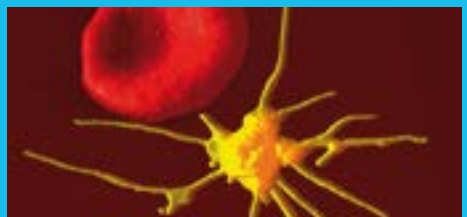


# Nanowelt Münster



# Nanowelt Münster

Region Münster

Nanomaterialien

Nanobiomedizin

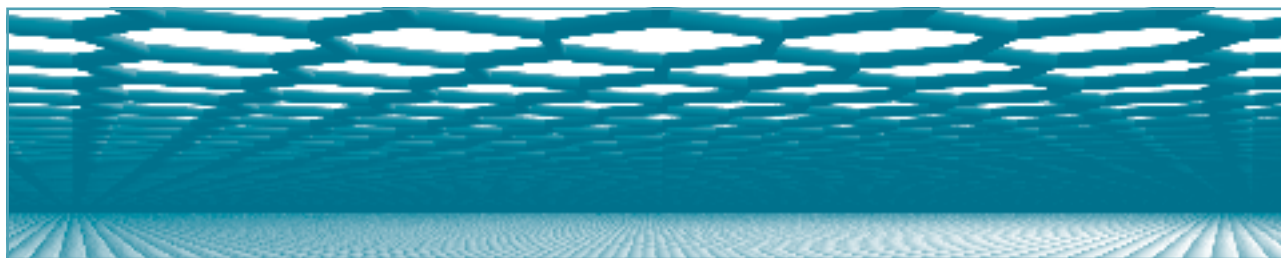
Nanoanalytik und Theorie

|  |   |
|--|---|
| Vorwort Markus Lewe<br>Oberbürgermeister der Stadt Münster   | 6 |
| Vorwort Prof. Dr. Johannes Wessels<br>Rektor der WWU Münster   | 7 |
| Vorwort Prof. Dr. Harald Fuchs<br>Wissenschaftlicher Leiter des CeNTech, Direktor des Physikalischen Instituts | 9 |



## Region Münster

|  |    |
|--|----|
| Das CeNTech: Ein Zentrum mit internationaler Ausstrahlungskraft<br>Dr. Holger Winter, CeNTech  | 12 |
| „Tiefgang und Vielfalt in einer einzigartigen Mischung“<br>Im Interview: Prof. Dr. Lifeng Chi und Prof. Dr. Harald Fuchs                                   | 14 |
| TRR 61: Ein Pilotprojekt mit Vorbildcharakter<br>Prof. Dr. Harald Fuchs, Dr. Sabine Hunze, Transregio 61   | 16 |
| Förderung und Faszination aus erster Hand<br>Prof. Dr. Cornelia Denz, Dipl. Phys. Sybille Niemeier, MExLab Physik  | 18 |
| Die NanoBioAnalytik-Region Münster<br>Dr. Klaus-Michael Weltring, Gesellschaft für Bioanalytik Münster e.V.  | 20 |
| Aus dem Alltag kaum mehr wegzudenken<br>Prof. Dr. Jens Leker, Institut für Betriebswirtschaftliches Management   | 22 |
| Von der Invention zur Innovation<br>Prof. Dr. Dr. h.c. Klaus Backhaus, Marketing Centrum Münster   | 24 |
| Neubau für biomimetische Nanosysteme<br>Prof. Dr. Bart Jan Ravoo, Organisch-Chemisches Institut und<br>Prof. Dr. Helmut Zacharias, Physikalisches Institut | 26 |

