Die feinen Nanopartikel in der Luft kommen beim Einatmen zuerst mit dieser Monoschicht in Kontakt. Dabei interessieren die Wissenschaftler vor allem zwei Fragen: Wie gelingt es den Nanopartikeln, die Luft-Blut-Grenze in den Lungenbläschen zu überwinden? Das setzt voraus, dass die funktionelle Strukturierung des Surfactants durch den Kontakt mit den Nanopartikeln modifiziert wird. Andernfalls würde der Lipidfilm nicht durchlässig. Die zweite wichtige Frage ist, ob die Nanopartikel bei ihrem Durchgang ins Blut Teile des Surfactants mit sich reißen. Das

würde die Eigenschaften zumindest an ihrer Oberfläche drastisch verändern, was wiederum für den Transfer durch die Zellschichten des Lungenepithels und für die Beurteilung ihrer Toxizität wichtig ist.

Wenn man diese Prozesse versteht, kann man biologische Membranen und ihre Nanostruktur gezielt überwinden oder anderweitig nutzen. Die Membranen bilden funktionelle Domänen aus, so genannte Rafts. Die eingangs erwähnten Transporter der Multi-Drug-Resistance zwischen der Blutbahn und dem Gehirn verlangen zum Beispiel eine besondere Lipidumgebung, um ihre Funktion zu erfüllen.

Die Wissenschaftler bauen solche strukturierten Oberflächen nach, um sie für Biosensoren einzusetzen. Dabei arbeitet die Forschergruppe von Professor Galla eng mit den Wissenschaftlern um Professor Armido Studer zusammen, unter anderem im Sonderforschungsbereich „Synergetische Effekte in der Chemie“. Ebenfalls im Sonderforschungsbereich kooperieren die Wissenschaftler mit dem Team des Biochemikers Volker Gerke, um spezielle Oberflächenproteine, die so genannten Annexine, zu strukturieren. Sie regeln die Aufnahme von Kalzium in Zellen.

Hydrogele für das Auge

Das Bundeswirtschaftsministerium fördert ein gemeinsames Forschungsprojekt von Experten der organischen Chemie und Spezialisten der Klinik für Augenheilkunde. Sie bauen neue Materialien auf, um den Glaskörper des Auges zu ersetzen. Dabei kommen spezielle Zweikomponentensysteme aus polymeren Hydrogelen zum Einsatz. Die Forscher um Professor Galla untersuchen ihre viskoelastischen Eigenschaften. An Zellkulturen überprüfen sie zudem, ob diese neuartigen Materialien medizinisch unbedenklich sind.

Prof. Dr. Hans-Joachim Galla

Institut für Biochemie

Westfälische Wilhelms-Universität Münster

Wilhelm-Klemm-Straße 2, 48149 Münster

Telefon: 0251/83-33201

E-Mail: gallah@uni-muenster.de

Lichtblitze machen Marker und Antikörper sichtbar

Luminartis gelang ein wichtiger Durchbruch bei speziellen Fluoreszenzfarbstoffen für die Bioanalytik

Die Luminartis GmbH hat sich auf die Entwicklung und Produktion von hochleistungsfähigen Fluoreszenzfarbstoffen (Labels) spezialisiert. Diese Substanzen benötigt man in der Bioanalytik, beispielsweise in der Immunfluoreszenz oder im so genannten In-vivo-Imaging. Die Farbstoffe werden an Antikörper oder geeignete Markersubstanzen gekoppelt und bilden so Konjugate, die man zum Beispiel mit Zellen in Kontakt bringt. Der Antikörper „erkennt“ dann eine spezifische Zellstruktur oder eine Tumorzelle und wird sichtbar, indem man ihn mit Licht einer bestimmten Wellenlänge bestrahlt. Der Fluoreszenzfarbstoff sendet dann ein charakteristisches farbiges Licht aus und gibt so Aufschluss über Ort und Menge der markierten Substanz.

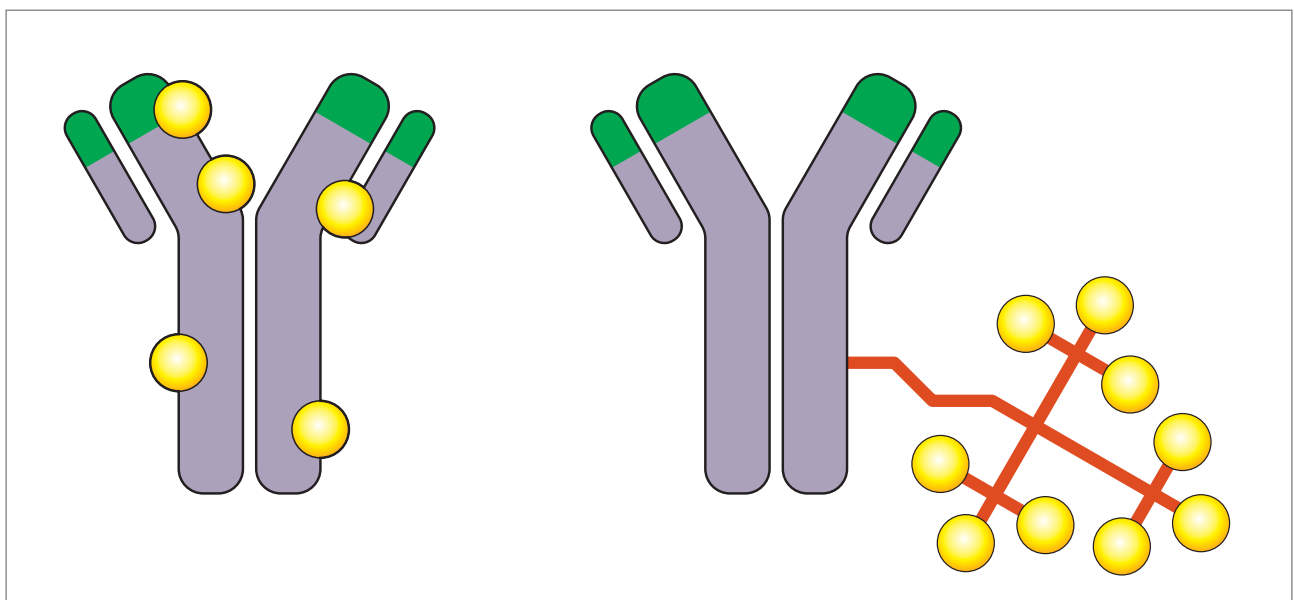
Beim In-vivo-Imaging werden Konjugate im lebenden Tier eingesetzt, um Tumore oder entzündliche Prozesse zu erkennen und sichtbar zu machen. Hier wird ausgenutzt, dass langwelliges, für das menschliche Auge unsichtbares Licht einige Zentimeter durch das Gewebe dringen und dabei Fluoreszenzfarbstoffe anregen kann. Diese nicht-invasiven diagnostischen Verfahren, die zunächst für Mäuse und Ratten eta-

bliert wurden, will man später auch für Menschen einsetzen. Erste Handscanner zur Früherkennung von Rheuma sind bereits kommerziell verfügbar und werden in großen Kliniken eingesetzt.

Obwohl der Markt derzeit eine Vielzahl meist organischer Fluoreszenzfarbstoffe bietet, ist ihr Einsatz in der Praxis oft durch verschiedene Faktoren eingeschränkt. Mangelnde Fluoreszenz, unerwünschte Wechselwirkungen mit dem Biomolekül oder zu hohes Hintergrundsignal sind dafür Beispiele.

Außergewöhnlich biokompatibel

Das Forscherteam der Luminartis GmbH hat ein neuartiges chemisches Verfahren entwickelt, um die Wasserlöslichkeit organischer Verbindungen zu verbessern. Auf diese Weise erhält man Fluoreszenzfarbstoffe mit außergewöhnlich hoher Biokompatibilität. Das heißt, sie sind für das zu untersuchende Gewebe besser verträglich, denn das gekoppelte Biomolekül wird in seinen Eigenschaften kaum beeinträchtigt. Umgekehrt zeigt der Farbstoff keinerlei unerwünschte Effekte. Dabei handelt es sich um ein generisches Verfahren, das universell angewendet und auf zahlreiche Farbstoffe, Sensoroberflächen oder Nanopartikel übertragen werden kann. Diese neuen Farbstoffe werden unter dem Handelsnamen Oyster vertrieben. Die Biokompatibilität spielt nicht nur bei der Wechselwirkung zwischen Fluorophor



Konventionelle Kopplung von Fluorophoren (links) und alternative Kopplungsmethode mit nanostrukturierten Farbstoffoligomeren.

und Antikörper eine wichtige Rolle, sondern kann auch darüber entscheiden, ob bestimmte Konjugate im Körper frei zyklieren und dann über die Blase ausgeschieden werden oder sich in der Leber anreichern. In Zusammenarbeit mit medizinischen Forschungsgruppen wurde gezeigt, dass sich die Oyster-Farbstoffe besonders gut für In-vivo-Imaging eignen.

Labelgrad kennzeichnet die Qualität

Ein wichtiger Parameter für Fluoreszenzfarbstoffe ist der Labelgrad. Darunter versteht man das molare Verhältnis von Fluorophor zum Biomolekül. Kommerzielle Antikörperkonjugate verwenden oft moderat wasserlösliches Fluorescein (FITC) oder Rhodamin (TRITC). Sie werden mit einem Labelgrad von 0.5 bis 2 angeboten. Mit besser löslichen Farbstoffen können mehr Farbstoffe pro Antikörper untergebracht werden, ohne dass die Funktionalität leidet. Im Ergebnis wird eine höhere Leuchtkraft der Konjugate erreicht.

Dennoch bleibt ein Problem: Trotz der hohen Biokompatibilität kann die Funktionalität eines Antikörpers durch kovalent gebundene Farbstoffe leiden. Dies ist der Fall, wenn zufällig ein Fluorophor in der Nähe der Antigenbindungsstelle gebunden wird (im Schema links). Aus den biokompatiblen Farbstoffen entstanden die nanostrukturierten Fluoreszenzfarbstoffe (NSF). Das sind kleine hydrophile Träger, die eine definierte Anzahl von Fluoreszenzfarbstoffen enthalten und gezielt an bestimmte Positionen eines Antikörpers oder eines anderen Biomoleküls ankoppeln. Wenige Bindungsstellen genügen, um diskrete Farbstoffpakete unterzubringen (rechte Seite im Schema). Das Resultat ist ein optimaler Kompromiss zwischen der minimalen Beeinflussung des Antikörpers und einem möglichst hohen Labelgrad.

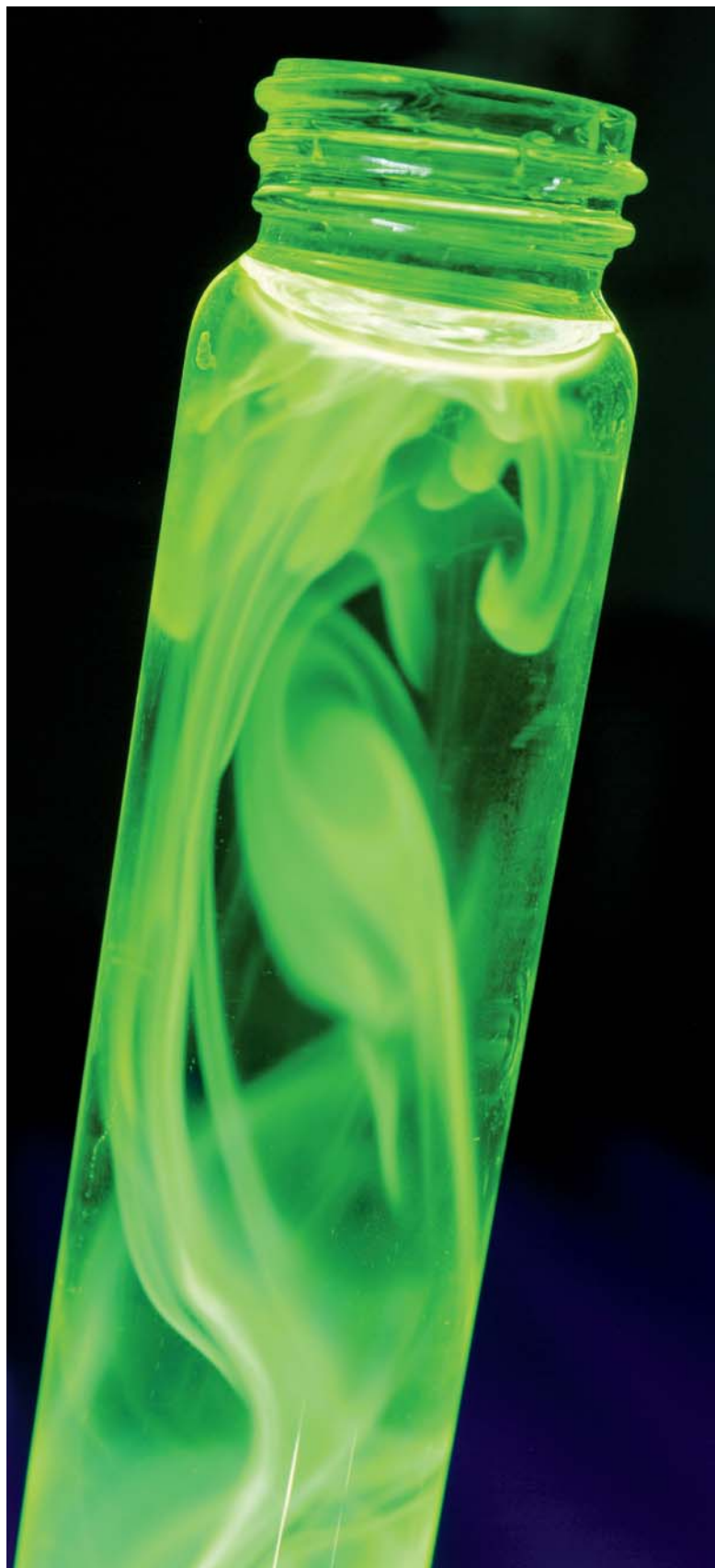
Dr. Lutz Haalck

Luminartis GmbH/CeNTech

Heisenbergstraße 11, 48149 Münster

Telefon: 0251/53406-210

E-Mail: info@luminartis.com



Ein tiefer Blick in das Wirrwarr der Synapsen

Spezielle Mikroskope erlauben ungeahnt feine Bilder von der inneren Struktur biologischer Zellen

Lebende Zellen sind für das menschliche Auge verborgen. Zu klein sind die Grundbausteine unseres Körpers, unserer Haut, unserer Organe, unseres Gehirns. Um sie zu erforschen, benötigt man spezielle Mikroskope und Methoden wie die Fluoreszenz. Darauf liegt der Schwerpunkt der Forschungen in der Arbeitsgruppe von Professor Jürgen Klingauf. Die Wissenschaftler analysieren unter anderem die Signalwege und Transportprozesse in lebenden Nervenzellen. An der Synapse, der Kontaktstelle zwischen zwei Nervenzellen, werden in kurzer Zeit so genannte Botenstoffe (Neurotransmitter) freigesetzt.

Sie stammen aus kleinen, den Synapsen vorgelagerten Bläschen (Vesikeln) und werden durch einströmende Kalziumionen angeregt, sich mit der Plasmamembran zu verschmelzen. Um die Funktion der Synapsen aufrecht zu erhalten, muss die Zahl der freisetzungsbereiten Vesikeln beständig aufgefüllt werden. Das erfolgt durch einen umgekehrten Prozess, die Endocytose. Zur Analyse dieses Vorgangs nutzen die Forscher verschiedene Techniken der Mikroskopie wie die Fluoreszenz-Photo-Aktivierungs-Lokalisations-Mikroskopie (FPALM), 4Pi-Mikroskopie und Total Internal Reflection Fluorescence Microscopy (TIRF). Sie erlauben Auflösungen von wenigen Nanometern, also den Blick tief in die in-

Prof. Dr. Jürgen Klingauf

Institut für Medizinische Physik und Biophysik/CeNTech
Westfälische Wilhelms-Universität Münster
Robert-Koch Straße 31, 48149 Münster
Telefon: 0251/83-56933
E-Mail: klingauf@uni-muenster.de

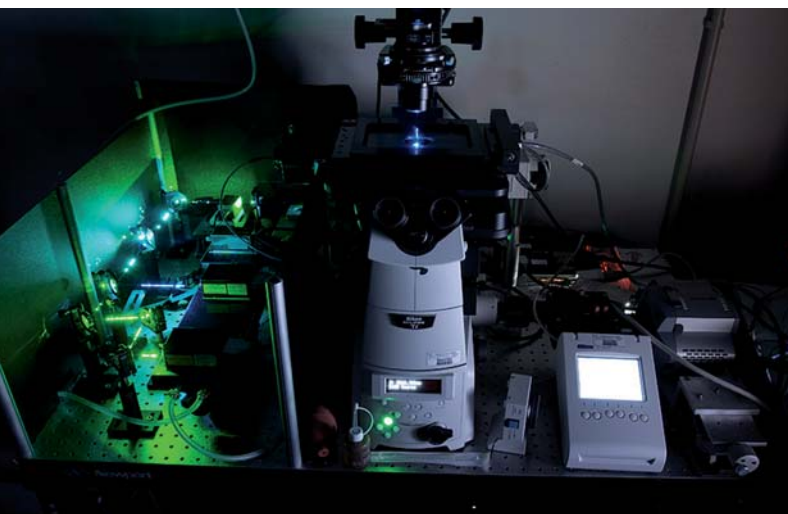
nere Chemie und Biologie der Zellen. Die Spezialmikroskope stehen dem Universitätsklinikum Münster und der Universität Münster im Rahmen der Imaging Facility „Fluorescence Microscopy Facility Münster“ zur Verfügung.

Unter FPALM versteht man eine neuartige hochauflösende Technik, die noch feiner als die klassische Fluoreszenzmikroskopie in die Zellen schauen kann. Das geschieht durch die präzise Lokalisierung einzelner fluoreszierender Proteine. Bei bestimmten Reaktionen geben diese Proteine einen Lichtblitz (Photon) ab, den man messen kann.

Zwei Nanoskope aufgebaut

Während der Messungen werden einige wenige Proteine aktiviert, so dass die präzise Bestimmung ihrer Position in der Zelle möglich ist. Kombiniert mit anderen Verfahren kann man die beobachtete Struktur sehr gut und vor allem auf Nanometer (ein Millionstel Millimeter) genau rekonstruieren. Die Forschergruppe von Professor Klingauf hat zwei solche „Nanoskope“ aufgebaut, an denen sie FPALM-Messungen vornehmen kann. Ein Gerät basiert auf einem kommerziellen TIRF-Mikroskop.

Es kombiniert die hohe laterale Auflösung von FPALM mit der vertikalen Auflösung der TIRF-Technik im Nanometerbereich. Beim zweiten Gerät handelt es sich um ein so genanntes Biplane FPALM. Man bezeichnet es auch als Doppeldecker, weil es zwei Messebenen simultan zu erfassen vermag. Dadurch kann man biologische Nanostrukturen auch in dicken Proben dreidimensional rekonstruieren. Die Genauigkeit beträgt lateral etwa dreißig Nanometer und vertikal etwa siebenzig Nanometer. Diese hohe Auflösung wird durch zwei gegenüberliegende Objektive erzielt. Auf diese Weise ist es herkömmlichen konfokalen Mikroskopen überlegen.



Bahn frei für Bakterien mit Außenbordmotor

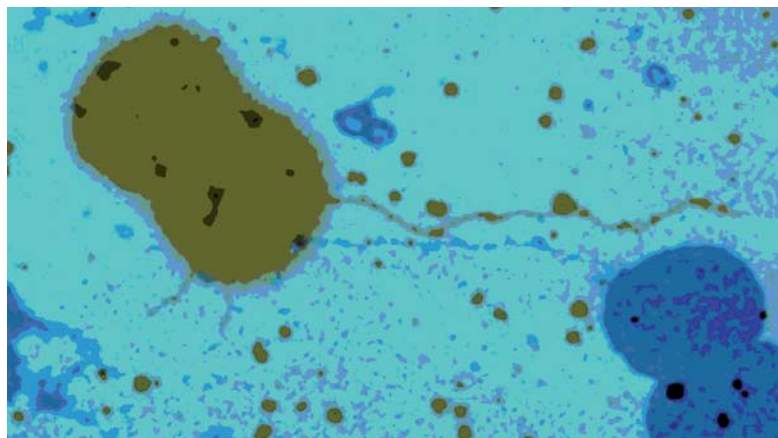
Krankheitserreger nutzen molekulare Antriebe, um Oberflächen zu besiedeln und Resistenzen zu entwickeln

Das Leben steht niemals still. Die Erzeugung gerichteter Bewegung ist essentiell für alle lebenden Organismen. Bakterien haben hierfür besondere Moleküle als Motoren entwickelt. Sie setzen chemische Energie in mechanische Arbeit um, genau wie Maschinen von Menschenhand. Die Forschergruppe von Professorin Berenike Maier befasst sich damit, den Mechanismus und die biologische Funktion solcher molekularen Motoren zu charakterisieren. Zunächst geht es um grundsätzliche Fragen. Die Wissenschaftler ergründen, wie eine Bewegung in den unvorstellbar kleinen Räumen und Distanzen in der Zelle entsteht und ihre Richtung erhält. Auf welche Weise erzeugen die Moleküle mechanische Kräfte?