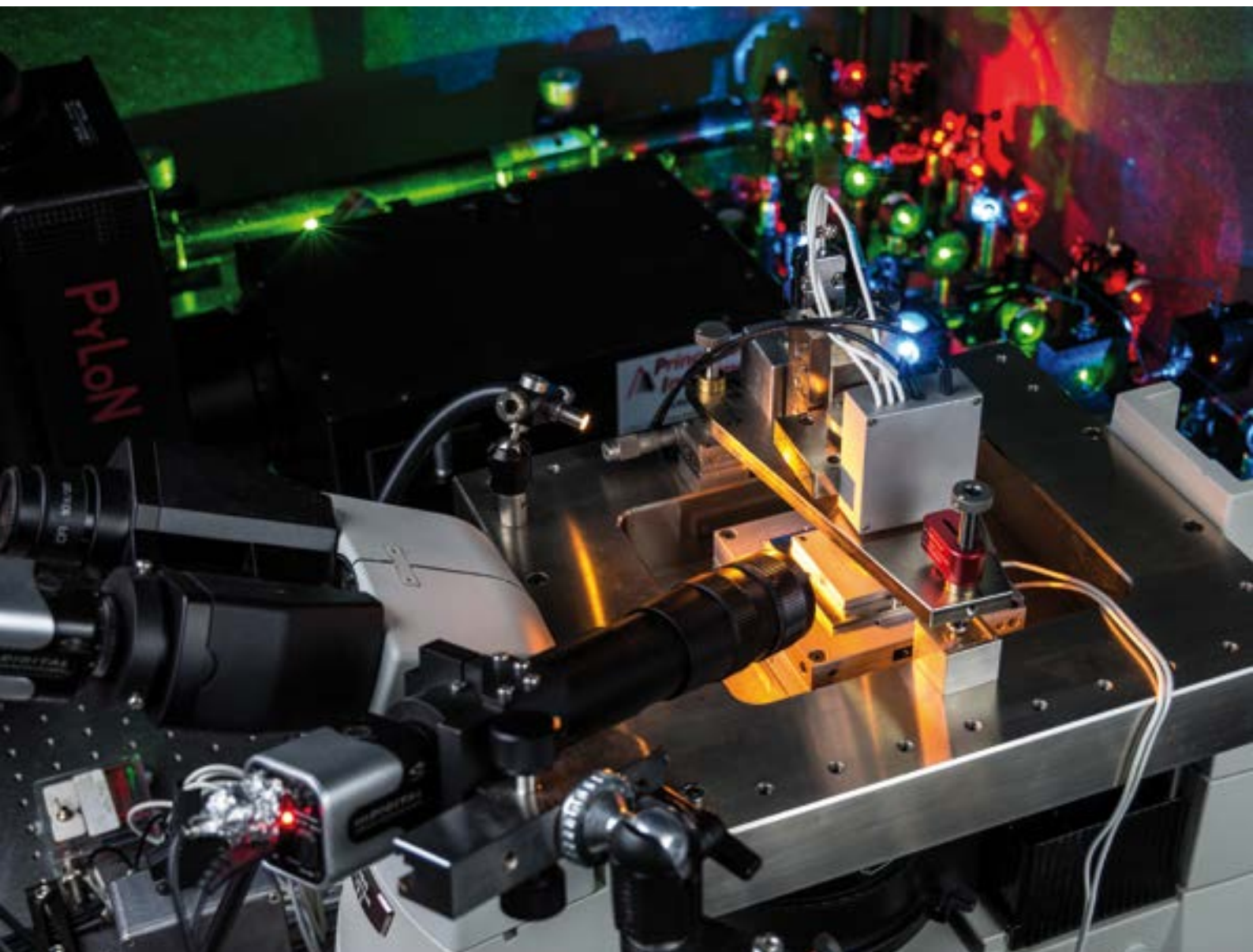


## Nanomaterialien

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Nanophysik trifft Chemie</b>   | <b>30</b> |
| Prof. Dr. Harald Fuchs, Prof. Dr. Lifeng Chi, Dr. Harry Mönig, Prof. Dr. Gerhard Erker,<br>Prof. Dr. Armido Studer, Prof. Dr. Frank Glorius |           |
| <b>Polymerbürsten auf Glas und Wafern</b>   | <b>32</b> |
| Prof. Dr. Armido Studer, Organisch-Chemisches Institut  |           |
| <b>Intelligentes Label misst das Verfallsdatum</b>  | <b>34</b> |
| Prof. Dr. Meinhard Knoll, Institut für Physikalische Chemie   |           |
| <b>Von Quantenpunkten und Nanodrähten</b>   | <b>36</b> |
| Prof. Dr.-Ing. Gerhard Wilde, Institut für Materialphysik   |           |
| <b>Atome und Moleküle als Baustoffe für Arzneicontainer</b>   | <b>38</b> |
| Prof. Dr. Monika Schönhoff, Institut für Physikalische Chemie   |           |
| <b>Ein Modellsystem für Miniproteine</b>  | <b>39</b> |
| Prof. Dr. Bart Jan Ravoo, Organisch-Chemisches Institut   |           |
| <b>Grenzflächenanalytik für neue Materialien</b>  | <b>40</b> |
| Dr. Harry Mönig, Physikalisches Institut  |           |
| <b>Ein Webstuhl für winzige Muster</b>  | <b>41</b> |
| Prof. Dr. Lifeng Chi, Physikalisches Institut<br>und Prof. Dr. Gerhard Erker, Organisch-Chemisches Institut                                 |           |
| <b>Licht steuert Licht – Optik auf der Nanoskala</b>  | <b>42</b> |
| Prof. Dr. Cornelia Denz, Institut für Angewandte Physik   |           |
| <b>Maßgeschneiderte Werkstoffe für die Mikroelektronik</b>  | <b>44</b> |
| Prof. Dr. Hartmut Bracht, Institut für Materialphysik   |           |
| <b>Lichtkräfte und Optik mit einzelnen Photonen</b>   | <b>46</b> |
| Prof. Dr. Wolfram Pernice, Physikalisches Institut  |           |
| <b>Licht kann Zauberkegel steuern</b>   | <b>48</b> |
| PD Dr. Cristian Strassert   |           |
| <b>Alufolie als Best-Practice – Nanoschichten sorgen für Stabilität</b>   | <b>50</b> |
| Prof. Dr. Thomas Jüstel, Fachhochschule Münster   |           |
| <b>Dünn, dünner, zweidimensional!</b>   | <b>52</b> |
| Prof. Dr. Carsten Busse, Institut für Materialphysik  |           |

## Nanobiomedizin

|   |    |
|---|----|
| Lichtblitze machen Marker und Antikörper sichtbar                                 | 56 |
| Dr. Lutz Haalck, Luminartis GmbH  |    |
| Ein tiefer Blick in das Wirrwarr der Synapsen                                     | 58 |
| Prof. Dr. Jürgen Klingauf, Institut für Medizinische Physik und Biophysik         |    |
| Eine Vision der Medizin wird Realität   | 60 |
| Prof. Dr. Klaus Langer, Institut für Pharmazeutische Technologie und Biopharmazie |    |
| Das Erbgut als Vorbild für neue Kunststoffe                                       | 62 |
| Prof. Dr. Jens Müller, Institut für Anorganische und Analytische Chemie           |    |
| Die Zelle – das organisierte Chaos  | 64 |
| Prof. Dr. Roland Wedlich-Söldner, Institut für Zelldynamik und Bildgebung         |    |
| Nanomedizin: Chance und Risiko zugleich   | 66 |
| Dr. Kristina Riehemann, Physikalisches Institut/CeNTech                           |    |





## Nanoanalytik und Theorie

|  |    |
|--|----|
| Auf der Suche nach der Nadel im Heuhaufen  | 70 |
| Prof. Dr. Heinrich Arlinghaus, Physikalisches Institut                           |    |
| Weltweit einzigartige Analysetechnik   | 72 |
| Dr. Birgit Hagenhoff, Tascon GmbH  |    |
| Selbstorganisation und Gleichgewicht   | 74 |
| Prof. Dr. Uwe Thiele und Dr. Svetlana Gurevich, Institut für Theoretische Physik |    |
| Mit dem Spin zur effizienten Elektronik  | 76 |
| Prof. Dr. Markus Donath, Physikalisches Institut                                 |    |
| Wenn die Atome im Computer Modell stehen   | 78 |
| Prof. Dr. Andreas Heuer, Institut für Physikalische Chemie                       |    |
| Ein Bild sagt mehr als tausend Worte   | 80 |
| Prof. Dr. Uwe Karst, Institut für Anorganische und Analytische Chemie            |    |
| Auf ein Fünfmillionstel eines Millimeters genau                                  | 82 |
| Prof. Dr. Helmut Kohl, Physikalisches Institut                                   |    |
| Nanophysik im virtuellen Labor   | 83 |
| Prof. Dr. Nikos Doltsinis, Institut für Festkörpertheorie                        |    |
| Vom Windrad bis zur Windel   | 84 |
| Dr. Roger Dietrich, OFG Analytik GmbH  |    |
| Analytik ist alles andere als oberflächlich                                      | 86 |
| Dr. Andreas Schäfer, nanoAnalytics GmbH  |    |
| Ein Speziallabor für molekulare Biomedizin                                       | 88 |
| Dr. Arnold M. Raem, arrows biomedical Deutschland GmbH                           |    |
| Ultrakurze Messungen mit starken Lasern  | 90 |
| Prof. Dr. Helmut Zacharias, Physikalisches Institut                              |    |
| Gezielte Rasterfahndung nach Proteinen   | 92 |
| Dr. Christiane Höppener, Physikalisches Institut                                 |    |
| Ultraschnelle Quantendynamik in Nanostrukturen                                   | 94 |
| Prof. Dr. Tilmann Kuhn, Institut für Festkörpertheorie                           |    |





Münster hat die Chance, bis zum Jahr 2030 um 30.000 Einwohnerinnen und Einwohner zu wachsen. Dann wird unsere Stadt 330.000 Einwohner/innen zählen. Wir sind damit eine der wenigen Großstädte, die ihre Zukunft lebendig und vielfältig zu gestalten in der Lage sind.

Münster befindet sich in einem stetigen Wandel. Und das soll es auch. Münster ist längst eine internationale Stadt. Die Zukunft von Städten und Regionen wird international oder gar nicht sein. Es gibt immer mehr Menschen und Familien, die aus anderen Ländern nach Münster kommen, um hier zu leben und zu arbeiten. Gerade für Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus den Zukunftsbereichen Life Science, Informations- und Kommunikationstechnologien sowie Nanotechnologie ist Münster ein Muss. Niemand kommt bei dem Thema „Nano“ an Münster mehr vorbei. Und dass Münster Ort des Exzellenzclusters „Cells in Motion“ ist, macht mich zusätzlich wirklich stolz! Es liegt eindeutig auf der Hand: „Münsters Wissen schafft“ – Wissenschaft, die wichtigste Zukunftsressource und Jungbrunnen Münsters.

Nicht umsonst sind die insgesamt neun Hochschulen mit mehr als 50.000 Studierenden, Universitätsklinikum und weitere Forschungseinrichtungen der größte Arbeitgeber unserer Stadt und der wichtigste Motor für das Wirtschaftswachstum. Lokale und regionale Unternehmen wachsen überdurchschnittlich, wenn sie von der Forschung an den Hochschulen profitieren können. Unsere Stadt ist der Campus. Und deshalb wird es in Zukunft eine der großen Herausforderungen sein, Münster gemeinsam mit den Hochschulen zu einer Musterstadt für Nachhaltigkeit und Innovation zu entwickeln. Die Wissenschaft gehört zu Münsters Portfolio wie der Friedenssaal oder der Kreativkai.

Akteuren aus Wissenschaft, Wirtschaft und Stadt ist es in ihrer engen und hervorragend funktionierenden strategischen Kooperation gelungen, Leuchtturmprojekte wie das Nano-Bioanalytik-Zentrum zu schaffen und Münster zu einem führenden Bildungs-, Wissenschafts-, Forschungs- und Entwicklungsstandort in Europa zu machen. Die Bedeutung der Allianz für Wissenschaft für unsere Stadt kann gar nicht hoch genug eingeschätzt werden.

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 Lewe

Oberbürgermeister der Stadt Münster



Liebe Leserinnen und Leser,

„Vague but exciting...“ – Dies war der Kommentar des Vorgesetzten von Tim Berners-Lee, als dieser ihm im März 1989 einen Vorschlag für den Austausch und die Verwaltung von Informationen und Daten zur Steigerung der Effizienz an ihrer gemeinsamen Forschungsstelle im CERN unterbreitete. Diese drei auf den oberen Rand des Papers gekritzten Worte der Zustimmung ließen Berners-Lee weiter an seiner Idee arbeiten, die die Grundlage für das World Wide Web bilden sollte.

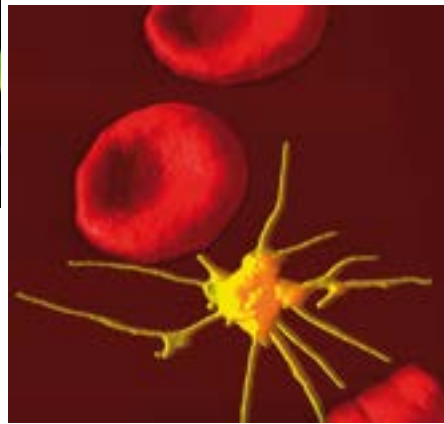
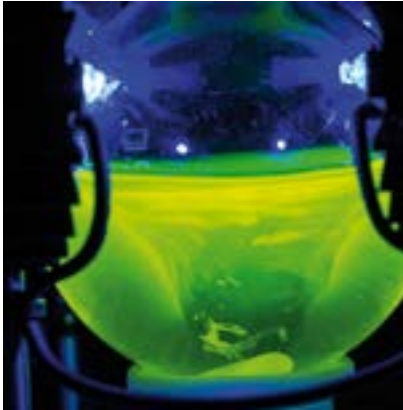
Das WWW ist eines der berühmtesten „Abfallprodukte“ der Grundlagenforschung. Nur wenn man Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern die Freiheiten lässt, die sie brauchen, um ihre Forschung uneingeschränkt zu betreiben, können solche revolutionären Ideen entstehen – sowohl in der Grundlagen-, als auch in der angewandten Forschung. Gerade die Nanowissenschaften sind dafür ein lebendiger Beleg. Als wichtiger Wissenschaftsstandort hat sich Münster 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 weit über die deutschen Grenzen hinaus zu einem der führenden Standorte entwickelt hat und diesen Ruf in Zukunft weiter ausbauen wird. Zahlreiche Kooperationen mit der Stadt, der FH Münster oder internationalen Partnern, der geregelte Technologietransfer in die Wirtschaft, getragen durch hervorragende Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, zeugen von dem enormen Erfolg der hiesigen Nanoforschung.