Bekannt ist, dass biologische Zellen ihre Energie in chemischen Molekülen wie Adenosintriphosphat speichern. Oder sie verwenden Ionen, die sich an Zellmembranen sammeln. Diese Energie wird verwendet, um mechanische Arbeit zu leisten. Die Effizienz der Nanomotoren liegt oft bei fast hundert Prozent. Das heißt, sie setzen beinahe die gesamte chemische Energie in gerichtete Bewegung um. Ein Dieselmotor schafft das nicht, sein Wirkungsgrad erreicht gerade vierzig Prozent. Dabei arbeiten sich die molekularen Motoren in Schritten durch die Zelle, die nur einige Millionstel Millimeter (Nanometer) lang sind. Sie erzeugen vergleichsweise hohe Kräfte. Um die physikalischen Eigenschaften solcher Motoren zu bestimmen, haben die Forscher spezielle Messgeräte mit geeigneter Auflösung entwickelt. Mit Hilfe von Laserlicht bauen sie optische Pinzetten, um die Motoren zu manipulieren. Die Laserpinzetten erlauben es, die molekulare Kräfte und Bewegungen genau zu erfassen, bis zur Größenordnung von einzelnen Atomen.

Eingriff mit Laserpinzette

Besonders schwierig ist es, solche molekularen Motoren in lebenden Zellen zu charakterisieren. Mit den Laserpinzetten untersuchen die Forscher, wie es Bakterien gelingt, Moleküle des Erbguts (DNS) zu importieren. Durch den horizontalen Transfer von



Genen entstehen multiresistente Bakterienstämme. Der erste Schritt zum Gentransfer ist der Transport von DNS durch die äußere Hülle von Bakterien. Dieser Transport durch Nanometer große Öffnungen ist eine erstaunliche physikalische Leistung, denn die DNS ist um ein Vielfaches länger als ein Bakterium. Die Wissenschaftler haben herausgefunden, dass eine sehr starke und komplexe Maschine notwendig ist, um das Erbgut zu importieren. Gelänge es, diese Maschine zu blockieren, könnte man die Entstehung multiresistenter Bakterien eindämmen.

Mit Enterhaken unterwegs

Die Frage lautet: Lässt sich das Verhalten der Bakterien steuern? Viele Arten siedeln auf Oberflächen. Zu diesem Zweck haben sie Motoren entwickelt, die das Bakterium wie Enterhaken über Oberflächen ziehen. Den Wissenschaftlern ist es gelungen, die Oberflächen so zu strukturieren, dass sich die Bakterien auf wenige Mikrometer enge Straßen und Inseln beschränken mussten. Diese Methode (Microcontact Printing) wird interessant, um die Bildung und Dynamik von multizellulären Strukturen, insbesondere von Biofilmen, zu untersuchen.

Prof. Dr. Berenike Maier

Institut für Molekulare Zellbiologie
Westfälische Wilhelms-Universität Münster
Schlossplatz 5, 48149 Münster
Telefon: 0251/83-23920
E-Mail: maierb@uni-muenster.de

Die Vision der Zauberkekeln wird Realität

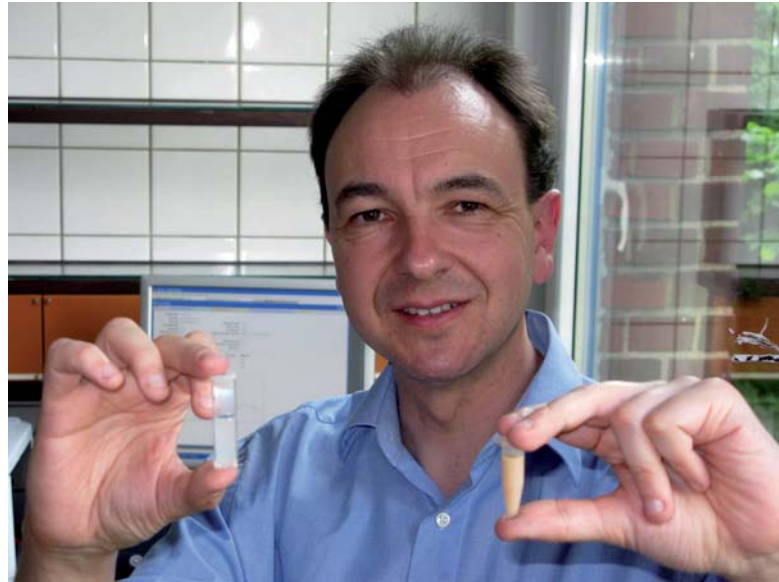
Nanopartikel können Arzneistoffe tragen und sie zielgerichtet in kranken Zellen anreichern

Spezielle Nanopartikel, die als Trojanische Pferde für Arzneimittel wirken, ermöglichen neue Perspektiven in der pharmakologischen Behandlung von Krankheiten. Die Arbeitsgruppe von Professor Klaus Langer am Institut für Pharmazeutische Technologie und Biopharmazie der Universität Münster sucht nach Wegen, die Arzneistoffe in Nanopartikeln zu verpacken und in kranken Zellen zielgerichtet anzureichern.

Schon vor hundert Jahren hatte der Wissenschaftler Paul Ehrlich die Vision von „Zauberkekeln“ für die Krebstherapie. Damit meinte er Arzneistoffe, die nur auf Krebszellen wirken und gesunde Zellen unbeschadet lassen. Ehrlich nahm an, dass jede Zelloberfläche mit spezifischen Rezeptoren ausgestattet ist, an die bestimmte Biomoleküle wie der Schlüssel zu einem Schloss passen. Während sich dieses Prinzip bei der Bekämpfung von Bakterien ausgezeichnet bewährte, erreichte Ehrlich keine Fortschritte in der Therapie von Krebs. Mit der Entwicklung der medizinischen Nanotechnologie ist man in der Lage, Partikel zu manipulieren, die weitaus kleiner sind als menschliche Zellen. Nun kann Ehrlichs Vision Wirklichkeit werden.

So funktioniert Drug Targeting

Wie verpackt man einen Arzneistoff, damit er als Medikament im Körper die gewünschte Wirkung entfaltet? Die klassischen Darreichungsformen – Tabletten, Kapseln oder Salben – beeinflussen die Freisetzung des enthaltenen Wirkstoffs, zeigen aber keinen Effekt auf dessen Verteilung im Körper. Der Arzt wählt diejenige Form, die eine optimale Verfügbarkeit und damit Wirkung im Körper verspricht. Bei Tabletten oder Salben erreicht aber nur ein Bruchteil des verabreichten Arzneistoffs den gewünschten Wirkort. Der Rest verteilt sich unkontrolliert über den ganzen Körper und kann unerwünschte Nebenwirkungen hervorrufen, welche die Lebensqualität der betroffenen Patienten oftmals erheblich beeinträchtigen – etwa in der Chemotherapie gegen



Professor Klaus Langer schleust Nanopartikel in Zellen ein

Tumore. Deshalb sucht die Pharmaforschung schon lange nach geeigneten Transportsystemen, um den Arzneistoff gezielt zum Ort der Erkrankung – den Tumor – zu bringen. Das nennt man Drug Targeting.

Nanopartikel befördern Wirkstoffe

Die Forscher der Arbeitsgruppe von Professor Langer verfolgen einen viel versprechenden Ansatz, um die Arzneistoffe im gewünschten Zielgewebe anzureichern. Sie setzen Nanopartikel ein, die den Wirkstoff an sich binden und durch den Körper transportieren. Aufgrund ihrer geringen Größe schaffen sie es, den gebundenen Wirkstoff in Organen, Geweben oder erkrankten Körperstellen anzureichern. Diese Art des Drug Targeting hat sich als ausgesprochen erfolgreich erwiesen.

Mittlerweile gelingt es den Nanotechnologen, die Strukturen der Partikel mazuschneiden. Sie bewegen sich in einer Größenordnung, in der auch die molekularen Prozesse in der Zelle ablaufen. Die Nanopartikel lassen sich in einheitlicher Größe und technisch reproduzierbar herstellen. Im Drug Targeting versucht man den transportierten Arzneistoff gezielt in Teilen des Körpers anzureichern, die auf andere Weise nur schwer oder gar nicht zugänglich sind.

Dazu muss man die Nanopartikel davor schtzen, dass sie von der körpereigenen Gesundheitspolizei, den Phagozyten oder auch Fresszellen genannt,

nicht angegriffen beziehungsweise vernichtet werden. Man kann die Oberfläche der Nanopartikel so gestalten, dass sie unbemerkt bleiben und diesen Angriffen entgehen. Dann steht ihrer Reise und dem Aufenthalt im Zielgewebe nichts mehr im Wege.

Wenn sie lange genug im Körper verweilen, können die Nanopartikel die unterschiedlichen Zellzwischenräume von gesundem und krankem Gewebe auffinden. Das nutzt man aus, um Arzneistoffe in Tumoren anzureichern. Allerdings ist die Tumoranreicherung noch nicht gleichbedeutend mit einer effektiven Anreicherung in einer einzigen Tumorzelle. Stattet man die Nanopartikel mit speziellen Erkennungsdomänen wie Antikörpern aus, können sie sich an bestimmte Zelltypen andocken. So reichert sich der Wirkstoff in der Zelle an.

Erfolgreich bei Brustkrebs

Solche intelligenten Partikelsysteme, die Tumorzellen aktiv erkennen, werden seit einigen Jahren von den Wissenschaftlern um Klaus Langer entwickelt und erforscht. Sie basieren auf biodegradierbaren Proteinen oder synthetischen Polymeren. In die Partikelmatrix lassen sich verschiedene Arzneistoffe einbetten. Die Oberfläche der Nanopartikel kann man mit Methoden aus der Proteinchemie modifizieren, in dem man sie je nach Zielgewebe mit spezifischen Liganden ausstattet.

Auf diese Weise kann man beispielsweise eine spezifische Anreicherung von Nanopartikeln in Brustkrebszellen erreichen, die das Antigen HER2 auf ihrer Oberfläche tragen. Nur Nanopartikel, die mit Arzneistoff beladen sind und zugleich auf ihrer Oberfläche

den passenden Liganden tragen, haben es geschafft, den Wirkstoff in den Brustkrebszellen anzureichern und freizusetzen. Tauscht man die Liganden aus, kann man die Nanopartikel für andere Anwendungen maßschneidern. So wurde in einem weiteren Projekt die Partikeloberfläche mit Apolipoprotein E (ApoE) als Ligand versehen. ApoE ist ein Protein, das der Körper für den Transport von Cholesterol und Fetten über den Blutstrom ins Gehirn nutzt.

Im Tiermodell waren diese Partikel in der Lage, ein Schmerzmittel über die Blut-Hirn-Schranke zu transportieren. Ohne ein solches Transportsystem lässt sich diese physiologische Barriere nicht überwinden. Die Ergebnisse nähren die Hoffnung, das bald die medikamentöse Therapie von Gehirntumoren möglich ist. Bisher scheitern die etablierten Darreichungsformen für Arzneien. Die Arbeiten der Wissenschaftler werden aus Mitteln des Projektes „NanoCancer“ des Bundesforschungsministeriums finanziert. Partner sind das Fraunhofer-Institut für Biomedizinische Technik in St. Ingbert, die Merck KGaA in Darmstadt und die Biolitec AG in Jena.

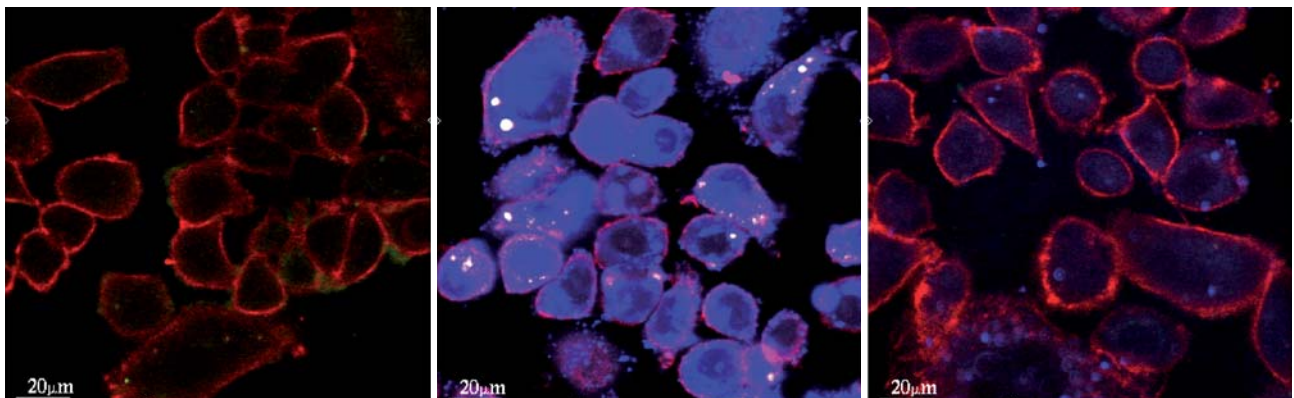
Prof. Dr. Klaus Langer

Institut für Pharmazeutische Technologie
und Biopharmazie

Westfälische Wilhelms-Universität Münster
Corrensstraße 1, 48149 Münster

Telefon: 0251/83-39861

E-Mail: k.langer@uni-muenster.de



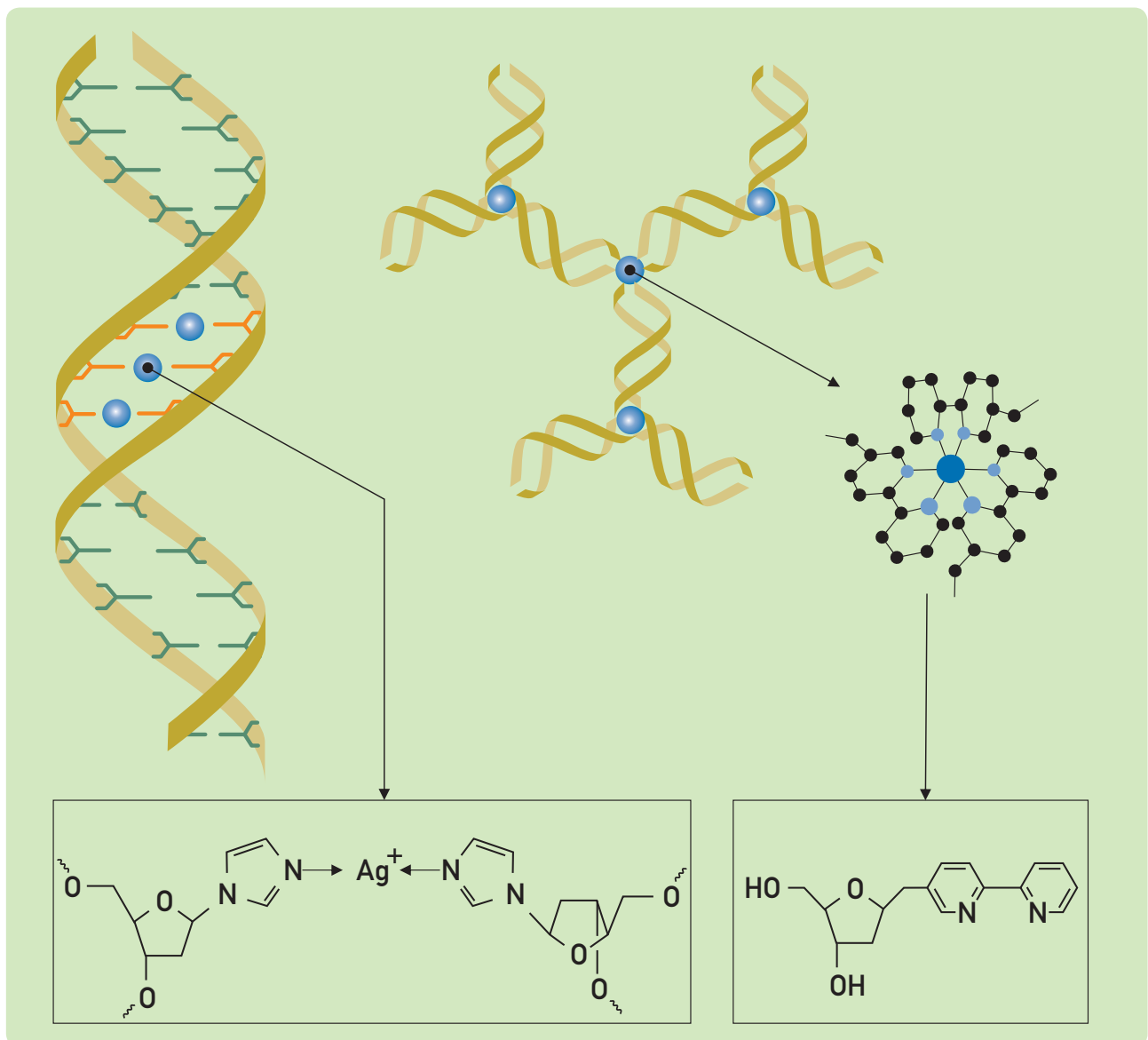
Mikroskopische Darstellung der Anreicherung eines blau markierten Arzneistoffs in Brustkrebszellen (rot) mittels Albumin

Das Erbgut als Vorbild für neue Kunststoffe

Mit Metallionen modifizierte Nukleinsäuren ermöglichen molekulare Nanosonden und spezielle Polymere

Die Erforschung des Trägers von Erbinformationen (Erbgut, DNS) macht gewaltige Fortschritte. Bei dem riesigen Molekül handelt es sich um eine so genannte Nukleinsäure, es bildet die Grundlage allen Lebens auf der Erde, vom Bakterium über die Pflanze bis zum Menschen. Im Verlaufe der seit Millionen

Jahren laufenden Evolution hat die Natur es unablässig verfeinert und optimiert. Mit Hilfe von eingeschleusten Metallionen versuchen Wissenschaftler, die Nukleinsäure in ihren Eigenschaften zu verändern, um Moleküle mit völlig neuen Eigenschaften zu synthetisieren. In der Gruppe von Professor Jens Müller werden die Metallionen punktgenau in die komplizierte chemische Struktur einer Nukleinsäure eingepflanzt. Die Forscher untersuchen, wie sich ihre Eigenschaften dadurch ändern und welche neuen Anwendungen sich daraus ergeben.



Zwei Möglichkeiten, Nukleinsäuren mit Metallionen zu funktionalisieren. Links: DNS-Duplex mit metallvermittelten Basenpaaren, rechts: Ausschnitt aus einem nanostrukturierten DNS-Metall-Aggregat. Die Metallionen sind jeweils als blaue Kugeln dargestellt.



Die Wissenschaftler nutzten die Spielregeln der Evolution für ihre Forschungen.

Modifiziert man die Nukleinsäuren mit künstlichen, metallvermittelten Basenpaaren, entsteht ein biologisch inspiriertes, synthetisches Polymer. Die Herstellung der künstlichen DNS-Moleküle erfolgt mit Hilfe eines Syntheseroboters.

Der Roboter setzt die Polymere

Die benötigten chemischen Bausteine (Monomere) werden von den Forschern synthetisiert und eingehend charakterisiert. Der Roboter setzt die Polymere aus den gut zugänglichen Monomeren schnell und automatisiert zusammen. Dadurch erreicht man eine Vielzahl unterschiedlicher Moleküle mit variablen Eigenschaften. Durch Kooperationen mit Wissenschaftlern unter anderem in Amsterdam, Madrid und Zürich erhält die intensive Erforschung dieser neuartigen Verbindungen eine breite Basis. In den vergangenen Jahren wurde die Synthese dieser Verbindungen mit zahlreichen Beispielen belegt. Nun

wollen sich Professor Müller und seine Mitarbeiter verstärkt der Untersuchung möglicher Anwendungen widmen. Im Sonderforschungsbereich „Synergetische Effekte in der Chemie“ gehen sie beispielsweise der Frage nach, inwiefern die Metallionen in der DNS den Ladungstransfer durch die Nukleinsäure beeinflussen. Die Anwendung als Nanosonde für Metallionen ist ebenso denkbar wie die Herstellung nanostrukturierter DNS-Aggregate mit Hohlräumen variabler Größe.

Prof. Dr. Jens Müller

Institut für Anorganische und Analytische Chemie
Westfälische Wilhelms-Universität Münster
Corrensstraße 28, 48149 Münster
Telefon: 0251/83-36006
E-Mail: mueller.j@uni-muenster.de

Vom Molekül zur Zelle und zum Menschen



Professor Hans Oberleithner (rechts hinten) mit seinem Team bei einer Arbeitsbesprechung

Drei Arbeitskreise erforschen neue medizinische Anwendungen, die sich aus der Nanotechnologie ergeben

Im Institut für Physiologie II forschen drei Arbeitskreise mit Methoden der Nanotechnologie, um die Funktion von lebenden Zellen aus dem komplizierten Wechselspiel der einzelnen Moleküle zu verstehen. Ihr wichtigstes Werkzeug ist das Atomic-Force-Mikroskop (AFM), das nicht nur einzelne Moleküle sichtbar macht, sondern auch manche bislang unbekannte Eigenschaft der Zelloberfläche ergründet. Ist sie weich oder hart, klebrig oder glitschig, glatt oder rau? Die Beantwortung dieser Frage bietet neue Perspektiven für das Verständnis von Krankheiten. Der Mediziner Professor Hans Oberleithner leitet das Institut für Physiologie II der Universität Münster und experimentiert mit Nanomethoden an Zellen der Blutgefäße und der Niere.