In diesem Sinne 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.

Ihr

Prof. Dr. Johannes Wessels  
Rektor der WWU 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 ungeahnte Möglichkeiten, Materialien mit völlig neuartigen Eigenschaften in nahezu allen Technologiebereichen herzustellen. Oberflächenveredelung, intelligente nanoskalige Materialien, schnellere Elektronik, Optik, Sensoren und Nanomotoren sind nur einige Beispiele dieser rasch wachsenden Querschnittstechnologie.

Seit 1998 arbeiten die WWU Münster, 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 Zentrum für Nanotechnologie (CeNTech), das Nanobiozentrum (NBZ) und das neue Center for Soft Nanoscience (SoN). Neben zahlreichen Kooperationen mit nationalen und internationalen Partnern ist der Transregio-Sonderforschungsbereich TRR 61 ein herausragendes Beispiel für eine langjährige erfolgreiche internationale Partnerschaft. Daraus entstanden weitere Projekte mit anderen führenden chinesischen Wissenschaftsstandorten.

Viele europäische Projekte und Netzwerke, darunter „Nano2Life“ und „Frontiers“ sowie zahlreiche Kooperationen mit der Industrie, wurden durch Aktivitäten aus Münster vorbereitet und erfolgreich umgesetzt. Münster hat sich damit auf europäischer Ebene zu einem international sichtbaren Knoten für die Nanotechnologie entwickelt. Hochkarätige Wissenschaftler werden nach Münster berufen, finden in unseren Zentren und der WWU ein einzigartiges Forschungsumfeld vor und sind neue Botschafter für unsere Forschung, aber auch für die Stadt Münster in aller Welt.

Diese Broschüre gibt an ausgewählten Beispielen einen Überblick über die vielfältigen Aktivitäten der Nanotechnologie in Münster.

Ihr

Prof. Dr. Harald Fuchs  
Wissenschaftlicher Leiter  
des Zentrums für Nanotechnologie (CeNTech)  
Direktor des Physikalischen Instituts der  
Westfälischen Wilhelms-Universität Münster

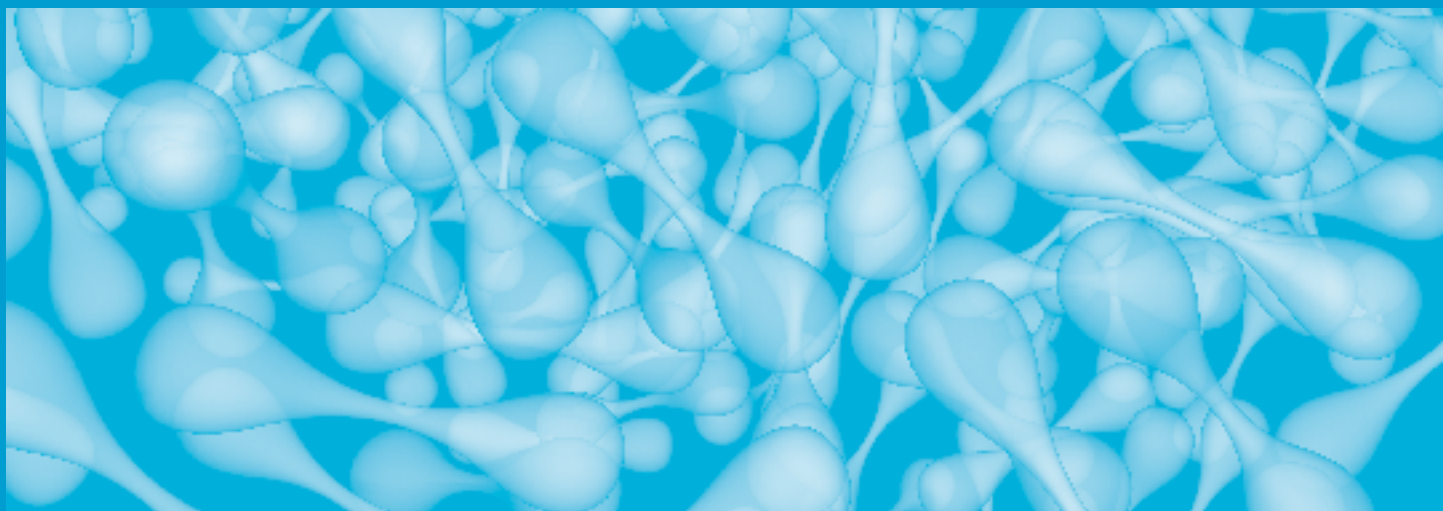
## Eine starke Region

Die Erfolgsgeschichte der Nanowissenschaften in Münster beginnt im Jahr 1993. Um die Nanowissenschaften zu stärken, werden seither 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. Im Jahr 2000 gründeten die Universität, die Stadt und das Land Nordrhein-Westfalen ein besonderes außeruniversitäres Forschungszentrum, das CeNTech, dessen moderner Neubau 2003 eröffnet wurde. Auf einem Drittel der Fläche beherbergt das CeNTech junge Start-up-Firmen und stellt ihnen Büros, Labore und Technik zur Verfügung. Bereits 2012 wurde eine Erweiterung des CeNTech erforderlich, das CeNTech II, denn die vielen etablierten Forschergruppen und die sechs Nachwuchsgruppen (davon fünf mit eigener Finanzierung) benötigten zusätzliche Räume und Geräte.

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 Medizophysiker zusammen, um die Ergebnisse ihrer Grundlagenforschung möglichst rasch in anwendbare Konzepte umzusetzen. Die CeNTech GmbH als Trägergesellschaft unterstützt den Technologietransfer, beispielsweise durch Seminare, Konferenzen und Lizenzvergaben. Das Gebäude ist dafür optimal ausgestattet. Über das CeNTech wurde außerdem die Kooperation der Universität mit der Wirtschaftsförderung der Stadt Münster vertieft.

Das Nano-Bioanalytik-Zentrum (NBZ) Münster, in dem kleine und mittelständische Unternehmen forschen und innovative Geräte für die Nanobioanalytik entwickeln, folgte mit einem Neubau 2013.