Der Mittelpunkt der Zelle ist der Zellkern. Er beinhaltet das genetische Material und ist von einer schützenden Membran, der Kernhülle, umgeben. Darin eingelassen sind tausende so genannte Kern-

porenkomplexe. Diese etwa hundert Nanometer großen Poren verfügen über eine gewisse Eigenintelligenz, das heißt, sie bestimmen, welche Moleküle in den Zellkern eindringen dürfen. Nach ähnlich strikten Regeln regulieren sie, wie die Blaupausen der Gene (Ribonukleinsäuren) aus dem Kern geschleust werden. Eine Forschergruppe unter Privatdozent Dr. Victor Shahin erforscht, wie zum Beispiel krankheits-erregende Viren in den Zellkern eindringen. Daraus erhoffen sich die Wissenschaftler neue Wege für die Gentherapie. Das Projekt wird seit mehreren Jahren aus Mitteln der Deutschen Forschungsgemeinschaft und der Europäischen Union gefördert.

Neue Therapie einer Lungenkrankheit

Ein weiteres Beispiel ist die Funktion der Lungenbronchien. Sie sind mit einer Zellschicht ausgekleidet, um die Atemluft auf die richtige Temperatur und Feuchtigkeit zu bringen. Bei der Mukoviszidose, einer genetischen Erkrankung, fällt das Schlüsselprotein CFTR für den Transport von Salz und Wasser an die Bronchialoberfläche aus. Im Laufe der Jahre stellen sich schwere Lungenschäden ein. Aus ihren Analysen wissen die Forscher um Gruppenleiter Pri-

vatdozent Dr. Hermann Schillers: CFTR funktioniert als Ionenkanal, den die Arbeitsgruppe im Jahr 2003 mittels AFM erstmals in der Membran von Eizellen identifiziert hat. Mit Hilfe eines mechanischen Nanosensors erforscht der Arbeitskreis derzeit, welcher Zusammenhang zwischen der Elastizität dieser Zellen und ihrem Sekretionsvermögen besteht. In Zusammenarbeit mit Biologen, Biophysikern und Medizinern werden dazu Methoden entwickelt, um die grundlegenden Mechanismen aufzudecken. Die neuen Erkenntnisse schaffen Ansatzpunkte für die Diagnostik und die Therapie dieser folgenschweren Erkrankung. Das Projekt wird seit 2004 aus Mitteln des Sonderforschungsbereiches „Molekulare Zelldynamik“ gefördert.

Zelltapete für Blutgefäße

Die dritte Forschergruppe beschäftigt sich mit einer Zelltapete (Endothel), mit der die Innenwand von Blutgefäßen ausgekleidet ist. Die Leitung dieses Arbeitskreises liegt in den Händen von Dr. Kristina Kusche-Vihrog und Professor Oberleithner. Endothelzellen spielen eine Schlüsselrolle bei der Aufrechterhaltung eines normalen Blutdrucks. Durch nanotechnologische Experimente ist es kürzlich gelungen, die Stei-

figkeit dieser Zellen in den direkten Zusammenhang mit der Regulation des Blutdrucks zu stellen. Salz und salzsparende Hormone versteifen die Zellen und schädigen damit Herz und Gefäße.

Prävention für Herz und Kreislauf

Der Arbeitskreis verwendet spezielle Nanotechniken, um die mechanischen Veränderungen der einzelnen Endothelzellen zu detektieren und daraus Funktionsprinzipien abzuleiten. Die Erkenntnisse öffnen neue Wege zur Prävention von Herz-Kreislauf-Erkrankungen. Das Projekt wird aus Mitteln der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert. Internationale Zusammenarbeit besteht mit verschiedenen Arbeitsgruppen in Europa, den USA, Südamerika und Japan.

Prof. Dr. med. Hans Oberleithner

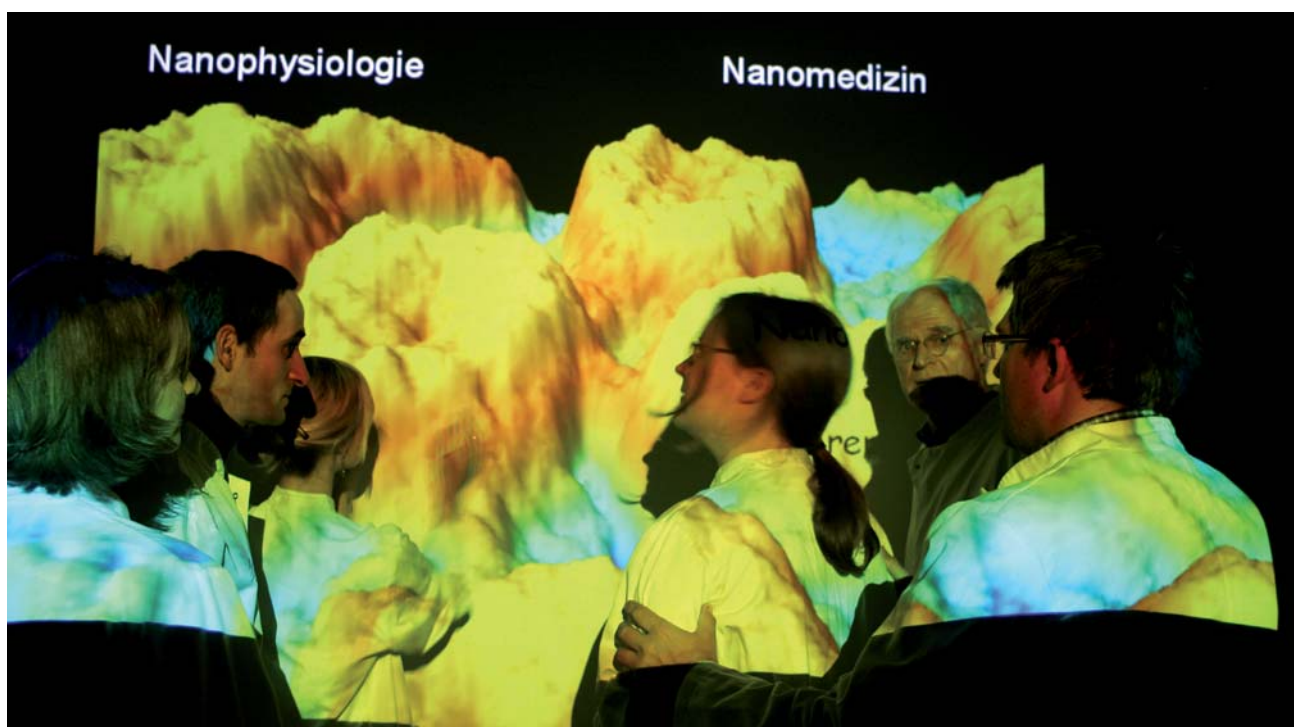
Institut für Physiologie II

Westfälische Wilhelms-Universität Münster

Robert-Koch-Straße 27b, 48149 Münster

Telefon: 0251/83-55328

E-Mail: oberlei@uni-muenster.de



Die Nanomedizin: Chance und Risiko zugleich

Neuartige Therapien werden vor dem Einsatz am Patienten auf ihre Verträglichkeit geprüft

Die Nanomedizin erforscht nanotechnologische Konzepte für die Diagnostik und Therapie. Das Potenzial ist immens. Dem stehen Bedenken bezüglich der gesundheitlichen Risiken gegenüber. Die Arbeitsgruppe von Dr. Kristina Riehemann beschäftigt sich nicht nur mit nanoanalytischen Ansätzen für die frühe Diagnostik von Erkrankungen. Sie untersucht auch das Risiko, das von Nanoteilchen in Zellen des Immunsystems und in barrierebildenden Zellen ausgeht.

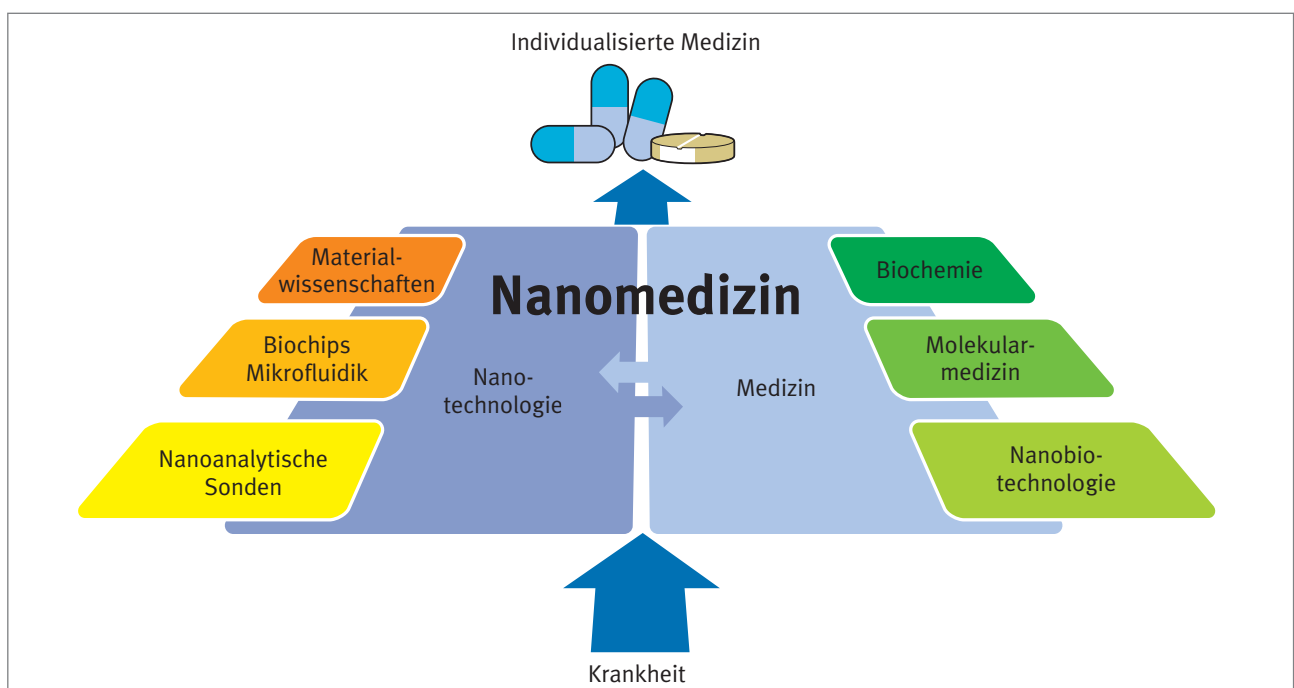
Die nanotechnologischen Methoden in Diagnostik und Therapie führten in den letzten Jahren zur rasanten Entwicklung der Nanomedizin. Analytische Werkzeuge wie lokale Sonden und molekulare Bildgebungstechniken erlauben es, die Eigenschaften von Oberflächen und Grenzflächen und ihren Einfluss auf das einzelne Atom oder Molekül exakt zu charakterisieren und zu kontrollieren.

Auf der anderen Seite steht die Medizin vor äußerst komplexen Herausforderungen. Aufgrund der steigenden Lebenserwartung der Bevölkerung

sind besondere Erkrankungen erkennbar, die in den kommenden Jahren erhebliche sozio-ökonomische Konsequenzen haben werden. Mit Hilfe neuartiger diagnostischer Konzepte, optimierter Biokompatibilität und neuroprothetischen Anwendungen wird die Nanomedizin diese Herausforderungen meistern. Sie öffnet neue Perspektiven, die von hohem industriellem und klinischem Interesse sind. Wesentlich wird sein, die Verträglichkeit der Nanopartikel und Nanostrukturen in der Zelle zu gewährleisten. Auch umweltschädigende Wirkungen freigesetzter Nanomaterialien sind auszuschließen.

Vielseitige Ansätze für die Diagnostik

Ein Beispiel ist die markerfreie Charakterisierung von Tumorzellen oder Zellen des Immunsystems. Sie birgt vielseitige Möglichkeiten in der Diagnostik. Die Elastizität der Zellen gilt als ein Parameter für pathologische Veränderungen. Im Verlaufe einer Krankheit verändern sich die Struktur des Zellskeletts und damit seine Elastizität. Das kann man durch verschiedene Methoden messen. Für die Analysen setzen die Forscher Tumorzelllinien als Modellsysteme ein und erweiterten die Untersuchungen auf Entzündungen, indem sie gesunde und entzündlich aktivierte Ma-



Übersicht über die Wissenschaftsfelder in der Nanomedizin



Dr. Kristina Riehemann (rechts) erforscht die Risiken der Nanotechnologie.

kropagenanalysierten und die Unterschiede in der Elastizität charakterisierten. Die Zellen werden dabei mit einer Rasterkraftspektroskopie und mit mikrofluidischen Techniken in einem elektrischen Oktupol manipuliert. Auf diese Weise erhält man statistisch abgesicherte Daten für die klinische Diagnostik.

Gut verträglich oder toxisch?

Der Einsatz von Nanomaterialien birgt das Risiko, dass sich im Falle von Unverträglichkeit das Zellgewebe entzündet, eine Immunreaktion zur Abstoßung zum Beispiel von Prothesen führt oder eine Wucherung (Krebs) entsteht. So ist beispielsweise bekannt, dass feine Ablagerungen, die durch den Abrieb in Hüftprothesen entstehen, Entzündungsreaktionen hervorrufen können. Darüber hinaus wandern Partikel im Körper und können in Geweben, die nicht das ursprüngliche Ziel sind, Schäden hervorrufen. Soll eine nanotechnologisch unterstützte medizinische Anwendung Erfolg haben, sind diese Risiken unbedingt auszuschließen.

Intensive Untersuchungen der Wechselwirkung von Zellen und Nanomaterialien sind daher notwendig. Hierzu braucht man unter anderem geeignete Werkzeuge und Methoden, die sich für Testverfahren mit hohem Durchsatz und einheitlichen Stan-

dards eignen. Eine etablierte Methode zur Überprüfung von biologischen Barrieren ist die Messung des elektrischen Widerstandes. Die Forscher der Gruppe von Dr. Riehemann haben diese Methode auf die Untersuchung der Toxizität von Nanoteilchen angepasst und für Routineanwendungen weiterentwickelt (cellZscope in Kooperation mit der Firma nanoAnalytics GmbH in Münster).

In Studien mit weißen Blutkörperchen des Menschen konnten sie zeigen, dass die meisten Nanoteilchen im direkten Kontakt mit diesen Zellen – zumindest im Reagenzglas – keine Entzündungsreaktionen hervorrufen. Viele der untersuchten Systeme scheinen bisher nur verhältnismäßig kleine und kurzzeitige Risiken darzustellen. Da noch verborgene Gefahren nicht auszuschließen sind, ist die systematische Abschätzung des Risikos unerlässlich.

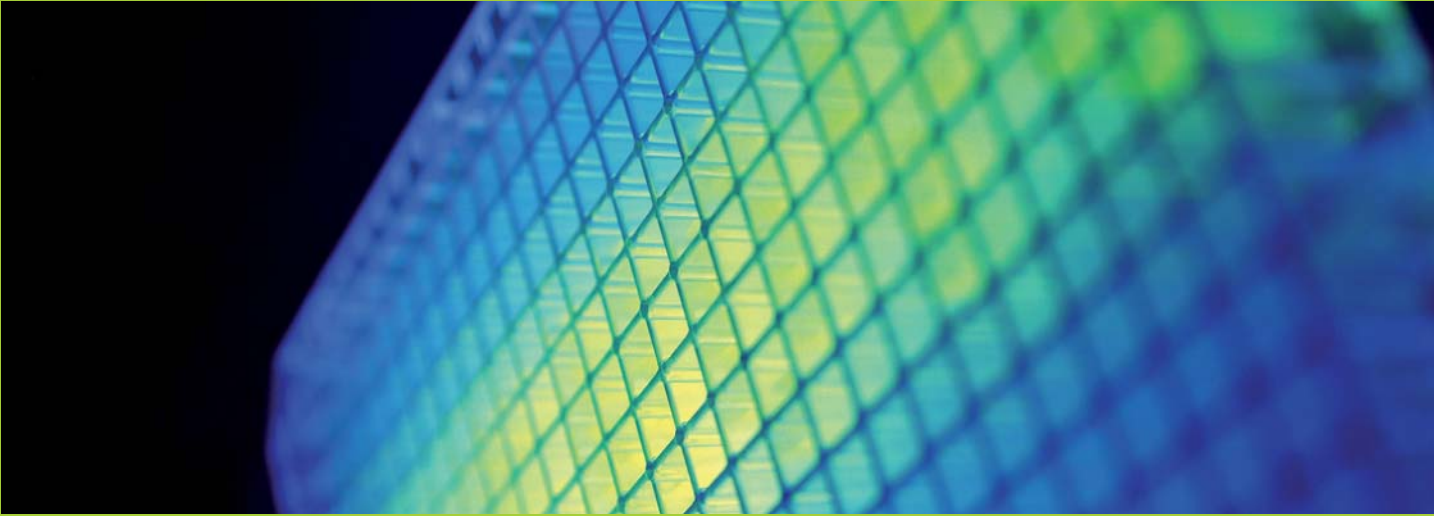
Dr. Kristina Riehemann

Physikalisches Institut/CeNTech
Westfälische Wilhelms-Universität Münster
Heisenbergstraße 11, 48149 Münster
Telefon: 0251/83-63803
E-Mail: riehema@uni-muenster.de

Nanoanalytik und Theorie

Die Entwicklung neuer Materialien und Werkstoffe wird wesentlich durch ihre molekulare Zusammensetzung und atomare Struktur bestimmt. Besonders wichtig sind hierbei Oberflächen. Wann immer wir im Alltag einen Gegenstand berühren, sind wir in Kontakt mit seiner Oberfläche, ganz gleich ob es sich um eine Tischplatte, ein Stück Eisen oder unsere Kleidung handelt. Entsprechend wichtig ist daher die Optimierung beziehungsweise die Veredelung von Oberflächen in praktisch allen Lebensbereichen. Meist haben diese Veredelungen mehrere Funktionen: Autolacke mögen wir zum Beispiel wegen ihrer Farbe oder ihres Glanzes. Zugleich schützen sie das Blech vor Korrosion. Kleidung soll dem Zeitgeist entsprechend schick aussehen und durchlässig für Schweiß sein, aber Regenwasser abhalten. Künstliche Blutgefäße und Implantate sollen viele Jahre halten und biokompatibel sein, Kunststoffe hingegen hart aber elastisch.

Diese Liste von Beispielen aus dem Alltag ließe sich nahezu beliebig erweitern. Sie alle stehen am Ende von komplexen iterativen Entwicklungs- und Optimierungsprozessen, bei denen die Nanoanalytik eine zentrale Rolle spielt. Sie umfasst die mikroskopischen und spektroskopischen Techniken mit teilweise molekularer und atomarer Auflösung. In ihrer Gesamtheit erlaubt sie es, die atomare Struktur, elektrische, magnetische und optische Eigenschaften und schließlich auch Transporteigenschaften, beispielsweise im Hinblick auf ihre elektronischen oder ionischen Leitfähigkeiten, ihre Stimulierbarkeit durch äußere Einflüsse wie Licht, elektrische Spannungen oder Inhaltstoffe aus der Umwelt zu untersuchen.



Nur durch die Kenntnis dieser Zusammenhänge auf der Skala der eigentlichen Baueinheiten, nämlich der Moleküle und Atome, gelingt die gezielte Entwicklung neuer Werkstoffe, Bauelemente, Sensoren und Pharmaka. Daher spielt die Nanoanalytik eine wichtige Rolle innerhalb des gesamten Spektrums der Nanotechnologien. Die Anwendungsbreite ist außerordentlich groß. Alle wichtigen Technologien benötigen die Analytik und das theoretische Fundament.

Die physikalische Nanoanalytik hat in Münster eine besondere Stellung – und eine lange Tradition. Münster verfügt über eine nanoanalytische Methodik, die in diesem Umfang und Spezialisierung an anderen deutschen Universitäten nicht verfügbar ist. Einige Beispiele werden auf den folgenden Seiten dargestellt. Die Messdaten aus den Analysegeräten und den Modellen erfordert meist eine ergänzende theoretische Interpretation. Zugleich kommen aus theoretischen Überlegungen wichtige Anregungen für spezielle Untersuchungen und Hinweise auf messbare Effekte, die zuvor noch nicht erkannt oder wahrgenommen wurden. Daher setzt eine erfolgreiche Forschung im Bereich der Nanoanalytik eine intensive Kooperation mit theoretischen Gruppen voraus. Einige ausgewählte Beispiele hierfür werden im diesem Kapitel vorgestellt.