Bis 2017 wird der Neubau für das Center for Soft Nanoscience (SoN) fertig gestellt, in dem Wissenschaftler unterschiedlicher Fachrichtungen die grundlegenden Prozesse zur Herstellung von biomimetischen Funktionsmaterialien untersuchen.



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.

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 die hierarchische 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 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.

Auf 2.400 Quadratmetern finden Wissenschaftler in dem 2003 eröffneten Forschungsgebäude spezielle Labore und Büros vor, die den spezifischen Anforderungen der Nanotechnologie entsprechen. Dazu gehören beispielsweise schwingungsfreie Fundamente, Reinräume und ein umfangreicher Gerätepark.

Seit Ende 2011 stehen weitere 1.300 Quadratmeter Nutzfläche im Erweiterungsgebäude CeNTech II, das über Landes- und Bundesmittel finanziert wurde, zur Verfügung. Auch die Universität Münster hat sich mit 2,2 Millionen Euro an dem Gebäude und der Ausstattung beteiligt.

## Viel mehr als ein Speziallabor

Doch CeNTech ist viel mehr als ein Speziallabor. Hier 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 ist die CeNTech GmbH in die Anmeldung und Ver-



Links: Das Zentrum für Nanotechnologie CeNTech I in Münster  
oben rechts: CeNTech II

wertung von nanotechnologischen Patenten aus der Universität Münster mit eingebunden. Seit der Gründung des Zentrums wurden bereits über 20 Patente angemeldet. Die nachfolgenden Lizenzierungen und Patentverkäufe in die Industrie verdeutlichen das Interesse.

### Nanobioanalytik als Zukunftsfeld

Die CeNTech GmbH ist eine Tochter der Technologieförderung Münster GmbH und als aktives Mitglied der Allianz für Wissenschaft sehr stark in die Entwicklung der Region mit eingebunden. Insbesondere die Nanobioanalytik gilt als eines von drei Zukunftsfeldern der Wissenschaftsregion Münster.

Dieser Bereich wird seit Jahren konsequent ausgebaut. Hierzu tragen neben dem CeNTech-Erweiterungsgebäude, das ausschließlich durch die Nanowissenschaftler der Universität genutzt wird, auch das neue Nanobioanalytik-Zentrum (NBZ) bei, das die Ansiedlung kleiner und mittlerer Unternehmen ermöglicht.

Die CeNTech GmbH übernimmt zudem Aufgaben im Standortmarketing. 2014 fand die europäische Leitmesse NanoBio Europe bereits zum vierten Mal in Münster statt. Das Hauptaugenmerk der Veranstaltung, an der mehr als 250 Vertreter aus Wissenschaft und Wirtschaft teilnahmen, konzentriert sich auf medizinische Anwendungen der Nanotechnologie.

### Kompetenz spricht sich herum

Die Teilnahme an Marketingprojekten, mit denen das Bundesforschungsministerium die Nanotechnologien fördert, unterstützt diese Profilierung. So wurden die Münsteraner Kompetenzen auch auf den großen internationalen Konferenzen/Messen in Tokio, Moskau, Peking, Boston und Chicago präsentiert.

Darüber hinaus unterstützt die CeNTech GmbH alle Bemühungen, die Nanoforschung aus Münster regional bis international zu vernetzen. Dazu gehören EU Projekte wie Nano2Life, Frontiers oder Nano4Market, sowie die Mitgliedschaft im Deutschen Nanoverband und der Initiative „Nano in Germany“. Zudem ist die CeNTech GmbH Mitinitiator des Arbeitskreises der Deutschen Nanoregionen.



Die Kompetenz der Trägergesellschaft zahlt sich aus. So hat das nordrhein-westfälische Innovationsministerium den Auftrag zur Durchführung des Technologieclusters „NanoMikroWerkstoffePhotonik.NRW“ 2012 erneut an die CeNTech GmbH als Führer eines Konsortiums vergeben. In diesem Zusammenhang hat die CeNTech GmbH auch das Management des COPT.NRW Projektes übernommen.

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.



Dr. Holger Winter



Dr. Thomas Robbers

**Dr. Thomas Robbers**

**Dr. Holger Winter**

CeNTech GmbH

Heisenbergstraße 11, 48149 Münster

Tel: 0251/53406-100

E-Mail: [office@centech.de](mailto:office@centech.de)



# „Tiefgang und Vielfalt in einer einzigartigen Mischung“

Die Nanoregion Münster ist ein Vorbild für fruchtbare Kooperation. Besonders eng sind die Verbindungen ins Reich der Mitte. Im Gespräch verraten Professorin 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 darum, die Erkenntnisse für neue Anwendungen und Produkte zu nutzen. 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 naturwissenschaftlichen Fächer und die Medizin.

**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 fünfzehn 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. Zahlreiche Firmen haben sich im Umfeld angesiedelt. Die Patentverwertung wird über die eigens gegründete CeNTech GmbH abgewickelt. Viele Jahre Aufbauarbeit tragen ihre Früchte.

## *Ist CeNTech der Kern der Nanoregion?*

**Professor Harald Fuchs:** Sicher! Mit dem Zentrum ist es gelungen, eine neue Struktur zwischen der Stadt Münster und der Universität zu schaffen. Die Stadt hatte das Ziel, möglichst viele Hightech-Arbeitsplätze nach Münster zu holen. Die Universität brauchte Kapazitäten für die interdisziplinäre Forschung. Ohne das gemeinsame Engagement des Landes Nordrhein-Westfalen, der Stadt Münster und der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster wären wir kaum so weit gekommen. Der damalige und der heutige Bürgermeister – beide haben unser Projekt immer voll unterstützt. Dass die Kooperation fruchtbar ist, zeigt neben zahlreichen Patentanmeldungen und wissenschaftlichen Auszeichnungen der CeNTech-Erweiterungsbau, der Anfang 2012 fertiggestellt wurde. Denn das bisherige CeNTech-Gebäude wurde nach wenigen Jahren Betriebszeit zu eng.