Auf der Suche nach der Nadel im Heuhaufen

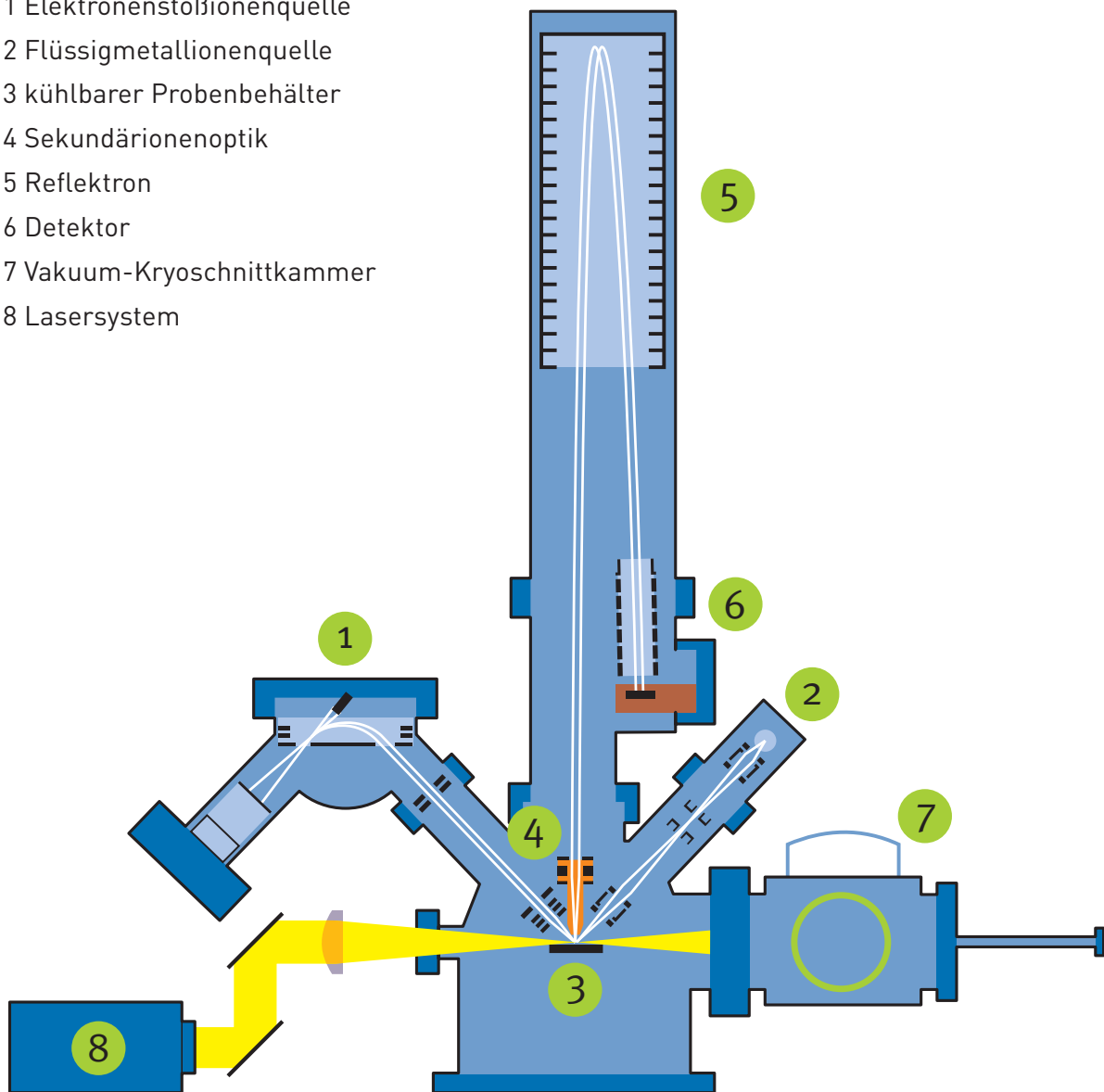
Moderne Verfahren der Massenspektrometrie spüren Atome und Moleküle auf und erforschen die chemischen Strukturen

Will man wichtige Eigenschaften von Materialien bestimmen, muss man ihre chemische Zusammensetzung erforschen. Dabei spielen der atomare Aufbau

und die Wechselwirkungen zwischen den Atomen eine wichtige Rolle. Man nimmt eine oder mehrere Proben, um die anorganischen oder organischen Substanzen bis hinunter zu einzelnen Atomen genau zu charakterisieren.

Man spricht von nanoskaligen Proben, deren Untersuchung drei zentrale Fragen beantwortet: Welche Elemente, Isotope, Moleküle oder funktionelle

- 1 Elektronenstoßionenquelle
- 2 Flüssigmetallionenquelle
- 3 kühlbarer Probenbehälter
- 4 Sekundärionenoptik
- 5 Reflektron
- 6 Detektor
- 7 Vakuum-Kryoschnittkammer
- 8 Lasersystem



Kombiniertes Kryoanalysegerät, eine Eigenentwicklung der Münsteraner Physiker

Gruppen sind in den Proben vorhanden? In welcher Konzentration liegen sie vor? Wie sind sie an der Oberfläche oder in der Tiefe des Materials verteilt beziehungsweise miteinander verbunden?

Die Arbeitsgruppe von Professor Heinrich Arlinghaus am Physikalischen Institut der WWU Münster rückt den unbekannten Substanzen mit modernster Technik zu Leibe. Ein Beispiel ist die so Flugzeit-Sekundärionen-Massenspektroskopie (Time-of-Flight Secondary Ion Mass Spectrometry: ToF-SIMS). Dabei wird die Oberfläche eines Festkörpers (Probe) mit elektrisch geladenen Atomen (Ionen) beschossen. Diese Ionen schlagen atomares oder molekulares Material aus der obersten Probenlage, den die Physiker als Sekundärteilchenfluss bezeichnen. Es besteht aus neutralen oder geladenen Teilchen, also gleichfalls aus Atomen oder Molekülen. Elektrisch geladene Sekundärteilchen lassen sich mit Hilfe der ToF-SIMS-Apparatur nachweisen. Allerdings bilden sie oft nur einen geringen Anteil am emittierten Sekundärteilchenfluss, wodurch die Empfindlichkeit dieser Methode begrenzt ist.

Mit modernster Technik

Deshalb greifen die Wissenschaftler auf ein zweites Verfahren zurück, die so genannte Lasernachionisierungs-Sekundärneutralteilchen-Massenspektrometrie (Laser Secondary Neutral Mass Spectrometry: Laser-SNMS). Der elektrisch neutrale Anteil des Teilchenmaterials wird in der Gasphase nachträglich mit einem Laser angeregt (ionisiert). Diese Methode erfordert genaue Kenntnisse der Prozesse, um die Ergebnisse aus der Nachionisierung korrekt zu interpretieren. Denn in der Nanowelt der Atome und Moleküle sind vielfältige Korrelationen und Fragmente möglich, die Resultate nicht immer eindeutig.

Beschießt man die Probe mit einem gerasterten und gebündelten Ionenstrahl, kann man die flächige Verteilung der Teilchen in der Probenoberfläche ermitteln. Man spricht von Lateralverteilung. Die Wissenschaftler erhalten einen Einblick in die Verknüpfung der Atome und Moleküle in der obersten Teilchenlage, die maßgeblich die Eigenschaften bestimmt. Setzt man eine zusätzliche Ionenquelle ein, kann man die Probe Schicht für Schicht abtragen und erhält auf diese Weise die chemische Zusammen-

setzung und Struktur im Probeninnern. Das nennt man ein Tiefenprofil. Setzt man diese Informationen zusammen, ergibt sich der dreidimensionale Aufbau der Materialprobe. Die Münsteraner Physiker haben aus den beiden Apparaturen ToF-SIMS und Laser-SNMS ein weltweit einzigartiges Kombinationsgerät entwickelt, in dem eine Festkörperprobe bei sehr tiefen Temperaturen analysiert werden kann. Dieses Kryoanalysegerät mit integriertem Kryomikrotom erlaubt es beispielsweise, zu Festkörpern gefrorene biologische Proben direkt im Vakuum so zu bearbeiten, dass man ihre dreidimensionalen Struktur untersuchen kann. Dieses neuartige Verfahren wurde unter anderem eingesetzt, um pharmazeutische Wirkstoffe in Zellen und Geweben aufzuspüren und zu quantifizieren. Auch wurden damit Nanopartikel in Zellen oder toxische Aerosolpartikel in der Luft nachgewiesen.

Tiefgekühlte Bioproben

ToF-SIMS und Laser-SNMS beantworten zahlreiche Fragen in der Nanoanalytik, in der Nanoelektronik, in der Erforschung der Wirkungsweise von pharmakologischen Stoffen oder in der Entwicklung von Biosensor-Chips, um DNS- und Protein-Sequenzen zu identifizieren. Die Palette reicht bis zur Umweltforschung, zur Paleo-Ozeanografie oder zur Charakterisierung von Wälzlagern und Kupplungen, deren Oberflächen besonderen Beanspruchungen ausgesetzt sind. So entwickelte die Arbeitsgruppe von Professor Arlinghaus beispielsweise neue Methoden, um pharmakologische Wirkstoffe zur Zerstörung von Tumoren in den betroffenen Zellen zu orten und zu quantifizieren. Zu diesem Zweck nahmen die Wissenschaftler winzige Proben aus dem Tumorgewebe von Versuchstieren unter die Lupe. Für die Klimaforschung wurde gefrorenes Plankton analysiert.

Prof. Dr. Heinrich Arlinghaus

Physikalisches Institut

Westfälische Wilhelms-Universität Münster

Wilhelm-Klemm-Straße 10, 48149 Münster

Telefon: 0251/83-39064

E-Mail: arlinghaus@uni-muenster.de

Weltweit einzigartige Analysetechnik

Die Tascon GmbH bietet einen umfassenden Gerätepark, um die Oberflächen von nanostrukturierten Proben zu untersuchen

Die Tascon GmbH bietet analytische Dienstleistungen und kompetente Beratung in der Oberflächenanalytik an. Der Schwerpunkt liegt auf den drei Verfahren ToF-SIMS, LEIS und XPS. Darüber hinaus offeriert das Unternehmen seinen Kunden alle gängigen Methoden zur Analyse von Oberflächen. Die Kunden der 1997 gegründeten Firma stammen aus der Halbleitertechnik, Automobilindustrie, der Lack-

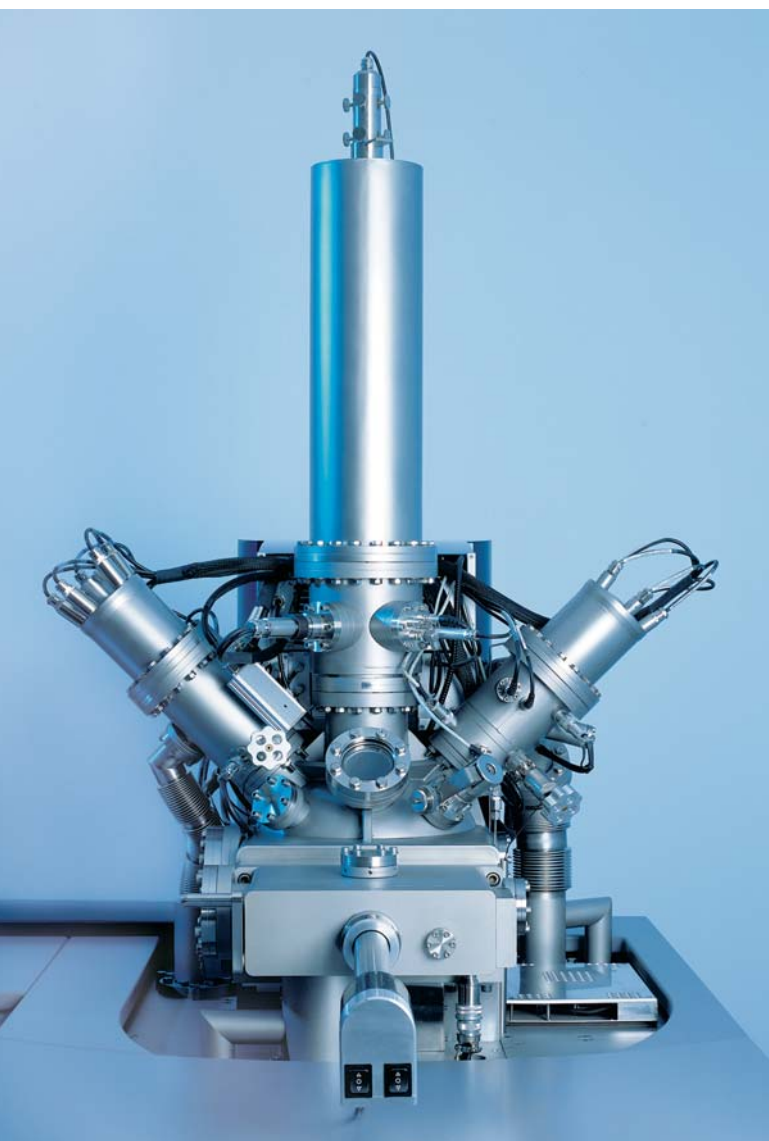
industrie, Glasindustrie, Pharmazie, Medizintechnik und der chemischen Industrie. Die Tascon GmbH ist nach ISO 9001 zertifiziert und als ToF-SIMS-Prüflabor gemäß DIN 17025 akkreditiert. Der Erfolg des Unternehmens beruht neben dem stets aktuellen Gerätepark auf der interdisziplinären Zusammenarbeit der hochqualifizierten Mitarbeiter, die aus der Physik, Chemie, Biologie, Biochemie und Geologie kommen. Die Tascon GmbH hat ein Tochterunternehmen in Chestnut Ridge im US-Bundesstaat New York.

So funktioniert ToF-SIMS

Während einer Analyse mit der Flugzeit-Sekundärionenmassenspektrometrie (ToF-SIMS) wird die Probe mit einem Ion beschossen. Dieses Ion – ein elektrisch geladenes Atom – verfügt über eine hohe Masse und sehr viel Energie. Sein Aufprall führt auf der Probe zu einer Stoßkaskade, in deren Folge sich Bestandteile aus der Probenoberfläche lösen. Diese kann man, soweit sie elektrisch geladen sind, mit Hilfe eines Massenspektrometers nachweisen. ToF-SIMS zeichnet sich durch eine hohe Empfindlichkeit für Moleküle und Elemente aus, sie analysiert die untersuchte Stelle bis zu einer Tiefe von nur drei bis fünf atomare Monolagen. Ihre Bilder lösen die flächige Struktur auf hundert Nanometer genau auf. Das Gerät kann auch Informationen über die Zusammensetzung der Probe in tiefer liegendem Material liefern. Die Tascon GmbH ist der derzeit führende Anbieter für analytischen Service mit ToF-SIMS in Europa. Sie betreibt das weltweit größte ToF-SIMS-Analyselabor an einem Standort.

LEIS streut Ionen

Auch bei der Niederenergetischen Ionenstreuung (LEIS) wird die Probe mit Ionen beschossen. Hierbei handelt es sich um die relativ leichten Ionen von Edelgasen, die in diesem Fall mit einer sehr niedrigen Energie auf die Probe geschossen werden. Sie werden an den obersten Atomen der Probe gestreut. Aus dieser Streuung kann man die Masse der Atome ermitteln, an denen das Ion zurückprallte. LEIS ist das derzeit empfindlichste Verfahren für Oberflächen und erlaubt die quantitative Bestimmung der chemischen Elemente in der äußersten atomaren Monola-



ToF-SIMS-Gerät für die chemische Oberflächenanalytik



Das Team der Tascon GmbH um Dr. Daniel Breitenstein (ganz links) und Dr. Birgit Hagenhoff (rechts daneben).

ge. Das Verfahren liefert Bilder mit einer Lateralauflösung von rund zehn Mikrometern. Auch LEIS bietet Informationen über die Tiefe der Probe. Die Tascon GmbH ist derzeit der einzige kommerzielle Anbieter für analytischen Service mit dieser Technologie auf der Welt.

Röntgenstrahlen liefern Informationen

Im Gegensatz zu den zuvor genannten Technologien wird bei der Röntgeninduzierten Photoelektronenspektroskopie (XPS) die Probe nicht mit Ionen sondern durch Röntgenstrahlen angeregt. Die energiereiche Strahlung löst Elektronen aus den Atomen der Probenoberfläche. Anhand der gemessenen Energie der Elektronen kann man Rückschlüsse auf ihre Bindungsenergien im Atomverband ziehen. Das wiederum erlaubt quantitative Informationen über die chemischen Elemente der Probe und die Bindungszustände der oberflächlichen Atome. XPS

liefert gleichfalls Bilder mit einer Lateralauflösung von zirka zehn Mikrometern. Die obersten zwanzig atomaren Monolagen lassen sich analysieren.

Kombiniert man alle drei Techniken, kann man sowohl die Art der gewonnenen Informationen über Elemente, Verbindungen oder Bindungszustände, als auch die Informationstiefe der Analyse variieren. Somit ist es möglich, umfassende Informationen über die Zusammensetzung der Probenoberfläche zu gewinnen.

Dr. Birgit Hagenhoff
Dr. Daniel Breitenstein

Tascon GmbH

Heisenbergstraße 15, 48149 Münster

Telefon: 0251/1622-400

E-Mail: tascon@tascon-gmbh.de

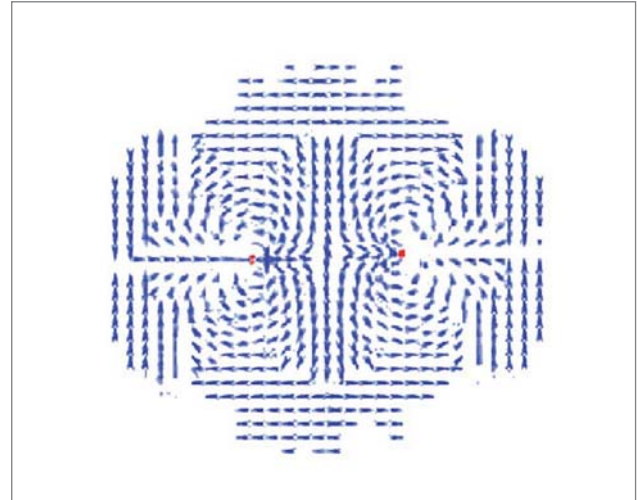
Selbstorganisation: Vom Chaos zur Ordnung

Auf geheimnisvolle Weise findet die Materie ihre Struktur von selbst: Solche Prozesse bestimmen die Nanophysik

Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile: Gemäß dieser Erkenntnis untersucht die Arbeitsgruppe „Selbstorganisation und Komplexität“ von Professor Rudolf Friedrich, wie sich Systeme in ihrem Innern selbst organisieren – fern vom Zustand des Gleichgewichts. Das Spektrum reicht dabei von der Dynamik bakterieller Motoren, der Musterbildung in dünnen Flüssigkeitsschichten über Plasmaturbulenzen in einem Fusionsreaktor bis zu neuronalen Netzen. Allen diesen Systemen ist gemein: Aufgrund nichtlinearer Wechselwirkungen ihrer Subsysteme bilden sich räumliche, zeitliche und raumzeitliche Strukturen aus, die in isolierten Subsystemen nicht auftreten. Die Strukturen entstehen spontan und durch Prozesse der Selbstorganisation.

Universelle Eigenschaften

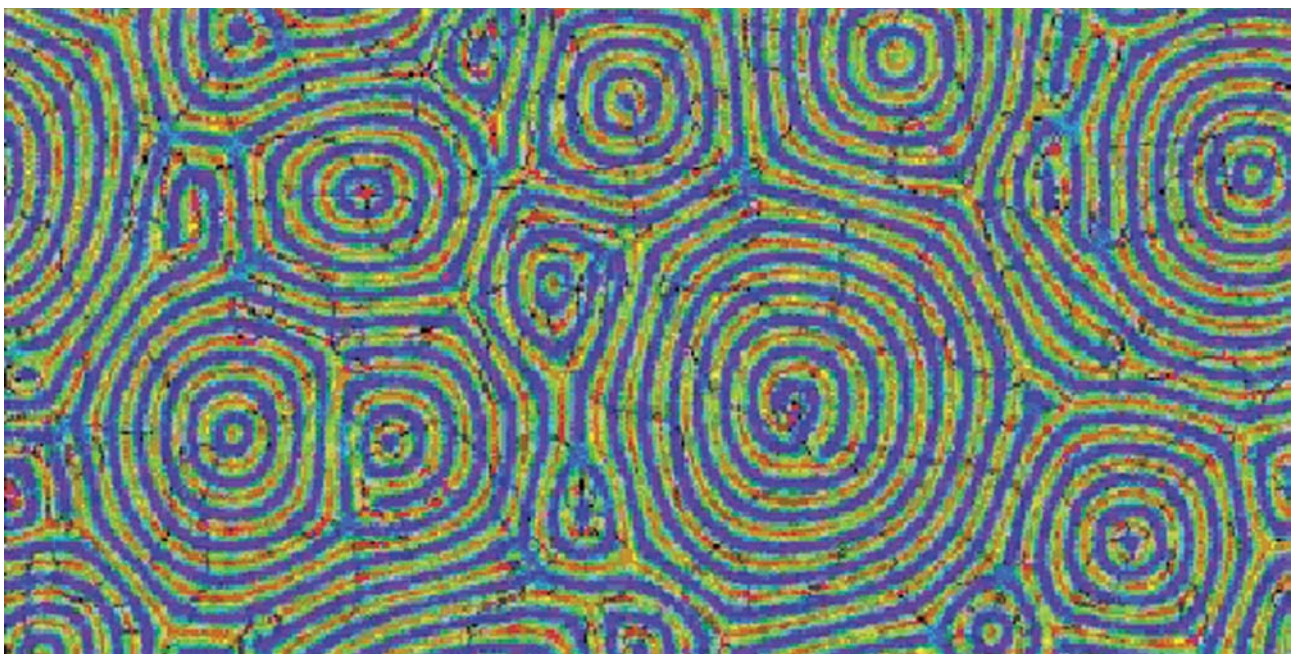
Diese Prozesse besitzen universelle Eigenschaften, deshalb lassen sich so verschiedenartige Systeme durch eine einheitliche mathematische Theorie beschreiben. Beispiele für solche Strukturbildung



Geordnete Struktur in einer Nanoprobe

sind Wolkenmuster in der Atmosphäre oder die Ausbildung von Mustern bei chemischen Reaktionen. Besonders in der Nanophysik gewinnen selbstorganisierende Prozesse an Bedeutung. Da es in der Welt der Atome und Teilchen nicht mehr möglich ist, Strukturen und Funktionen von außen aufzuprägen, muss man Mechanismen der Strukturbildung nutzen. Das ist das Ziel der Forschergruppe.

So untersuchen die Wissenschaftler zum Beispiel, wie sich Bakterien mithilfe von Flagellen (Geißeln) in



Typisches Beispiel für selbstorganisierte Muster

einer Flüssigkeit bewegen. Besonders interessant ist dabei, welche hydrodynamischen Wechselwirkungen zwischen der Flüssigkeit und den bakteriellen Motoren auftreten. Man könnte die Erkenntnisse nutzen, um neue Verfahren zur effektiven Mischung von Flüssigkeiten zu entwickeln.

Schichten aus einem Molekül

Ein weiterer Schwerpunkt der Arbeitsgruppe liegt auf der selbstorganisierten Strukturbildung bei der Beschichtung von Materialien mit so genannten Monolayern. Das sind Schichten, die nur ein einziges Molekül dick sind. Theoretiker aus der Arbeitsgruppe von Professor Friedrich entwickeln ein mathematisches Modell des Beschichtungsprozesses, um dessen gezielte Kontrolle zu gewährleisten.

Das ist von grundsätzlichem Interesse, denn dahinter verbirgt sich die Frage, wie auf der Nanoskala aus dem Chaos eine Ordnung erwächst. Um Aussa-

Prof. Dr. Rudolf Friedrich

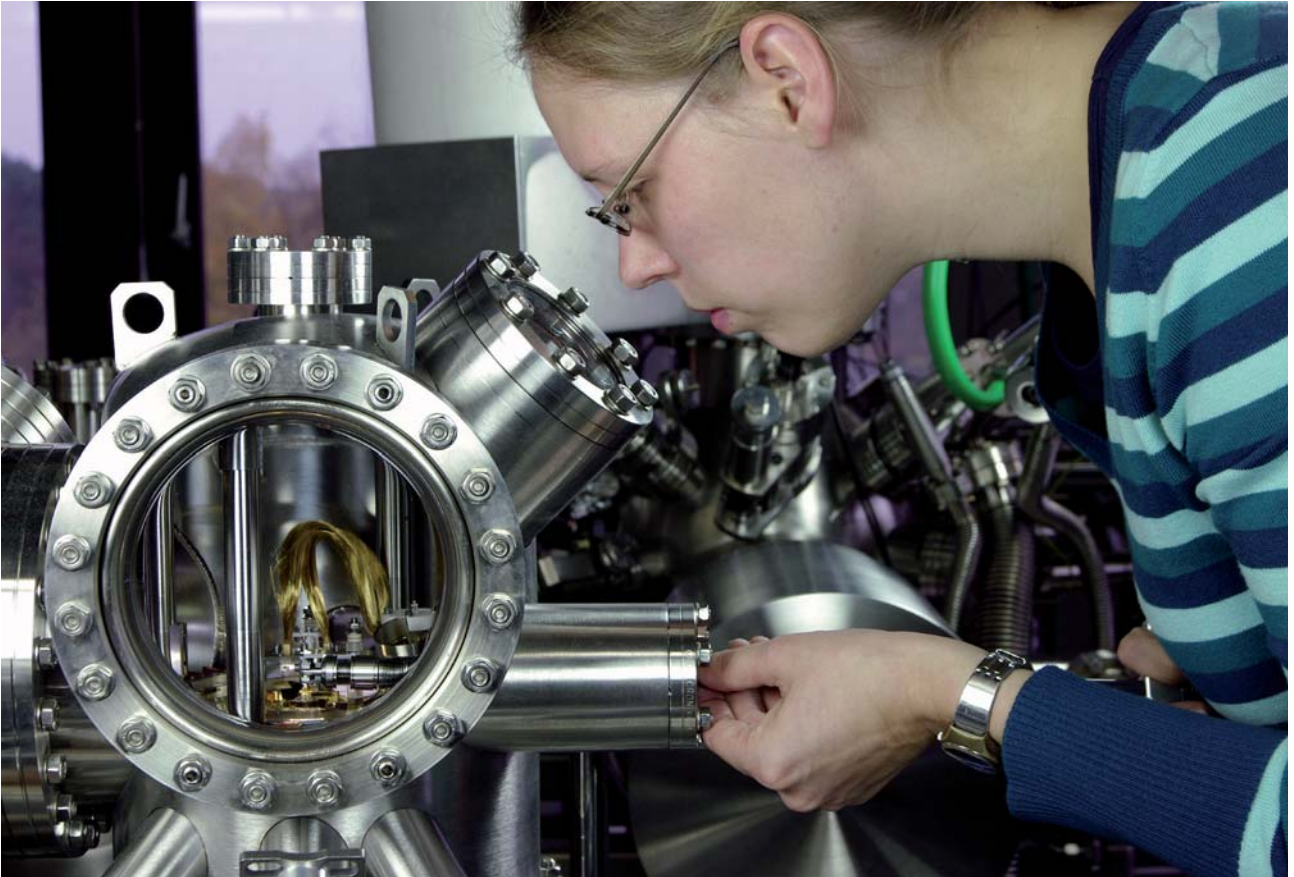
Institut für Theoretische Physik/CeNTech
Westfälische Wilhelm-Universität Münster
Wilhelm-Klemm-Straße 9, 48149 Münster
Telefon: 0251/83-34939
E-Mail: fiddir@uni-muenster.de

gen über solche Systems zu treffen und die universellen Eigenschaften von Nichtgleichgewichtssystemen tiefgehend zu erforschen, arbeiten die Forscher mit vielfältigen theoretischen und numerischen Methoden. Sie verwenden beispielsweise Methoden aus der Bifurkationstheorie und der Chaostheorie sowie der statistischen Physik und der Theorie stochastischer Prozesse. An leistungsfähigen Großrechnern werden die strukturbildenden Prozesse simuliert und visualisiert.



Teamtreffen der Arbeitsgruppe von Professor Rudolf Friedrich in den Alpen.

Mit dem Spin zum ultraschnellen Speicher für Daten



Mit Hilfe moderner Technik können die Forscher tief in die innersten Geheimnisse der Materie vordringen.

Wissenschaftler ergründen die Geheimnisse von magnetischen Phänomenen für neue elektronische Bauelemente

Magnetische Phänomene spielen in großen Bereichen der Informationstechnologie eine bedeutende Rolle. So dienen magnetische Schichten beispielsweise als Datenspeicher. Magnetische Leseköpfe finden sich in den Festplatten handelsüblicher PCs und Laptops. Will man die Speicher immer kleiner bauen, ihre Datendichte und die Schreibgeschwindigkeiten erhöhen, führt kein Weg an der Nano- und der Ultrakurzzeitphysik vorbei. Für eine besonders effiziente Elektronik möchte man neben der elektrischen Ladung der Elektronen auch ihren Spin als Informationsträger nutzen. Diese neue Art der Informationsverarbeitung wird Spinelektronik oder kurz Spintronik genannt. Professor Markus Donath und seine Arbeitsgruppe gelten als Spezialisten für aus-

geklügelte spektroskopische Verfahren, mit denen man den Spin von Elektronen untersuchen kann. Der Spin ist der Eigendrehimpuls des Elektrons; er ist für den Magnetismus verantwortlich. Die Arbeitsgruppe ist magnetischen Phänomenen auf der Spur, um ein mikroskopisches Bild der makroskopischen magnetischen Eigenschaften zu entwickeln. Auf diese Weise eröffnet sie Wege für neue Anwendungen in der ultraschnellen Informationsverarbeitung.

So wollen die Forscher beispielsweise verstehen, wie sandwichartige Strukturen aus hauchfeinen Schichten magnetisch koppeln. Solche magnetischen Sandwiches nutzt man in den Leseköpfen von Festplatten. Dazu tauchen die Wissenschaftler tief in die mikroskopische Struktur dieser Schichten ein. Es zeigt sich, dass bestimmte Elektronen spüren, dass sie in einem Sandwich eingesperrt sind, wenn die Schichten nur dünn genug sind. Genau diese Elektronen vermitteln die magnetische Kopplung. Die Geschwindigkeit der Datenspeicherung hängt

davon ab, wie schnell die Magnetisierung geändert werden kann. Dies wiederum hängt von dem komplexen Wechselspiel zwischen den Elektronen, ihrer Spins und dem Kristallgitter des Ferromagneten ab. Zu dessen Verständnis muss man die physikalischen Vorgänge beim Magnetisieren im Abstand von Femtosekunden auflösen. Die Forscher fanden Hinweise, dass bestimmte Elektronen an so genannten Hot Spots für die ultraschnelle Entmagnetisierung wichtig sind.

Ein kompliziertes Wechselspiel

Will man den Elektronenspin als Informationsträger nutzen, braucht man Materialien, die elektrischen Strom aus Elektronen mit möglichst der gleichen Spinrichtung in andere Materialien des Bauteils injizieren können. Geeignet sind hierfür beispielsweise halbmimetallische Ferromagnete, in denen sich nur Elektronen einer Spinrichtung bewegen können. Im Hinblick auf Spintronik-Anwendungen gilt das Hauptaugenmerk der Wissenschaftler den Grenzflächen, weil die Spinrichtung bei einer Injektion möglichst erhalten bleiben soll. Experimente zeigen, dass man hierzu die Grenzflächen gezielt präparieren muss.

Experimente mit spinausgerichteten Elektronen erlauben den direkten Einblick in die spinabhängigen mikroskopischen Eigenschaften magnetischer

Prof. Dr. Markus Donath

Physikalisches Institut

Westfälische Wilhelms-Universität Münster

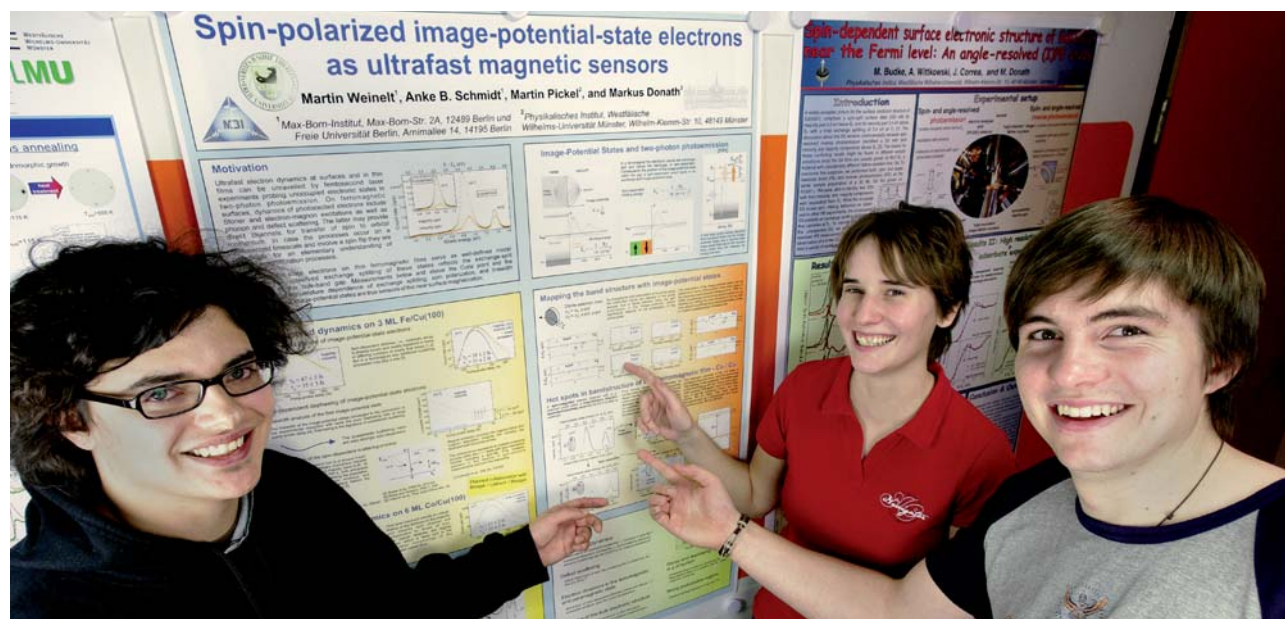
Wilhelm-Klemm-Straße 10, 48149 Münster

Telefon: 0251/83-39065

E-Mail: markus.donath@uni-muenster.de

Systeme. Dabei werden entweder spinausgerichtete Elektronen als Projektil benutzt oder man detektiert die Spinrichtung der Elektronen, die mit Hilfe von Licht aus einer Materialprobe emittiert werden. Nutzt man hierbei ultrakurze Lichtpulse, kann eine Zeitauflösung von Femtosekunden erreicht werden. Wissenschaftliche Methoden, um die genaue chemische Zusammensetzung der Proben zu erforschen, erweitern die analytischen Möglichkeiten der Arbeitsgruppe.

Auch die kristallografische Ordnung und magnetischen Eigenschaften können die Wissenschaftler genau aufklären. Bei ihren Forschungen und Experimenten arbeitet das Team um Professor Donath eng mit anderen Forschergruppen, zum Beispiel aus dem Berliner Max-Born-Institut und der Universität im japanischen Hiroshima zusammen. Finanziert werden die umfangreichen Arbeiten unter anderem von der Deutschen Forschungsgemeinschaft.



Atom für Atom zum Nanomagnet

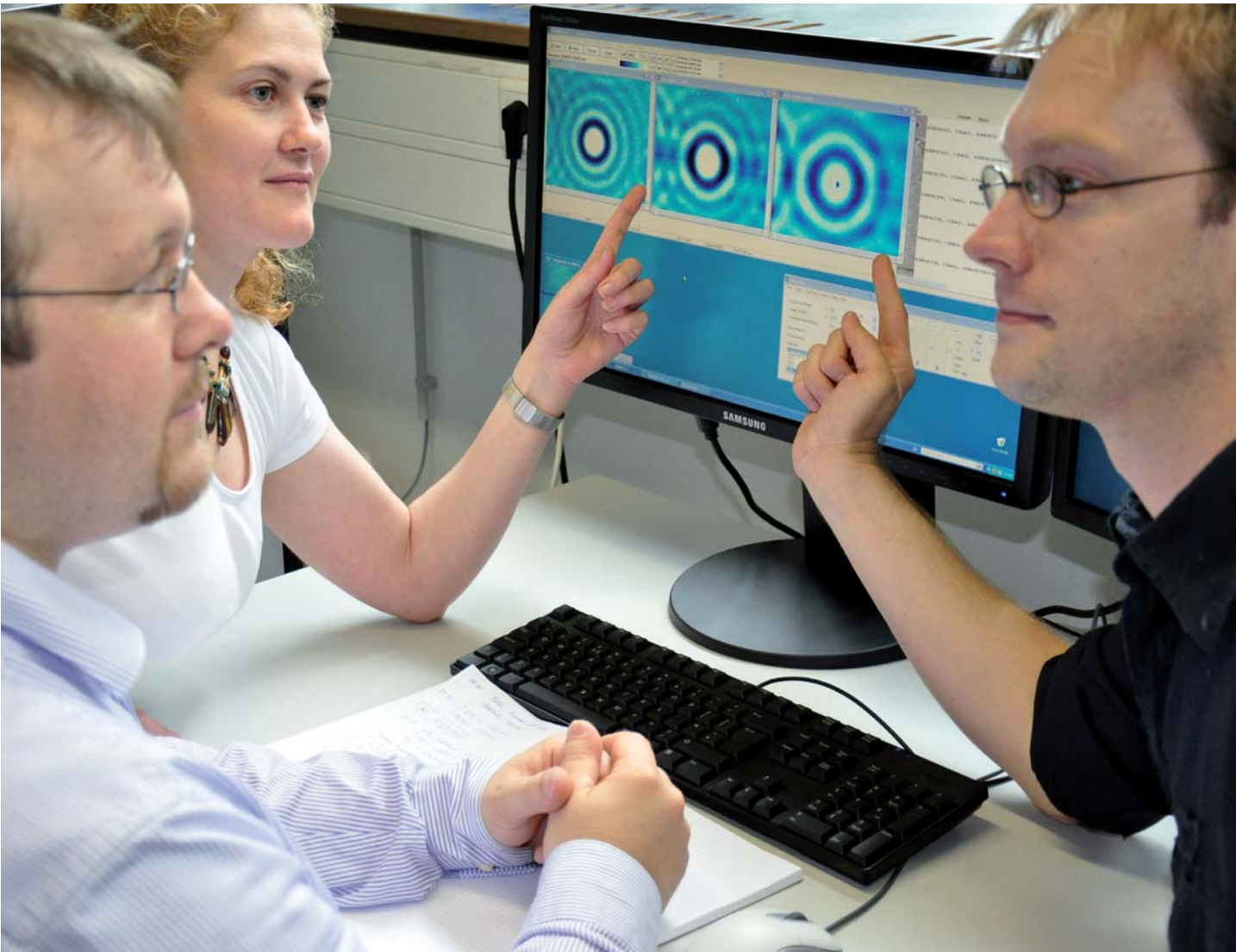
Neuartige Bauelemente läuten die nächste Runde in der Miniaturisierung der Computertechnik ein

Atome stapeln wie Bauklötze: Die Nanotechnologie weitet den Horizont des menschlichen Erfindergeistes. Nur wenige Millionstel Millimeter große Magnete aus einzelnen Atomen und Molekülen herzustellen, haben sich die Forscher der Arbeitsgruppe von Dr. Daniel Wegner verschrieben. Nanomagnete werden die Computertechnik revolutionieren. Die so genannte molekulare Spintronik läutet die nächste Generation des Informationszeitalters ein.

Die Computer und Unterhaltungselektronik werden immer kleiner und zugleich immer leistungsfähiger. Die Miniaturisierung wurde in den vergangenen Jahrzehnten von der Industrie vorangetrieben. Doch bald droht diese Dynamik zu stagnieren: Die elektronischen Bauelemente werden so klein, dass man die Anzahl der darin befindlichen Atome abzählen kann.

Quantenphysikalische Effekte

Dann werden sie nicht mehr den üblichen Gesetzen der Elektronik gehorchen. Vielmehr dominieren quantenphysikalische Effekte. Soll die Entwicklung weitergehen, muss man die Gesetzmäßigkeiten der Nanostrukturen erforschen. Das ist Herausfor-



Auswertung der Forschungsexperimente im Labor, rechts: Dr. Daniel Wegner.

derung und Chance zugleich. Denn künftig werden vollkommen neue Formen der Datenverarbeitung möglich sein. Beispiele sind die Quantencomputer, die sehr viele Rechenoperationen gleichzeitig ausführen. Im wahrsten Sinne des Wortes stehen sie für den Quantensprung in der Computertechnologie, der uns bevorsteht. Auch nanomagnetische Bauteile nutzen quantenphysikalische Effekte, um die Computervelt zu revolutionieren.

Das bezeichnet man als Spintronik. In der konventionellen Elektronik werden die elektrische Ladung von Elektronen und elektrische Felder zur Datenverarbeitung verwendet. In der Spintronik nutzt man den Spin der Elektronen, also ihre Eigenrotation, um neuartige magnetische Materialien zu kreieren. Die Spintronik hat einige entscheidende Vorteile gegenüber der konventionellen Elektronik. Beispielsweise sind alle Transistoren nichtflüchtige Speicher.

Fieberhafte Forschungen

Das heißt, es geht keine Information verloren, wenn der Stromfluss zum Computer unterbrochen wird. Zudem läuft die Datenverarbeitung mit Spintronik viel schneller ab. Die Bauelemente brauchen dabei weniger Energie und heizen sich weniger auf. Derzeit wird in den Entwicklungsabteilungen der IT-Industrie fieberhaft an den ersten Spintronik-Speichern (zum Beispiel MRAM) geforscht.

Dafür nutzt man nanostrukturierte metallische und halbleitende Materialien. Um die fortschreitende Miniaturisierung dieser Bauelemente zu ermöglichen und auch Quantencomputer zu realisieren, muss man die Materialeigenschaften vielfältig manipulieren. Rein anorganische Stoffe reichen nicht aus. Durch die gezielte Synthese und Reaktion von Molekülen lassen sich dagegen nahezu beliebige Eigenschaften herstellen.