*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 einige Hundert 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. Wir hatten in Münster den ersten transkontinentalen Sonderforschungsbereich Transregio 61 (TRR 61), den die Deutsche Forschungsgemeinschaft eingerichtet hat. Der TRR 61 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 promovierte, 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 routinemä-

ßig 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 Soochow Universität in Suzhou. Ich habe hier und dort eine eigene Arbeitsgruppe. In meiner Gruppe hier sind sechs Doktoranden und Postdocs. In Suzhou habe ich inzwischen zirka 20 Studenten, Postdocs und Mitarbeiter. Rund zwei Dutzend Wissenschaftler nehmen 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 sechs Monate pro Jahr in China, die andere Hälfte 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.

#### **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

#### **Prof. Dr. Harald Fuchs**

Physikalisches Institut/CeNTech,  
Westfälische Wilhelms-Universität Münster,  
Wilhelm-Klemm-Straße 10, 48149 Münster,  
Telefon: 0251/83-33621  
E-Mail: fuchsh@uni-muenster.de

# TRR 61: Ein Pilotprojekt mit Vorbildcharakter

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

Auf der Basis eines mehrjährigen Austausches von Forschern aus der Nanophysik und Nanochemie zwischen Münster und Universitäten in China, gelang es Professor Harald Fuchs, Professorin 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 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, TRR 61) arbeiten mehr als 90 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in 24 Projekten. Auf deutscher Seite stellt die Deutsche Forschungsgemeinschaft bis 2020 rund 16 Millionen Euro zur Verfügung. Gleichzeitig 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 ging es um die grundlegenden Mechanismen molekularer Systeme, insbesondere um multiple Wechselwirkung, kooperative Effekte und das dynamische Verhalten bei der Selbstorganisation von Molekülen. In der zweiten Phase lag der Schwerpunkt auf den kontrollierenden Eigenschaften, die aus sich selbst organisierenden, molekularen Systemen hervorgehen und erweiterte Funktionalitäten anzeigen, insbesondere in molekularer Elektronik und anderen reaktionsstarken molekularen Systemen.

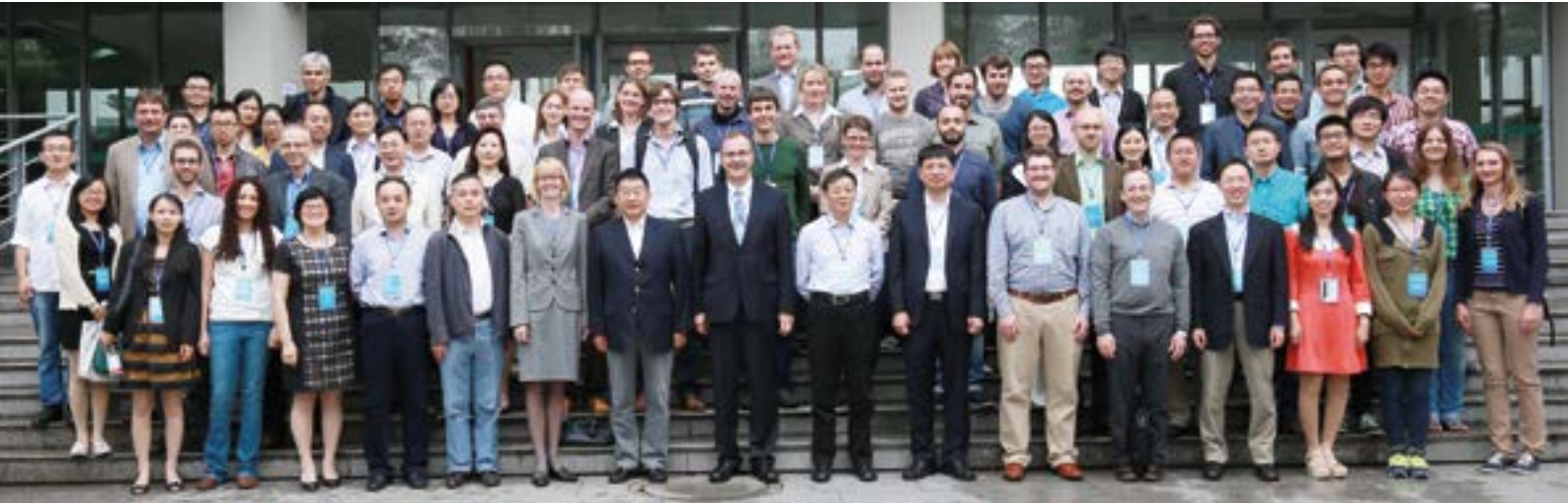
Das längerfristige Ziel der Forscher ist es, die Eigenschaften und Funktionen molekularer As-

semblate 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 Verhaltenskomplexe Funktionen erfüllen. Das können einzelne oder ungeordnete Moleküle nicht.

Konkrete Ziele sind:

- >> die Verbesserung von funktionalen Systemen durch Optimierung der Ladungsträgermobilität, des molekularen Transportes und der optischen spektralen Abstimmung bezüglich Emission, Absorption und Polarisierung,





Symposium der WissenschaftlerInnen des TRR 61 in Suzhou

>> Erzeugung von schaltbaren und responsiven Materialien, die in der Lage sind, Form, elektro- optische 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 Assem-

blaten an Grenzflächen und Oberflächen. Cluster C hat seinen Schwerpunkt auf biohybriden Assemblaten. Viele der 24 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 Doktorandinnen und 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. Sabine Hunze

Projektmanagerin im SFB/TRR 61

Physikalisches Institut

Westfälische Wilhelms-Universität Münster

Wilhelm-Klemm-Straße 10, 48149 Münster

Telefon: 0251/83-36303

E-Mail: [sabine.hunze@uni-muenster.de](mailto:sabine.hunze@uni-muenster.de)



# Förderung und Faszination aus erster Hand

Aktuelle Forschung aus dem Bereich der Nanotechnologie wird für Mädchen und junge Studentinnen durch spannende Experimente und Laborworkshops attraktiv

Aufgrund ihres Ursprungs in den Naturwissenschaften ist auch die Forschung auf dem interdisziplinären Gebiet der Nanowissenschaften von der sichtbaren Unterrepräsentanz von Frauen in den sogenannten MINT-Fächern (Mathematik – Informatik – Naturwissenschaften – Technik) betroffen. Um exzellente Forscherinnen für die Nanophysik und Nanochemie zu gewinnen, ist gezielte Förderung bereits zu Studienbeginn sinnvoll. Hierzu dienen Maßnahmen zur Motivation von Schülerinnen zur Aufnahme eines Studiums der Physik oder Chemie am kritischen Übergang von Schule zur Hochschule, aber auch die Unterstützung von jungen Studentinnen in ihrer frühen Karriere durch Netzwerkbildung und Mentoring.