Die Elektrode in Schach halten

Die Rede ist von der molekularen Spintronik: Anorganische magnetische Elemente (zum Beispiel Eisenatome) liegen nicht dicht gepackt nebeneinander wie in einem Metall, sondern sind über Moleküle (so genannte Liganden) miteinander verbunden. Wie die magnetischen Elemente miteinander wirken, hängt stark von den Eigenschaften der Liganden ab. Bis

Dr. Daniel Wegner

Physikalisches Institut/CeNTech
Westfälische Wilhelms-Universität Münster
Wilhelm-Klemm-Straße 10, 48149 Münster
Telefon: 0251/83-39073, -33682
E-Mail: daniel.wegner@uni-muenster.de

dato wurden die meisten molekularen Nanomagnete eher zufällig entdeckt. Der genaue Einfluss der Größe, Symmetrie und Reaktivität der Liganden sowie des Aufbaus und der Größe des gesamten molekularen Magneten sind noch weitgehend ungeklärt. Darüber hinaus ist praktisch unbekannt, ob und wie sich das Verhalten molekularer Magnete verändert, wenn man sie in einen elektronischen Schaltkreis einbindet und sie Kontakt zu einer Oberfläche erhalten.

Die Forscher um Daniel Wegner untersuchen systematisch, welche Einflüsse die Liganden sowie die Oberfläche auf die magnetische Wechselwirkung zwischen den Spins in einem molekularen Magneten haben. Dazu werden zunächst magnetische Moleküle auf leitenden Oberflächen hergestellt: Atom für Atom, Molekül für Molekül. Dies ist im Labor mit einem Rastertunnelmikroskop möglich, das ein extremes Vakuum und ultratiefe Temperaturen zum Betrieb erfordert. Mit seiner Hilfe kann man einzelne Atome und Moleküle nicht nur beobachten, sondern auch mit höchster Präzision bewegen und miteinander verbinden.

Eine innovative Strategie

Diese innovative Strategie gewährleistet absolute Kontrolle und ermöglicht, die Eigenschaften molekularer Magnete zu untersuchen. Die Forscher sind in der Lage, die magnetische Kopplung durch die Liganden zu optimieren und den Einfluss der Oberfläche einer Elektrode in Schach zu halten. Diese fundamentalen Erkenntnisse bedeuteten einen wichtigen Schritt hin zur industriellen Fertigung der molekularen Spintronik. Aber auch schon im Forschungslabor sollen einfache Modelle die grundsätzliche Funktionsfähigkeit von spintronischen Bauelementen (Spin-Filter, Spintransfer-Speicher, Spin-Transistor) zeigen.

Wenn die Atome im Computer Modell stehen

Die Wissenschaftler um Andreas Heuer simulieren, wie komplexe Prozesse ablaufen und sich feine Nanostrukturen bilden

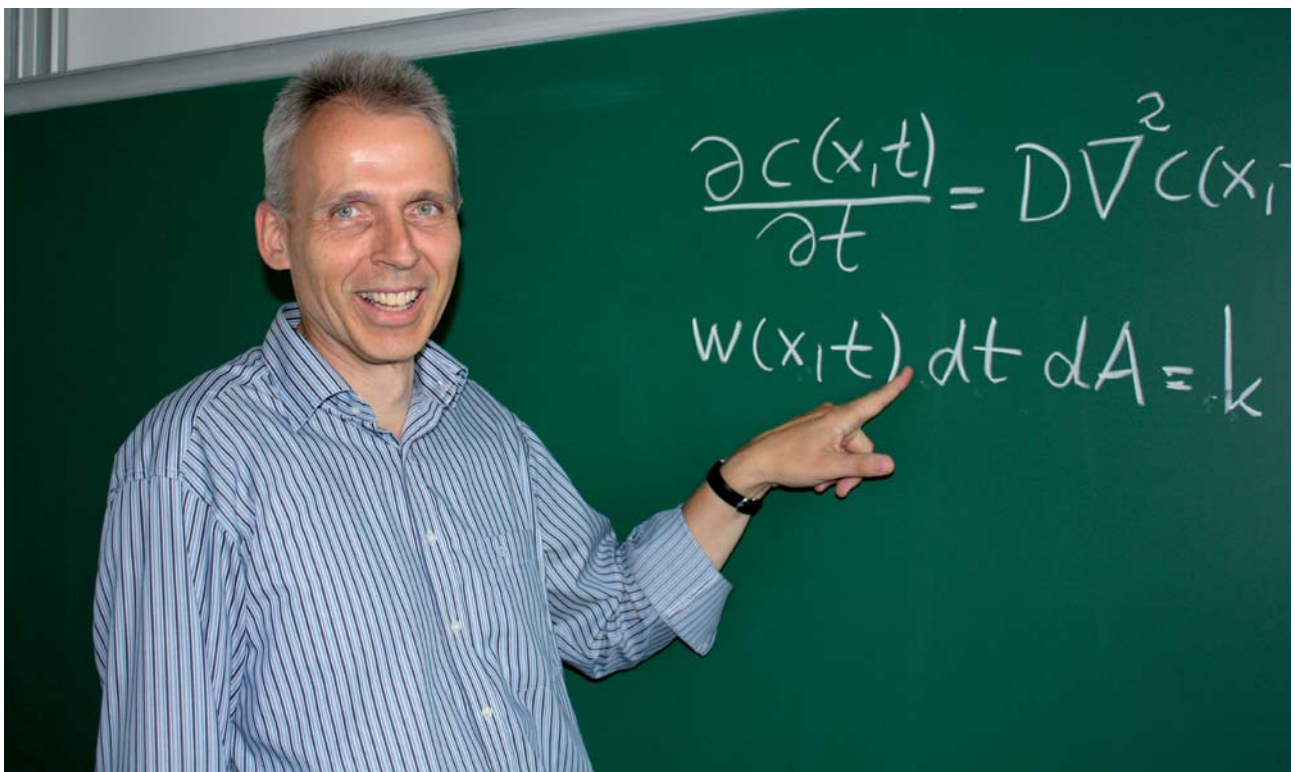
Um in die Welt der Atome und Moleküle vorzudringen und die mikroskopischen Zusammenhänge zu verstehen, reichen physikalische Experimente nicht aus. Dank moderner Computer und Simulationstechniken ist es möglich, die Vorgänge mathematisch zu modellieren und zu simulieren. Die Forscher der Gruppe von Professor Andreas Heuer nutzen dafür die Molekulardynamik und die so genannte Monte-Carlo-Technik, um vielfältige Fragen zu klären. Letztere verbindet Einsichten aus der statistischen Physik mit Zufallsprinzipien. Die Basis der Simulationen ist die genaue Kenntnis der Wechselwirkungen zwischen den Molekülen und Atomen. Ihre Bewegung kann man durch mathematische Gleichungen beschreiben, die man mit Hilfe der Computer numerisch löst. Im Computermodell kann man Parameter wie den Druck oder die Temperatur des zugehörigen physikalischen Systems variieren. Das Modell zeigt

auf, wie sich die Eigenschaften des Systems ändern. Dabei stützen sich die Wissenschaftler je nach Aufgabe auf einfache oder auch sehr detaillierte Modellsysteme.

Ein Beispiel bietet die Kontrolle der Nukleation auf vorstrukturierten Oberflächen. Kooperierende Forscher um Professor Chi und Professor Fuchs versuchen, organische Moleküle mit möglichst regelmäßigen Strukturen auf vorbehandelten Oberflächen abzuscheiden.

Wichtiger Schritt zu OLEDs

Die Struktur der Oberfläche gibt die gewünschte Nanostruktur der Moleküle vor. Wenn dies gelingt, ist ein wichtiger Schritt auf dem Weg zu organischen Leuchtdioden (OLEDs) getan. Zu diesem Zweck führt man Molekularstrahlexperimente durch. In der Simulation wird erforscht, ob sich jenseits der vorstrukturierten Areale zusätzliche und damit störende Cluster bilden. Dieser Vorgang wird mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit beschrieben, der gängige Begriff dafür ist die Nukleation. Geeignete Modellsysteme erlauben es, solche Vorgänge mit



Die Mathematik ist für Prof. Heuer die Grundlage der Bildung von Theorien und Modellen zur Simulation.

einer Kombination aus dem Monte-Carlo-Verfahren und analytischen Untersuchungen zu untersuchen. In einem chinesisch-deutschen Forschungsprojekt (TRR 61) laufen die theoretischen Arbeiten in enger Abstimmung mit physikalischen Experimenten. So wird zum Beispiel untersucht, welchen Einfluss die Geometrie der vorstrukturierten Muster oder die Eigenschaften der Moleküle auf die Nukleation haben.

Wie entfaltet sich DNS?

Ein zentraler Begriff in der physikalischen Erforschung nanoskopischer Systeme ist die Energie. Sie steckt hinter allen Prozessen, ob es sich um komplexe biologische Moleküle handelt oder um atomare Cluster. Die Wissenschaftler haben verschiedene Methoden entwickelt, um die Abhängigkeit der Energie von der konkreten Struktur zu beschreiben und zudem Koordinaten zu identifizieren, mit denen sich die Dynamik des komplexen Systems optimal erfassen lässt. Die Herausforderung besteht dann darin, die so genannte freie Energielandschaft des komplexen Systems durch Simulationen im Computer zu charakterisieren. Dafür braucht man geeignete Algorithmen, wie sie von der Forschergruppe um Professor Heuer entwickelt werden.

Zum anderen muss man die Erkenntnisse über die Natur der Energielandschaft in physikalisch beobachtbare Größen übersetzen. Das kann beispielsweise eine Reaktionsrate sein. Nur dann lassen sich die Ergebnisse der Simulation mit den Messungen aus physikalischen Experimenten vergleichen. Gemeinsam mit Gruppen aus Peking simulieren die Münsteraner Forscher, wie sich tetramere DNS (Erbgut) entfaltet. Ein anderes Projekt erforscht den Glasübergang ungeordneter Systeme.

Prof. Dr. Andreas Heuer

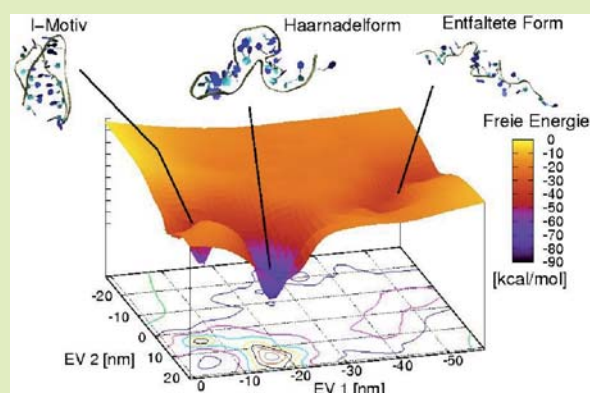
Institut für Physikalische Chemie
Westfälische Wilhelms-Universität Münster
Corrensstraße 30, 48149 Münster
Telefon: 0251/83-29159
E-Mail: andheuer@uni-muenster.de

Simulation im Computer

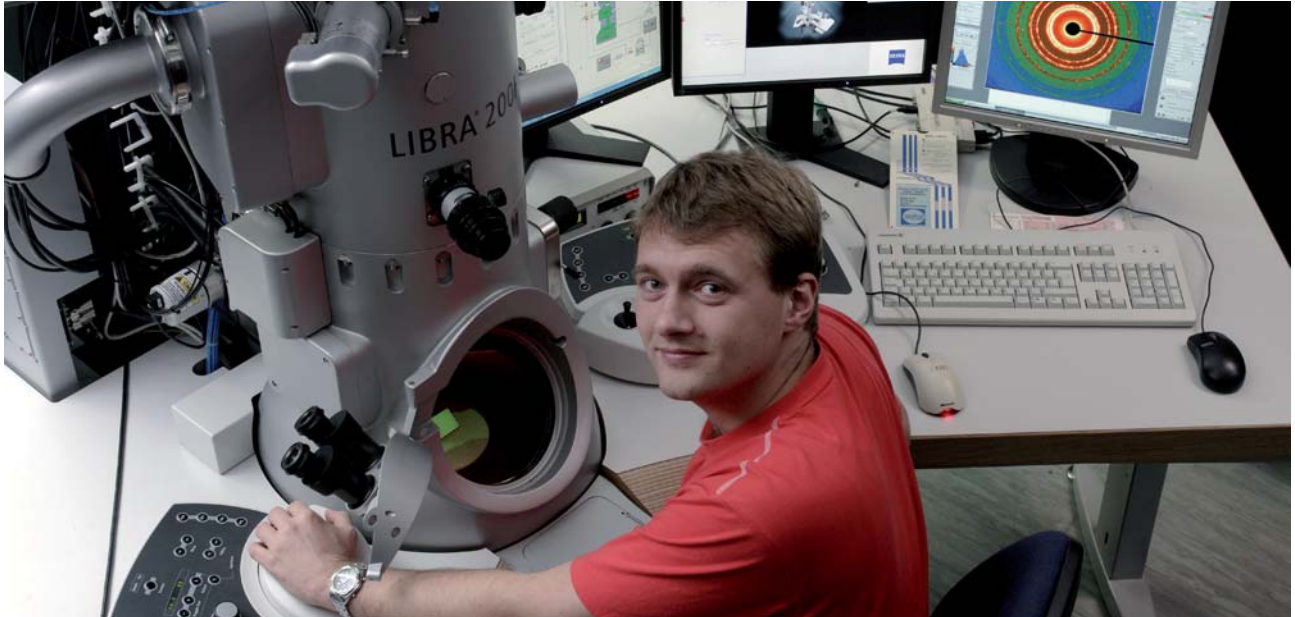
Gemeinsam mit experimentellen Gruppen aus Peking untersuchen die Münsteraner Forscher in ihren Simulationen, wie sich einzelne molekulare Formen von DNS (Erbgut) wie zum Beispiel das I-Motiv falten und entfalten können. Das I-Motiv besteht aus einsträngiger DNS, wobei diese sich so anordnet, dass ein quasi kastenförmiges Objekt entsteht.

Durch Simulationen kann die freie Energielandschaft der Entfaltung und Faltung des I-Motivs bestimmt werden (hier bei 400 Kelvin). Die Täler kennzeichnen einzelne stabile Formen, welche grafisch dargestellt sind. Die Faltungspfade sind Verbindungen zwischen diesen Tälern. Das I-Motiv entfaltet sich über eine Haarnadelstruktur, als ein sehr stabiler Zwischenzustand, zu der gestreckten Form.

Die technologische Nutzung dieser Struktur ist vor allem mit Nano-Arrays möglich. Eine Vielzahl dieser Stränge wird auf einem Träger angeordnet, wobei die reversible Faltung und Entfaltung genutzt werden kann, um Arbeit zu verrichten. Ebenso können Nanocontainer aus diesen Strukturen fabriziert werden, welche eine zielgerichtete Entfaltung ermöglichen, um zum Beispiel in der DNS-Matrix fixierte Wirkstoffe freizusetzen, wie die Pekingener Wissenschaftler bereits eindrucksvoll gezeigt haben. Die Computersimulationen dienen dabei als Hilfe, um die zugrundeliegenden Mechanismen zu verstehen.



Auf fünf Millionstel eines Millimeters genau



Ein Forscher der Arbeitsgruppe von Professor Helmut Kohl untersucht eine Probe im Elektronenmikroskop.

Um die Geheimnisse der Atome und Moleküle aufzuklären brauchen die Forscher spezielle Elektronenmikroskope

Für neue Erkenntnisse aus dem Nanokosmos stehen den Forschern eine Vielzahl von technischen Geräten und Analyseverfahren zur Verfügung. Dazu gehören Rastersondenmikroskope, mit denen man die Oberfläche einer Probe auf Millionstel Millimeter genau aufklären kann. Im Gegensatz zu dieser Technik erlaubt die Transmissionselektronenmikroskopie, auch das gesamte Volumen einer dünnen Probe zu untersuchen.

Die Arbeitsgruppe „Quantitative Elektronenmikroskopie“ von Professor Helmut Kohl setzt die Transmissionselektronenmikroskope ein, um Atome und Moleküle in einem Abstand von fünf Millionstel Millimetern sichtbar zu machen. Das entspricht zwei Zehnteln eines Nanometers – ungefähr dem Durchmesser eines einzelnen Atoms. Solche Mikroskope sind in der Lage, den atomaren Aufbau von Kristallen abzubilden.

Bei dieser Art der Elektronenmikroskopie lassen sich verschiedene Atomsorten (Elemente) nicht unterscheiden. Um ein Element genau zu bestimmen, nutzt man einen Kunstgriff: Die Elektronen treffen

zunächst alle mit der gleichen Energie auf das Präparat. Beim Durchqueren der Probe verlieren sie jedoch unterschiedlich viel Energie. Dieser Verlust und damit die verbleibende Restenergie hängt von der chemischen Zusammensetzung des Präparats ab. Mit einem Energiefilter kann man erreichen, dass nur Elektronen mit einem vorher eingestellten spezifischen Energieverlust zum Bild beitragen. Auf diese Weise wird die Verteilung der einzelnen Elemente sichtbar. Die Helligkeit des Bildes wächst proportional zur lokalen Anzahl der Atome des gesuchten Elements.

Das Ziel der Forschungen ist es, die Methodik zur quantitativen Auswertung der digital aufgezeichneten Bilder zu verbessern und die Nachweisgrenzen in der chemischen Analytik zu verfeinern. An den Proben wurde die chemische Zusammensetzung mit einer Auflösung von etwa einem Nanometer erreicht.

Prof. Dr. Helmut Kohl

Physikalisches Institut
Westfälische Wilhelms-Universität Münster
Wilhelm-Klemm-Straße 10, 48149 Münster
Telefon: 0251/83-33640
E-Mail: kohl@uni-muenster.de

Im Dienst der Umwelt und der Wertschöpfung

OFG Analytik GmbH blickt auf mehr als 25 Jahre Erfahrung in der Analyse von nanotechnologischen Produkten zurück

Die Nanotechnologie ist aus der modernen Welt kaum wegzudenken. Will man nanoskalierte Additive für Lacke charakterisieren, feinste Strukturen sichtbar machen oder funktionelle Beschichtungen chemisch analysieren, braucht man komplexe Verfahren und Geräte. Diesen anspruchsvollen Service bietet die OFG Analytik GmbH seit mehr als 15 Jahren an – für die Industrie und die Forschung. Die Gründer der Münsteraner Firma und ihre Mitarbeiter greifen auf mehr als 25 Jahre Erfahrung in der Entwicklung und im Einsatz nanoanalytischer Verfahren zurück.

Nanopartikel aus Kohlenstoff

Bereits 1989 gelang es Dr. Herbert Feld, dem Initiator und Mitgründer der OFG Analytik, erstmalig Nanopartikel aus Kohlenstoff, so genannte Buckminster Fullere, mit massenspektrometrischen Verfahren nachzuweisen. Durch Ionenbeschuss (TOF-SIMS, PDMS) gelang es, die chemische Struktur der Fullere aufzuklären. Er selbst war dabei maßgeblich an der Entwicklung dieser Verfahren beteiligt. Heute werden sie in verfeinerter Form von der OFG Analytik GmbH zur chemischen Analyse von Nanobeschichtungen und Nanopartikeln eingesetzt. Dies ist unter anderem bei der Erforschung von Nanoröhren aus Kohlenstoff (Carbon Nanotubes) sehr hilfreich.

Sichere Methode zum Nachweis

Darüber hinaus spielt dieses Verfahren in der umweltpolitischen Diskussion über die potenzielle Gefährdung durch Nanopartikel eine wichtige Rolle. Denn mit ihm haben die Wissenschaftler eine sichere Methode zum Nachweis und der Charakterisierung der Nanopartikel in der Hand. So wiesen Mitarbeiter der OFG Analytik GmbH unlängst Nanopartikel aus C-60 (Kohlenstoff) in den Lambda-Sonden und geregelten Katalysatoren von Autos nach. Nanoskalierte Lackadditive und Füllstoffe zur Verbesserung der Oberflächen werden zunehmend von der Automobilindustrie aber auch in Fassadenfarben eingesetzt. Ihr Nachweis, die chemische Charakterisierung und

die Untersuchung ihrer Verteilung in mehrschichtigen Systemen erfordern komplexe Verfahren. OFG Analytik hat in Zusammenarbeit mit namhaften Lackherstellern geeignete Methoden entwickelt. Sie versetzen die Firma in die Lage, die Analysen auf dem höchsten Stand der Technik zu bearbeiten.

Spezielle Beschichtungen

Spezielle Nanobeschichtungen verbessern die Eigenschaften von Industrieprodukten in vielfacher Hinsicht. Mittlerweile dehnt sich ihr Einsatz auf fast alle Bereiche der Technik aus. Sie chemisch zu charakterisieren und beispielsweise aufzuklären, warum eine Nanoschicht versagt hat, ist gleichfalls eine wichtige Aufgabe für die Experten der OFG Analytik. Neben dem Service in der Analytik zählt auch die Auftragsforschung für die Industrie zum Angebotspektrum der Firma.

So entwickelten Dr. Herbert Feld und Dr. Roger Dietrich bereits in den neunziger Jahren zusammen mit der Universität Münster ein neues Verfahren, um nanostrukturierte Siliziumschichten herzustellen. Das Projekt wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft finanziert.

Vielseitige Anwendungen

Die Erforschung dieser Schichten eröffnet vielseitige Anwendungen, etwa zur Effizienzsteigerung von Solarzellen. Bis heute ist dieses Potenzial noch nicht ausgeschöpft. Bei der Entwicklung innovativer Beschichtungsverfahren sowie der Aufklärung von Grenzflächenphänomenen greifen daher neben der Industrie auch Universitäten und Forschungsinstitute der Fraunhofer-Gesellschaft gerne auf die maßgeschneiderten Konzepte der OFG Analytik GmbH zurück.

Dr. Roger Dietrich

OFG Analytik GmbH

Mendelstraße 11, 48149 Münster

Telefon: 0251/980-1206

E-Mail: dietrich@ofg-analytik.de

Alles andere als oberflächlich

Mit modernen Analysegeräten bearbeitet die nanoAnalytics GmbH Fragen aus der Oberflächentechnik und Life Science

Oberflächen und Grenzflächen spielen eine wichtige Rolle bei vielen technischen Prozessen und Produkten, aber auch in biologischen Systemen. Die nanoAnalytics GmbH gehört zu den führenden Anbietern von Analytikdienstleistungen und speziellen Messgeräten in diesem Forschungsfeld. Oft werden die makroskopischen Eigenschaften von Materialien durch Strukturen auf mikroskopischer oder sogar molekularer Ebene deutlich beeinflusst. Den modernen analytischen Methoden kommt in der Qualitätssicherung oder in der Forschung erhebliche Bedeutung zu. Das gilt sowohl für Untersuchungen zur chemischen Zusammensetzung von Oberflächen, als auch für die genaue Vermessung von Oberflächentopografien. Teilweise müssen die Messgeräte die Strukturen bis auf Nanometer genau erfassen und abbilden.

Argusaugen für die Qualität

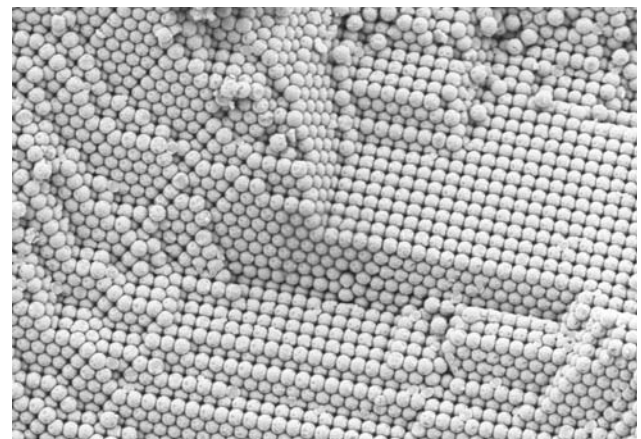
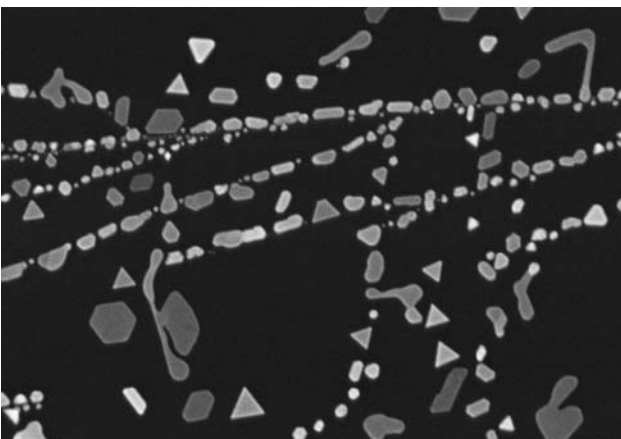
In der industriellen Herstellung spezieller Oberflächen sind mechanische oder chemische Vorbehandlungen beziehungsweise Beschichtungen oft entscheidend für die Gebrauchseigenschaften eines Produkts und seine Lebensdauer. Man reinigt oder aktiviert Oberflächen, um Verunreinigungen zu entfernen oder eine möglichst definierte Morphologie sicherzustellen. Um solche Prozesse zu überwa-

chen, werden bei nanoAnalytics eine Vielzahl sehr empfindlicher, moderner Analyseverfahren eingesetzt. So kann zum Beispiel die Oberfläche eines Werkstückes nach der Entfettung sehr gründlich auf Rückstände von Fett oder Reinigungsmitteln untersucht werden. Solche Rückstände sind problematisch, wenn anschließend z.B. eine Klebeverbindung hergestellt werden soll.

Die von nanoAnalytics durchgeführten Analysen helfen bei der Suche nach Fehlern in der Vorbehandlung oder der Optimierung der Prozessparameter wie etwa die Reinigungsdauer oder die Standzeiten von Bädern. Allerdings sind entsprechende Messgeräte nicht in jedem Unternehmen vorhanden. Bei Bedarf wird daher oftmals auf ein professionelles, unabhängiges Labor zurückgegriffen, das die erforderliche analytische Methodik anbietet und Messungen schnell und kompetent durchführt. Die nanoAnalytics GmbH ist ein akkreditiertes unabhängiges Prüflabor und auf solche Untersuchungen spezialisiert. Sie bietet Unternehmen und Forschungsinstituten ein breites Dienstleistungsangebot in der Analytik von Oberflächen und Grenzflächen.

Ein neuartiges Laborgerät: cellZscope

Experimentelle Untersuchungen an biologischen Zellen liefern oftmals nur Momentaufnahmen. Die dafür erforderliche Fixierung und Markierung der Zellen mit Farbstoffen stellt einen massiven Eingriff in die biologischen Prozesse dar. Doch Zellen leben und verändern sich ständig. Um zellbiologische Prozesse



Die linke Aufnahme aus dem hochauflösenden cellZscope zeigt Nanostrukturen aus Antimon auf einer Graphitoberfläche. Rechts sieht man die Kristallstruktur einer Probe.



Befüllung der cellZscope-Messkammern

besser zu verstehen, braucht man ein Messsystem, das möglichst nicht in die Zelle eingreift oder sie verändert und zudem stetig Daten liefert. Nur dann lässt sich die Dynamik der zellulären Prozesse erfassen, zum Beispiel die Reaktion der Zelle auf Arzneimittel, Wachstumsfaktoren oder Zytostatika.

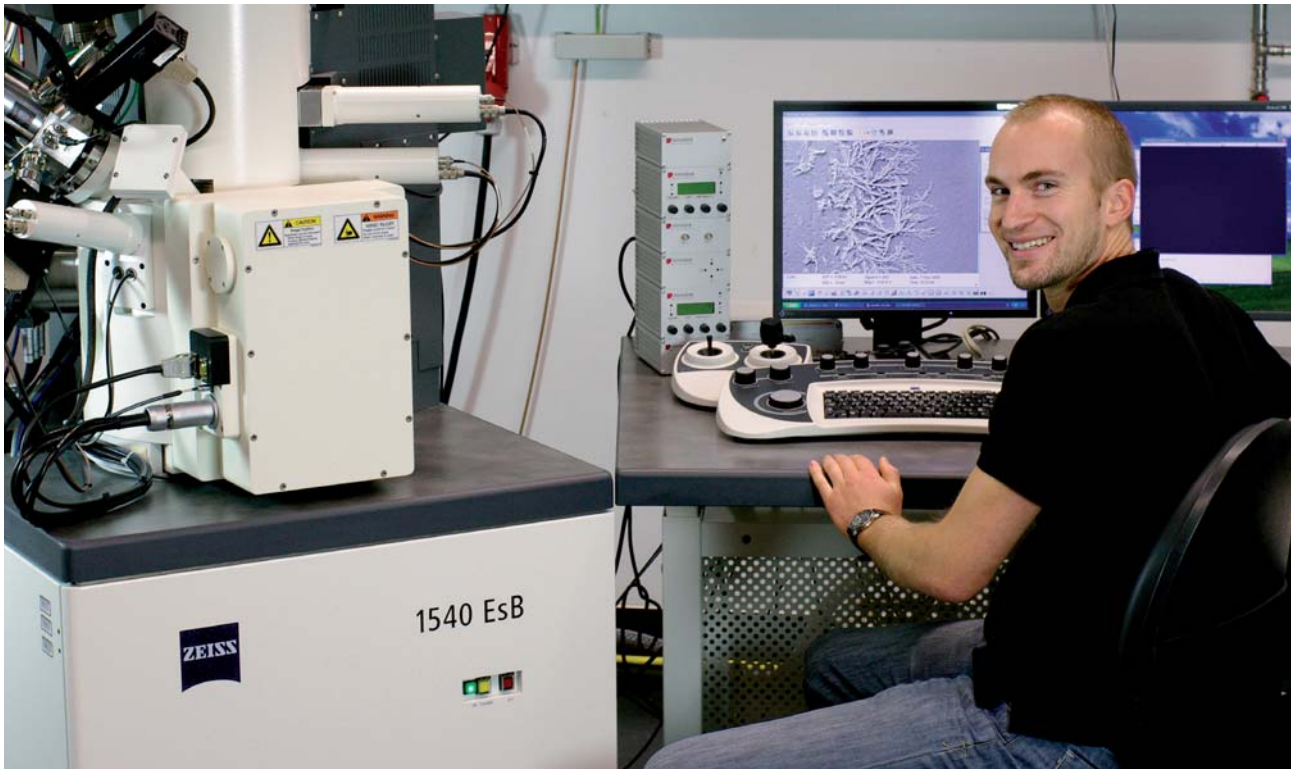
Computergesteuerte Analyse

Das von nanoAnalytics in Zusammenarbeit mit der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster entwickelte cellZscope ist ein neuartiges Laborgerät zur Messung der elektrischen Eigenschaften von Epithel- und Endothel-Zellschichten unter physiologischen Bedingungen. Die Zellen werden auf speziellen Membranen von Standard-Inserts kultiviert. Die Messzelle des cellZscope verbleibt während der gesamten Untersuchung im Inkubator. Die simultane Analyse von bis zu 24 Zellkulturen erfolgt computer-gesteuert auch über längere Zeiträume von mehre-

ren Stunden oder Tagen, ohne dass ein manueller Eingriff erforderlich ist. Mit dem cellZscope ist es möglich, die Barrierefunktion von Grenzflächengewebe und den Einfluss von Wirkstoffen, Substanzen oder Partikeln automatisiert und zeitaufgelöst zu analysieren. Das ist für wissenschaftliche Studien zur Pharmaresorption, Cytotoxizität oder auch Metastasierung von Tumorzellen von besonderem Vorteil. Weitere Informationen und Anwendungsbeispiele finden sich auf der Internetseite der nanoAnalytics GmbH.

Dr. Andreas Schäfer

nanoAnalytics GmbH im CeNTech
Heisenbergstraße 11, 48149 Münster
Telefon: 0251/53406-300
E-Mail: info@nanoanalytics.de



Nicht nur eine Sache der Geräte: Im Mittelpunkt der Forschung steht der Mensch.

Was die Welt im Innersten zusammenhält

Mit modernen Geräten messen die Wissenschaftler, welche Kräfte zwischen den Atomen wirken

Die Erforschung nanoskaliger Oberflächen und Grenzflächen erfordert ausgeklügelte Präzisionsgeräte. Sie sind in der Lage, die hauchfeinen, atomaren Strukturen sichtbar zu machen. Privatdozent Dr. André Schirmeisen und seine Gruppe „Nanomechanics“ sind Spezialisten für die Rasterkraftmikroskopie. Sie messen die Kräfte, die zwischen den Atomen wirken. Die Experimente laufen im Ultrahochvakuum ab, unter extrem sauberen Bedingungen.

Ausgangspunkt der Untersuchungen ist die Selbstorganisation von Molekülen. In enger Kooperation mit chinesischen Forschern von der Tsinghua-Universität in Peking wird ein Rasterkraftmikroskop eingesetzt, um die dünnen Nanoschichten zu analysieren. Die Schichten bestehen nur aus wenigen Lagen organischer Moleküle, die sich in einem bestimmten Muster selbst ordnen – ohne äußere Einwirkung. Kennt man die Mechanismen, nach denen sich die Selbstordnung

einstellt, kann man sie voraussichtlich auch steuern und damit für künftige Anwendungen nutzen. Ein möglicher Einsatzbereich ist die Nanoelektronik. Das Ziel der Wissenschaftler ist es, die elektronischen Bauteile immer weiter zu schrumpfen, um die Computerprozessoren immer kleiner und leistungsfähiger zu machen. Denkbar ist, die Mikrochips auf wenige Atome zu reduzieren, also Nanochips herzustellen. Im Jahr 2008 startete ein chinesisch-deutsches Forschungsprojekt (TRR61), mit dem die Münsteraner Gruppe ihre Forschungen intensivierten.

Rutschen ohne Reibung

In der klassischen Physik spielt die Reibung eine zentrale Rolle. Stahl auf Stahl oder Holz auf Holz reiben sich, dadurch wird Energie in Wärme umgewandelt. In der Technik ist die Reibung meist ein Übel, das man notgedrungen in Kauf nehmen muss. Auch in der Welt der Atome und Moleküle gibt es Reibung. Unter bestimmten Bedingungen jedoch können die Wissenschaftler die Reibung zwischen Atomen verschwinden lassen. Dies nennt man auch Superlubrizität. André Schirmeisen und seine Gruppe unter-

suchen die Mechanismen der Reibung im atomaren Bereich bis hin zu Mikrokontakten. Ein geeignetes Gerät ist das Reibungskraftmikroskop. Die Gruppe koordiniert auch das europäische Konsortium NANOPARMA, eine Kooperation europäischer Forscher, die sich mit der Reibung von Nanopartikeln beschäftigen. Gelingt es, die Superlubrizität zu verstehen und technisch auszunutzen, könnte man beispielsweise den Wirkungsgrad von Maschinen und Motoren deutlich erhöhen.

Mit einer von André Schirmeisen und seinen Mitarbeitern entwickelten Technik kann man auch die Bewegung von Ionen in nanostrukturierten Festkörpern analysieren, die als Ionenleiter dienen. Solche Materialien braucht man für Superkondensatoren,

Batterien und spezielle Fenster, deren Färbung man mit elektrischen Signalen steuert. Dieses Projekt gehört zum Sonderforschungsbereich „Ionenbewegung in Materialien mit ungeordneten Strukturen“ an der Universität Münster. Er wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft finanziert.

PD Dr. André Schirmeisen

Physikalisches Institut/CeNTech

Westfälische Wilhelms-Universität Münster

Wilhelm-Klemm-Straße 10, 48149 Münster

Telefon: 0251/83-63832

E-Mail: schirmeisen@uni-muenster.de



Erste Reihe von links nach rechts: PD Dr. André Schirmeisen, Jens Falter und Dr. Dirk Dietzel.

Zweite Reihe von links nach rechts: Gernot Langewisch, Dr. Jan-Erik Schmutz und Dr. Daniel Braun.

Dritte Reihe von links nach rechts: Michael Feldmann, Dr. Lars Jansen und Johannes Sondhauf.

Vierte Reihe: Dr. Ahmet Taskiran.

Ein Speziallabor für molekulare Biomedizin

Arrows biomedical bietet vielfältigen Service in der molekularen Onkologie und bei neurodegenerativen Erkrankungen

Die arrows biomedical Deutschland GmbH wurde im Jahr 2005 durch Dr. Arnold M. Raem gegründet. Seitdem hat sie ihren Sitz im Zentrum für Nanotechnologie (CeNTech) der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster. Derzeit befindet sich das Labor in der Zertifizierung nach ISO und GLP für spezielle Anforderungen in Forschung und Entwicklung sowie dem klinischen Routinelabor. Arrows biomedical Deutschland führt Auftragsforschung, klinische Routineanalytik und eigene Projekte in Forschung und Entwicklung durch.

Das Portfolio der molekularen Analytik

Die Schwerpunkte liegen in der molekularen Erforschung von Krebs und neuro-degenerativen Erkrankungen. Das Portfolio der molekularen Analytik umfasst Dienstleistungen zur Analyse von Erbgut (DNS) und daraus abgeleiteten Proteinen (RNS), wie Isolierungen, Microarrays (GenExpression, mRNS microRNS, Array-CGH, ChIP on Chip), PCR (RT-qPCR) und Bioinformatik. In der medizinischen Diagnostik umfasst die Routineanalytik alle klinisch relevan-

Dr. Arnold M. Raem

arrows biomedical Deutschland GmbH
im Zentrum für Nanotechnologie (CeNTech) der
Westfälischen Wilhelms-Universität Münster
Heisenbergstraße 11, 48149 Münster
Telefon: 0251/53406-400
E-Mail: raem@arrows-biomedical.com

ten Biomarker und die komplette Blutanalytik, die Durchflusszytometrie, HPLC-Analytik, Diagnostik-Microarrays, den Nachweis von freizirkulierenden Tumorzellen und Chemosensitivitätstestungen.

Kooperationen in ganz Europa

Die Kooperationspartner aus der Industrie und an Universitäten befinden sich in ganz Europa. Zu den Auftraggebern gehören öffentliche Gesundheitseinrichtungen und niedergelassene Ärzte, staatliche Forschungsinstitute, das Max-Planck-Institut für molekulare Biomedizin in Münster, die Bundeswehr und das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR). Eigene Projekte in Forschung und Entwicklung werden durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie und die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Gueri-





Analysegeräte und digitale Datentechnik sind die wichtigsten Werkzeuge der Wissenschaftler.

cke“ gefördert. Anträge auf Forschungsmittel aus der Europäischen Union und dem Land Nordrhein-Westfalen sowie dem Bundesministerium für Bildung und Forschung befinden sich im Bewilligungsverfahren. Ein Antrag beim Institut für das Entgeltsystem im Krankenhaus (InEK GmbH) in Siegburg wurde bereits positiv beantwortet. Arrows biomedical Deutschland

GmbH kombiniert State-of-the-Art-Technologien mit komplexen Datenanalysen, um aussagekräftige Ergebnisse in ein leicht verständliches Format zu bringen. Ebenso gehören zahlreiche wissenschaftliche Publikationen in Fachjournalen und Büchern zur Tätigkeit des Unternehmens. Sein Erfolg liegt in der maximalen Zufriedenheit der Kunden.



Ultrakurze Messungen mit starken Lasern

Extrem hohe Energien und kurze Pulse:
In der Nanoanalytik schieben die Forscher die Grenzen des Wissens weiter hinaus

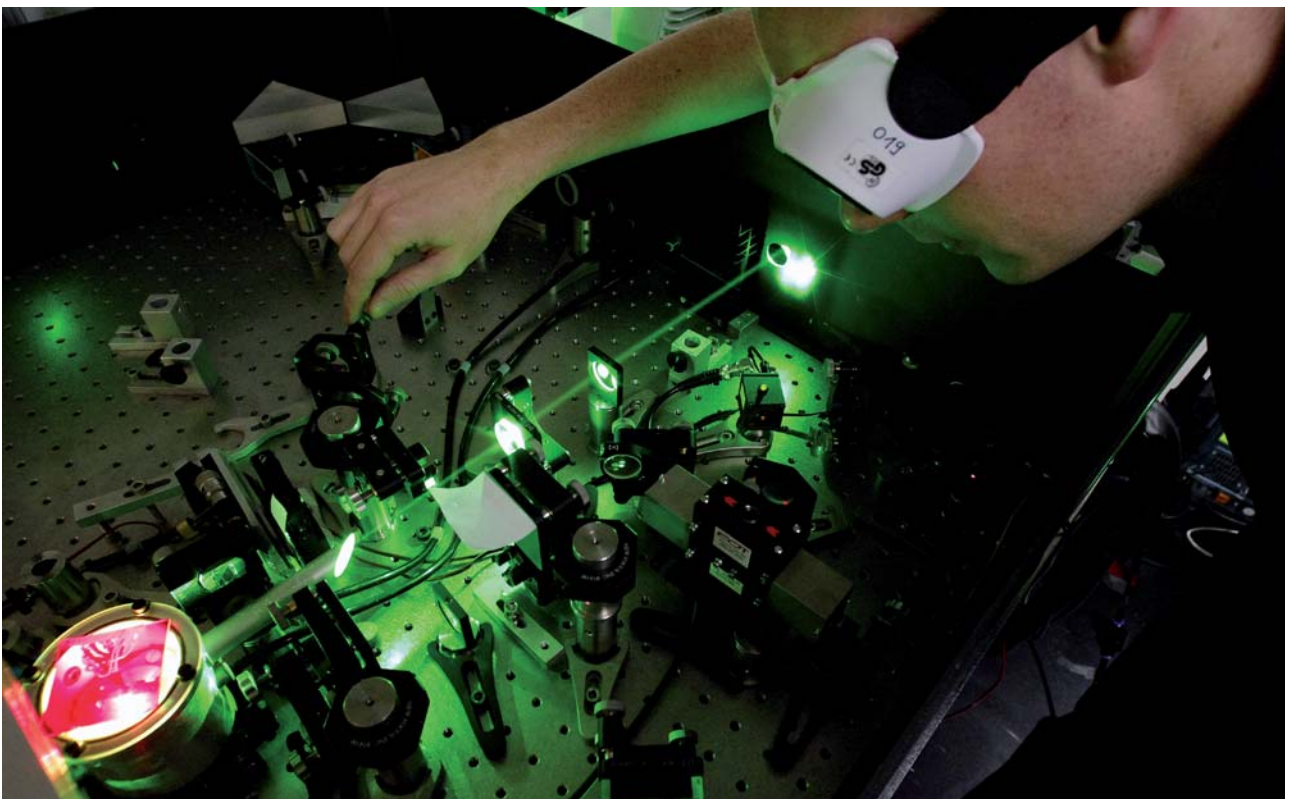
Ein zentrales Charakteristikum von Nanostrukturen ist, dass sich ihre Eigenschaften deutlich von Volumenmaterialien unterscheiden. Neben veränderten optischen Eigenschaften ist insbesondere ihre Wechselwirkung mit der Umgebung verschieden. Ihre katalytische Reaktivität und Effizienz ist meistens erhöht, und neue Funktionalitäten kann man mit geeigneten Ansätzen herstellen.