## Genderförderung: lebendige Wissenschaft

Nano4YourLife, ein Projekt des Sonderforschungsbereichs/Transregio TRR61 unter der Leitung von MExLab Physik (Münsters Experimentierlabor Physik), setzt genau an dieser Stelle an und richtet sich mit Startzeitpunkt im Mai 2014 an Schülerinnen der Oberstufe sowie Studentinnen der Physik und Chemie bis zum zweiten Semester. Im Vordergrund steht dabei, den Teilnehmerinnen mit spannenden Experimenten den hochaktuellen und spannenden Mix

aus Physik, Chemie und Biologie näher zu bringen, den die Nanowissenschaften bieten, und damit die Neugierde für die Naturwissenschaften zu wecken. Gleichzeitig lernen sie andere Mädchen kennen und bauen so neue Freundschaften auf: Denn alle Teilnehmerinnen – die ‚NanoGirls‘ – verbindet ihr Interesse für naturwissenschaftliche Themen. Beruhend auf drei Projektsäulen bringt Nano4YourLife durch den direkten Kontakt zu Fachwissenschaftlerinnen und Fachwissenschaftlern aus Physik, Chemie und Biologie aber auch Studien- und Berufsorientierung selbstverständlich mit sich.

Innerhalb der ersten Projektsäule in Form von zwei eintägigen „großen Workshops“ forschen alle Teilnehmerinnen zu einzigartigen Nanoeffekten, faszinierenden Nanomaterialien und Nanotechnologien der Zukunft. Unter dem Motto „EinBlick in die Nanowissenschaften“ experimentieren die Teilnehmerinnen im ersten Workshop selbstbestimmt mit einer Vielzahl von Materialien zum Thema Lotuseffekt: Der Traum von der ewigen Reinheit ist ein Beispiel aus dem Bereich der beeindruckenden Nanooberflächen-Effekte und regt immer wieder zum Staunen, Ausprobieren und Untersuchen an: Warum bleiben Kohlrabi- und Tulpenblätter immer sauber, wenn man die Blattoberfläche nicht berührt, Salatblätter aber nicht? Darüber hinaus bieten Experimentierstationen mit Ferrofluid einen Einblick in die außergewöhnlichen und faszinierenden Eigenschaften dieser magnetischen Flüssigkeiten: Aufwärts fließende Flüssigkeit, stachelartige Strukturen und wie von Zauberhand aufschwimmende Münzen begeistern die Teilnehmerinnen stellvertretend für den Bereich der Nanopartikel.

Der zweite Workshop steht unter dem Thema „OLEDs – Leuchten lernen von der Natur“: Beim Bemalen von Handyhaltern mit nachleuchtenden Farben erfahren die ‚NanoGirls‘ mehr über Phosphoreszenz und sind beim folgenden Versuch begeistert über die Fluoreszenz der Baumsäfte der Rosskastanie. Wer hätte schon gedacht, wie beeindruckend der Saft unter UV-Licht in Wasser leuchtet? Diese beiden Beispiele für Photolumineszenz sind aber nur der Anfang: Auch Chemilumineszenz – also das Leuchten aufgrund einer chemischen Reaktion – lässt die Teilnehmerinnen das Handy zücken, um Fotos für Fa-



milie und Freundinnen zu machen. Danach ist es nur noch ein kleiner Schritt zur Elektrolumineszenz, bei der Licht aufgrund eines fließenden Stroms ausgestrahlt wird – das Phänomen, welches die Grundlage für die Funktionsweise der organischen Leuchtdioden (OLEDs) bildet. Wenige Nanometer dicke Schichten kennzeichnen den Aufbau dieser zukunftssträchtigen Leuchtmittel: Während des Workshops bauen die ‚NanoGirls‘ einfache Varianten der OLEDs und begegnen dabei ganz selbstverständlich Physik und Chemie. Vorstellungen von Teilprojekten des Sonderforschungsbereichs der Universität Münster, die ebenfalls die Themenkomplexe Nanooberflächeneffekte, -partikel und -schichten bearbeiten, bilden in den großen Workshops die Verbindung zu den Forschungsaktivitäten in den Nanowissenschaften.

Raum für die Vertiefung eigener Interessen bilden die ebenfalls eintägigen ‚NanoGirls@Work-Events‘. Aus einer Vielzahl von Veranstaltungen wählen die ‚NanoGirls‘ zwei Veranstaltungen ihrer Wahl: Sie experimentieren und forschen in kleinen Gruppen zu einem inhaltlich stark eingegrenzten Themenkomplex, welchen sie anschließend beim Besuch in einem Labor, einer Forschungseinrichtung oder einer Firma in aktuellen Forschungsvorhaben oder Untersuchungen live erleben. Anstelle einer klassischen Führung ermöglicht diese Form des Kennenlernens von Forschung und Industrie es den Teilnehmerinnen, komplexe Forschungsinhalte zu verstehen, hochtechnische Geräte zu bedienen, und so interaktiv neue Berufsgruppen kennen zu lernen.

Die Vernetzung unter den Teilnehmerinnen, welche durch die Heterogenität aus Schülerinnen und Studentinnen besonders interessant für die ‚NanoGirls‘ ist und daher bereits inhärent Studien- und Berufsorientierung allein durch die Teilnehmendenstruktur

bietet, wird durch ein Online-Forum für alle Teilnehmerinnen als dritte Projektsäule weiter gefördert. Themen aus dem Bereich der Nanowissenschaften, das Leben interdisziplinären Austausches und Genderförderung über Role Models bilden daher in Nano4YourLife eine perfekte Symbiose.

### Symbiose aus Spaß & Forschung

Dass Nano4YourLife von den teilnehmenden Mädchen schon jetzt als Erfolg angesehen wird, zeigen die hohen Anmeldezahlen und die kontinuierliche Teilnahme der ‚NanoGirls‘: 57 Schülerinnen und Studentinnen nehmen seit Mai 2014 am ersten Durchlauf von Nano4YourLife aktiv teil. Zahlreiche ‚@Work-Events‘ stehen bis zum Projektende mit Unterstützung der Forscherinnen und Forscher des Sonderforschungsbereichs/Transregio TRR61 und des Center for Nanotechnology (CeNTech) noch an.