In der Forschergruppe von Professor Helmut Zacharias steht die Entwicklung von Verfahren im Vordergrund, mit denen man die atomare und molekulare Bewegung von Nanostrukturen untersuchen kann. Da sich diese Dynamik in einer ultrakurzen Zeitspanne abspielt, kommen optische Laserverfahren zum Einsatz, bei denen die einzelnen Laserpulse nur Femtosekunden dauern. Zunächst mussten solche Laser erst einmal gebaut werden, denn die kom-

merziell verfügbaren Geräte erfüllten die Ansprüche nur unzureichend. Als Beispiel sei ein Titan-Saphir-Laser genannt, der eine hohe Pulsenergie bei hoher Wiederholungsrate der Pulse (Repetitionsrate: ein Kilohertz) erreicht. Bei ihm wird der laseraktive Kristall mit flüssigem Stickstoff gekühlt, damit das Gerät die hohen Leistungen schadlos erbringen kann und nicht überhitzt. Dieser Laser arbeitet im roten Spektralbereich bei einer Wellenlänge um 800 Nanometer, mit einer Pulsdauer von 35 Femtosekunden und einer unfokussierten Spitzenleistung von 140 Gigawatt. Das ist eine unvorstellbare Leistung – fast doppelt so hoch wie alle Kraftwerke in Deutschland zusammen, umgesetzt in einer unvorstellbar kurzen Zeitspanne. 35 Femtosekunden sind 35 Billiardstel Teile einer Sekunde.

Strahlung mit höchster Intensität

Neben dem roten Frequenzbereich gewinnt man wichtige Informationen aber auch, in dem man extremes Ultraviolett oder Röntgenstrahlen einsetzt. Daher liegt seit langem ein Schwerpunkt auf der



Die Lasertechnik verschafft den Forschern neue Werkzeuge für ihre Experimente.

Erzeugung von Strahlung mit ultrakurzer Pulsdauer in diesem für die Nanoanalytik wichtigen Spektralbereich. Da die Wellenlängen sehr klein sind, kann man solche Frequenzen derzeit noch nicht direkt aus einem kompakten Laborlaser erzeugen. Deshalb muss man den Umweg über den roten Titan-Saphir-Laser nehmen. Über verschiedene Kniffe und spezielle Wechselwirkungen kann man daraus eine laserartige, gebündelte und kohärente Strahlung erzeugen, deren Wellenlänge sehr klein ist. Die Lichtpulse sind mit weniger als zehn Femtosekunden bis in die Spanne von Attosekunden hinein extrem kurz. Damit lassen sich ultraschnelle elektronische Prozesse untersuchen, die beispielsweise in der Photosynthese oder dem Sehmechanismus des menschlichen Auges eine zentrale Rolle spielen. Die Forscher beschreiten neue Wege, indem sie Plasmaprozesse untersuchen, die zu höheren Intensitäten der erzeugten Strahlung führen sollen.

Millionen Gigawatt gebündelt

Erreicht die Strahlungsleistung aus dem Laser Millionen Gigawatt pro Quadratzentimeter, kann man in festen Targets harte Röntgenimpulse generieren. Besonders interessant sind dabei die K-Alpha-Strahlen mittelschwerer Elemente. Den Wissenschaftlern der Arbeitsgruppe von Professor Zacharias ist es auf diese Weise gelungen, in Elementen von Aluminium bis Kupfer Röntgenstrahlung mit Photonenenergien zwischen 1.486 Elektronenvolt und 8.045 Elektronenvolt zu erzeugen. Während die Aluminiumstrahlung gut für die so genannte Photoelektronen-Spektroskopie geeignet ist, kann man mit der harten Strahlung von Kupfer direkte Experimente mit Röntgenbeugung durchführen. Denn die Wellenlänge der Strahlung liegt mit einem Zehntel Nanometer in derselben Größenordnung wie die Abstände der Atome in fester Materie und in Nanostrukturen.

Dadurch treten Beugung und Interferenz der Strahlung an den Atomen auf. Durch die Beugung erhält man Informationen über die atomare Struktur der untersuchten Partikel und Oberflächen. Von besonderer Bedeutung ist dabei, dass die erzeugten Röntgenpulse mit 100 bis 300 Femtosekunden auch von ultrakurzer Dauer sind. Das ist deutlich kürzer als man beispielsweise mit großen Synchrotronan-

lagen erreichen kann. Somit lassen sich die Röntgenbeugungsexperimente mit hoher Zeitauflösung durchführen. Man kann die Bewegung von Atomen in einem Nanoteilchen verfolgen. Erste Experimente wurden an Kristallen aus Galliumarsenid und Titan-selenid durchgeführt. Dabei konnten die Forscher atomare Bewegungen von drei Zehnteln eines Pikometers – weniger als ein tausendstel Nanometer – innerhalb von wenigen Pikosekunden beobachten.

Der letzte Schritt der Katalyse

Wünschenswert ist oft, eine Abbildung des angeregten Nanosystems zu erhalten, möglichst zeitaufgelöst. Dazu setzen die Forscher die so genannte Photoelektronen-Emissions-Mikroskopie (PEEM) ein. Neben unspezifischen Photoelektronen aus den Valenzbändern sind besonders solche aus Innerschalenzuständen von großem Interesse. Aufgrund ihrer kinetischen Energie geben sie Aufschluss über das Element, von dem sie emittiert wurden. Damit kann man eine elementspezifische Mikroskopie durchführen. Zudem liegt die räumliche Auflösung mit weniger als zwanzig Nanometern deutlich unter der Grenze optischer Verfahren. Bisher wurden Bilder von Nanostrukturen mittels Valenzelektronen erzeugt.

Schließlich untersuchen die Forscher auch die Dynamik der molekularen Desorption von speziell präparierten Schichtsystemen, derzeit Wasserstoff auf Grafit beziehungsweise Grafene. Auf diese Weise wollen sie etwas über die Elektronentransferprozesse lernen, die zur Desorption führen. Die Desorption ist der letzte Schritt, der allen katalytischen Oberflächenreaktionen gemein ist: der photokatalytischen Spaltung von Wasser zur Herstellung von Wasserstoff, im Katalysator eines Pkw oder bei großtechnischen chemischen Verfahren wie der Synthese von Ammoniak.

Prof. Dr. Helmut Zacharias

Physikalisches Institut/CeNTech

Westfälische Wilhelms-Universität Münster

Wilhelm-Klemm-Straße 10, 48149 Münster

Telefon: 0251/83-33609

E-Mail: hzach@uni-muenster.de

Gezielte Rasterfahndung nach Proteinen

Optische Antennen stoßen ein neues Tor in der Erforschung von Krankheiten auf – als sprichwörtlich sechster Sinn

Die Welt der fünf Sinne: Im Alltag sind es vor allem die Augen, die über die Wahrnehmung des Menschen entscheiden. Mit den Augen sehen, das bedeutet, Licht in einer Wellenlänge zwischen 400 und 700 Nanometern zu erkennen. Dieses Spektrum bezeichnet man als „sichtbares Licht“. Unsichtbare Frequenzen bleiben dem Auge und dem Sehnerv verborgen. Viele physikalische Vorgänge oder naturwissenschaftliche Experimente sind mit energetischen Effekten verknüpft, die sich aus der Struktur der Materie oder ihren Zuständen ergeben. Sie sichtbar zu machen und zu nutzen, um spezielle Eigenschaften aufzudecken, gelingt den Forschern durch bildgebende Verfahren und spektroskopische Geräte.

Am Anfang der modernen Wissenschaft standen im 17. Jahrhundert das Mikroskop und das Teleskop, beide aus optischen Glaslinsen entwickelt. Sie ermöglichten es, sehr kleine oder weit entfernte Objekte zu beobachten, die normalerweise – im Alltag – dem menschlichen Auge verborgen bleiben. Sie liegen außerhalb der Sehschärfe und werden vom Auge nicht mehr als Einzelheit unterschieden, sprich: aufgelöst. Es waren Robert Hook und Anthony van Leeuwenhoek, die seinerzeit erstmals biologische Zellen mit Hilfe eines optischen Mikroskops identifizierten.

Enormer Fortschritt bei den Geräten

Optische Instrumente sind bis heute aus der Wissenschaft nicht weg zu denken. Der enorme Fortschritt bei neuen Kontrast- und Spektroskopieverfahren ermöglicht es heute, die Eigenschaften verschiedener Materialien auf vielfältige Weise zu untersuchen. In der Nanotechnologie erreichen optische Geräte diese Bedeutung nicht, da diese das Licht mit Hilfe von Linsen, Spiegeln und Gittern manipulieren. Wenn man diese optischen Elemente einsetzt, nutzen sie den Wellencharakter des Lichts. Ihre Genauigkeit ist durch den physikalischen Effekt der Beugung begrenzt. Werden die betrachteten Objekte und Strukturen oder ihr gegenseitiger Abstand kleiner als die Wellenlänge des Lichts oder der zur Beobachtung

genutzten Strahlen, kann man sie nicht mehr erkennen beziehungsweise voneinander trennen. Daraus ergibt sich eine Auflösungsgrenze in der klassischen Optik, die bestenfalls der halben Wellenlänge des Lichtes entspricht. Mit rund 250 Nanometern erreicht sie nicht annähernd die Feinheit, die man für nanotechnologische Analysen benötigt.

Die Forscher greifen zu einem Kniff

Deshalb greifen die Forscher zu einem Kniff, den man aus der drahtlosen Kommunikation kennt. Dort nutzt man Antennen, um frei propagierende elektromagnetische Felder von Radiofrequenzen und Mikrowellen in einem Raum mit metallischen Leitern zu koppeln. Ein Beispiel aus dem Alltag sind Mobiltelefone, deren Antennen die Energie freier Felder mit Wellenlängen von einigen Metern auf den Receiverchip der Platine konzentrieren. Dass es keine vergleichbare Technologie für optische, also sichtbare Frequenzen gibt, hat einen handfesten Grund: Solche optischen Antennen kann man nur mit Nanotechnologie entwickeln. Auf dem Weg dahin müssen die Wissenschaftler noch manche harte Nuss knacken. Man kann das Design der Radiofrequenz- und Mikrowellen-Antennen nicht einfach auf die Nanowelt übertragen. Dazu bedarf es erheblicher Vorarbeiten und neuer Ideen. Denn wenn es gelingt, diese Technik auch für optische Systeme einzusetzen, kann man damit beispielsweise die Effizienz von Leuchtdioden oder Solarzellen steigern. Metallische Nanostrukturen könnte man als optische Antennen in Lichtmikroskopen einsetzen, um deren Auflösungsgrenze auf die Nanoskala zu verschieben.

Licht regt die Probe an

Optische Antennen können mit ihrem Licht Nanoprobe anregen. Die optischen Signale kann man anschließend einsammeln und auswerten. Wird die optische Antenne Punkt für Punkt über die Probe geführt, lässt sich das Bild aus den spektroskopischen Daten hinterher zusammensetzen. Der Abstand der Antenne zur Oberfläche der Probe darf nur wenige Millionstel Millimeter betragen. Edelmetalle wie Gold und Silber, aber auch Aluminium sind für die Entwicklung von optischen Antennen besonders interessant. Ihre Eigenschaften lassen sich über die



Dr. Christiane Höppener bei einem Experiment

Geometrie der Antennen und die Wahl des Materials anpassen. Besonders aussichtsreich ist die Erforschung fundamentaler Prozesse und Strukturen biologischer Objekte auf der Nanometerskala. Die Arbeitsgruppe „Nanobiophotonics“ entwickelt und nutzt optische Antennen, um Proteine und ihre Verteilung in zellulären Membranen mit Hilfe von Fluoreszenzmikroskopen zu untersuchen. Solche Antennen kann man beispielsweise aus speziellen Nanopartikeln aus Gold und Silber herstellen.

Winzige Goldkugeln

Im einfachsten Fall besteht eine optische Antenne dann aus einem einzigen, nur vierzig bis achtzig Nanometer großen Goldkugeln. Auf diese Weise erhalten die Wissenschaftler wichtige Einblicke in den chemischen Aufbau der Membran und ihrer Komponenten. Besonders viel versprechend sind

diese Analysen in Verbindung mit der Erforschung spezieller Krankheiten, die durch Anomalien in der Konzentration und Verteilung bestimmter Proteine gekennzeichnet sind. Dazu gehören Krankheiten wie Alzheimer oder Morbus Parkinson, die das Gehirn zerstören. Sie zu verstehen ist die entscheidende Voraussetzung, um neue Methoden der Diagnose und der Therapie zu entwickeln. Dann wird die Medizin nicht länger machtlos sein.

Dr. Christiane Höppener

Physikalisches Institut

Westfälische Wilhelms-Universität Münster

Wilhelm-Klemm-Straße 10, 48149 Münster

Telefon: 0251/83-39088

E-Mail: christiane.hoepfener@uni-muenster.de

Ultraschnelle Quantendynamik in Nanostrukturen

Wissenschaftler erforschen immer kleinere und immer leistungsfähigere Prozessoren und Datenspeicher

Der technologische Fortschritt führt dazu, dass elektronische Bauelemente wie beispielsweise Prozessoren oder Speicherelemente in Computern immer kleiner und gleichzeitig schneller werden. Typische Abmessungen liegen bereits heute im Bereich einiger weniger Nanometer und damit auf einer Längenskala, bei der der atomare Aufbau der Materie eine immer wichtigere Rolle spielt. Ebenso kommen die Zeiten in den Bereich typischer elementarer Wechselwirkungsprozesse, über die zum Beispiel die Energie zwischen den Elektronen und der Umgebung ausgetauscht werden. Beides führt dazu, dass die Dynamik solcher Systeme zunehmend vom klassischen Verhalten abweicht und stattdessen immer stärker von quantenmechanischen Gesetzmäßigkeiten bestimmt wird. Während dies für die Funktionsweise heutiger Computer äußerst störend ist, eröff-

nen sich durch das Ausnutzen von Quanteneffekten aber auch ganz neue Möglichkeiten wie zum Beispiel sichere Verschlüsselungstechniken im Rahmen der Quantenkryptografie oder die Informationsverarbeitung auf der Basis einzelner Atome oder atomähnlicher Systeme in einem Quantencomputer. Da die quantenmechanischen Gesetzmäßigkeiten häufig unanschaulich sind, ist zum Verständnis eine detaillierte theoretische Modellierung unumgänglich. In der Arbeitsgruppe um Professor Kuhn werden solche theoretische Untersuchungen zur ultraschnellen Quantendynamik in nanostrukturierten Festkörpern durchgeführt.

Künstliche Atome

Wird in einem Halbleiter die Bewegung der Elektronen in allen drei Raumrichtungen bis auf wenige Nanometer eingeschränkt, erhält man einen so genannten Halbleiter-Quantenpunkt. Hier tritt ähnlich wie bei Atomen eine Quantisierung der Energiezustände auf, das heißt, die Energie der Elektronen kann nicht mehr beliebige, sondern nur noch ganz



Teamberatung bei Professor Tilmann Kuhn (Zweiter von rechts)

bestimmte Werte annehmen. Man spricht deshalb auch von künstlichen Atomen. Im Unterschied zu wirklichen Atomen können hier aber die möglichen Energiewerte durch Geometrie und Materialzusammensetzung in weitem Maße eingestellt werden. Solche Strukturen sind deshalb sowohl für optische Bauelemente wie Halbleiterlaser als auch für die Quanteninformationstheorie sehr interessant. Die Arbeitsgruppe untersucht unter anderem, wie solche Quantenpunkte mit ihrer Umgebung wechselwirken.

So zeigte sich, dass die optische Anregung eines Quantenpunkts mit einem ultrakurzen Lichtpuls dazu führt, dass ein gewisser Teil der zugeführten Energie sehr schnell auf einer Zeitskala unterhalb einer Pikosekunde, das heißt einer Billionstel Sekunde, in Form von Gitterschwingungen, also einer Schallwelle abgestrahlt, der restliche Teil dagegen erst auf einer tausend mal längeren Zeitskala in Form von Licht abgegeben wird. Interessanterweise lässt sich der quantenmechanische Zustand der so erzeugten Gitterschwingungen in weitem Umfang durch die optische Anregung beeinflussen. So können durch An-

regung mit zwei ultrakurzen Lichtpulsen nicht-klassische Zustände erzeugt werden, in denen die Fluktuationen zeitweise kleiner als im Quantenvakuum sind. Solche so genannten gequetschten Zustände sind in der Quantenoptik für das Lichtfeld bekannt. Sie spielen dort eine große Rolle für Messungen, bei denen höchste Empfindlichkeit benötigt wird.

Der Spin eines Mangan-Atoms

Kürzlich ist es einer Arbeitsgruppe in Grenoble auch gelungen, in einen einzelnen Quantenpunkt ein einzelnes magnetisches Atom einzubringen. Dies ist sehr interessant, da der Spin dieses magnetischen Atoms als Datenspeicher genutzt werden könnte. Im Unterschied zum Spin eines Elektrons, der nur zwei mögliche Werte annehmen kann, hat der Spin dieses Mangan-Atoms sechs mögliche Einstellungen. Da er nur sehr schwach mit der Umgebung wechselwirkt, hat er eine lange Lebensdauer, was ihn als Speicher attraktiv macht, was aber auch das gezielte Schalten in einem bestimmten Zustand erschwert. Die Wissenschaftler der Arbeitsgruppe um Professor Kuhn konnten ein Schaltprotokoll entwickeln, mit dem auf einer Zeitskala von einigen zehn Pikosekunden der Spin des Mangan-Atoms in jeden der sechs möglichen Zustände gebracht werden kann.

Ultrakurze Lichtpulse

Dabei wird der Quantenpunkt mit einer geeigneten Folge von ultrakurzen Lichtpulsen bestrahlt, um die Elektronen des Quantenpunkts anzuregen und deren Quantenzustand zu kontrollieren. Angeregte Elektronen wiederum können ihren Spin auf das Mangan-Atom übertragen. Werden die Elektronen zum Schluss wieder durch geeignete Lichtpulse in ihren Grundzustand gebracht, bleibt der Mangan-Spin in seinem neuen Zustand erhalten.



Professor Dr. Tilmann Kuhn

Institut für Festkörperttheorie
Westfälische Wilhelms-Universität
Wilhelm-Klemm-Str. 10, 48149 Münster
Telefon: 0251/83-36312
E-Mail: tilmann.kuhn@uni-muenster.de

Einzigartige Forschungsdichte in der Nanoregion Münster

- Physikalisches Institut
Wilhelm-Klemm-Straße 10
48149 Münster

Institut für Materialphysik
Wilhelm-Klemm-Straße 10
48149 Münster

CeNTech GmbH
Heisenbergstraße 11
48149 Münster

Organisch-Chemisches
Institut
Correnstraße 40
48149 Münster

Institut für Theoretische
Physik
Wilhelm-Klemm-Straße 9
48149 Münster

Institut für Biochemie
Wilhelm-Klemm-Straße 2
48149 Münster

Luminartis GmbH
Heisenbergstraße 11
48149 Münster

Institut für Physikalische
Chemie
Corrensstraße 30
48149 Münster

Institut für Medizinische
Physik und Biophysik
Robert-Koch Straße 31
48149 Münster
- Institut für Pharmazeutische
Technologie und Biopharmazie
Corrensstraße 1
48149 Münster

Institut für Molekulare
Zellbiologie
Schlossplatz 5
48149 Münster

Institut für Anorganische
und Analytische Chemie
Corrensstraße 28
48149 Münster

nanoAnalytics GmbH
Heisenbergstraße 11
48149 Münster

Institut für Physiologie II
Robert-Koch-Straße 27 b
48149 Münster

OFG Analytik GmbH
Mendelstraße 11
48149 Münster

arrows biomedical GmbH
Heisenbergstraße 11
48149 Münster

Tascon GmbH
Heisenbergstraße 15
48149 Münster

Institut für Angewandte
Physik
Corrensstraße 2/4
48149 Münster
- Bioanalytik e.V.
Technologiehof
Mendelstraße 11
48149 Münster

Max-Planck-Institut
für molekulare Biomedizin
Röntgenstraße 20
48149 Münster

Institut für Festkörperphysik
Wilhelm-Klemm-Straße 10
48149 Münster

Institut für Betriebswirtschaft-
liches Management
Leonardo Campus 1
48149 Münster

Marketing Centrum Münster
Am Stadtgraben 13-15
48143 Münster



Weltweite Kooperationen der Nanoforscher aus Münster