Die teilnehmenden Studentinnen, die inzwischen das vierte Semester erreicht haben, knüpfen begeistert die ersten Kontakte, um die bald anstehende Bachelor-Arbeit in den Laboren des Sonderforschungsbereichs absolvieren zu können. Und die Schülerinnen erhalten in den lockeren Gesprächen mit den Studentinnen Rückmeldungen zu den relevanten Studiengängen, wie sie biographienäher nicht sein könnten.

**Prof. Dr. Cornelia Denz,**

**Dipl.-Phys. Sybille Niemeier**

MExLab Physik

Westfälische Wilhelms-Universität Münster

Corrensstraße 2, 48149 Münster

Telefon: 0251/83-33517; -33516

E-Mail: denz@uni-muenster.de

E-Mail: s.niemeier@uni-muenster.de



# Die NanoBioAnalytik – Region Münster

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

Mit neuen hochauflösenden chemischen und physikalischen Analysemethoden zellbiologische Vorgänge und deren Reaktion auf chemische Reize oder Materialien zu untersuchen, eröffnet neue Möglichkeiten der Erforschung von Krankheitsursachen und Therapien, den empfindlichen Nachweis von Lebensmittel- und Umweltkontaminationen, sowie zur Überprüfung der Sicherheit von Produkten für Verbraucher.

In der Region Münster ist die für solche Untersuchungen nötige wissenschaftliche Basis mit einer langjährigen Tradition in einer breiten Palette hochauflösender Nanoanalytikmethoden gepaart mit exzellenter biomedizinischer Forschung vorhanden. Schon vor 40 Jahren wurden hier entscheidende Entwicklungen in Elektronenmikroskopie von Professor Pfefferkorn beigesteuert. Es folgten bahnbrechende Forschungsergebnisse auf dem Gebiet der Massenspektrometrie mit Professor Hillenkamp als einem der Erfinder der MALDI-Technologie. Gleiches gilt für Professor Benninghoven auf dem Gebiet der ToFSIMS-Massenspektrometrie. Komplettiert wird das analytische Potenzial durch Nahfeldsondenentwicklungen von Professor Fuchs sowie den größten Arbeitskreis in analytischer Chemie von Professor Karst.

## Mehr als vier Jahrzehnte Erfahrung

Diese vorwiegend aus den physikalischen und chemischen Instituten der Universität Münster gespeiste Analytik hat sich in den letzten Jahren zunehmend mit dem biomedizinischen Know-how in den medizinischen und pharmazeutischen Fakultäten sowie dem Universitätsklinikum Münster vernetzt. Zu erwähnen sind hier vor allem das Max-Planck-Institut für Molekulare Biomedizin mit einer der weltweit führenden Arbeitsgruppen in der Stammzellforschung um Professor Schöler, das Zentrum für Molekularbiologie der Entzündung (ZMBE) sowie das Europäische Institut für Molekulares Imaging (EIMI). Vorläufige Höhepunkte dieser immer intensi-

veren Vernetzung sind die erfolgreiche Beantragung des Exzellenzclusters „Cells in Motion“ (CIM) und des Zentrum für Soft Nanoscience (SoN), in denen die Analyse von Zellen und deren Interaktion mit neuen Nanomaterialien weiter vorangetrieben wird. Vor allem die Fähigkeit, neue Materialien auf der Nanometerskala entwickeln und deren Interaktion mit Zellen und Geweben im Detail zu untersuchen, ist eine essenzielle Voraussetzung für das Verständnis der Entstehung von Krankheiten und die Entwicklung neuer nanomaterialbasierter Therapien.

## Enge Kontakte zur Wirtschaft

Das interdisziplinäre Forschungsumfeld ist auch ein immer besserer Nährboden für die wirtschaftliche Nutzung der Ergebnisse. So entstanden in den letzten Jahren mehr als 30 Unternehmen in der Region, die sowohl neue analytische Geräte und Testsysteme entwickeln, als auch analytische und biotechnologische Dienstleistungen anbieten. Darunter sind Ausgründungen wie die ION-TOF GmbH, Weltmarktführer auf dem Gebiet der ToF-SIMS Massenspektrometer oder die Wessling GmbH als Anbieter von Lebensmittel- und Umweltanalytik.

Unter den Unternehmen hat inzwischen ebenfalls eine intensive Vernetzung stattgefunden, deren bestes Beispiel die Gründung des Nano-Charakterisierungs-Labors Münster ([www.ncl-muenster.de](http://www.ncl-muenster.de)) ist. In diesem Konsortium haben sich elf Unternehmen und das Biomedizinische Technologiezentrum der Medizinischen Fakultät zusammengeschlossen, um Kunden aus der Lebensmittel-, Kosmetik-, Pharma- und Umweltindustrie bei der Charakterisierung des Nanoanteils ihrer Produkte zu unterstützen, um so einen wichtigen Beitrag zur Sicherheit dieser Produkte zu leisten.

## Neue Zentren verbessern die Infrastruktur

Unterstützt wird die Vernetzung von Wissenschaft und Wirtschaft durch neue Zentren wie das Centrum für Nanotechnologie (CeNTech), in dem vor allem angewandte Forschung und deren Umsetzung in Ausgründungen stattfindet, sowie das Nanobioanalytik-Zentrum Münster (NBZ), in dem klein- und mittelständischen Unternehmen ein optimales Umfeld für nanobioanalytische Innovationen geboten



Frontansicht des neuen Nanobioanalytik-Zentrums in Münster

wird. Die kurzen Wege zum Max-Planck-Institut, dem Universitätsklinikum und den geplanten Gebäuden für CIM und SoN sichern den kontinuierlichen Austausch auch für die Zukunft ab.

### Das Netzwerk mit Leben erfüllen

Jede regionale Vernetzung braucht einen Treiber und eine Kommunikationsplattform. Beides wurde von den Akteuren vor 13 Jahren in Form der Gesellschaft für Bioanalytik Münster e. V. gegründet. Seitdem nutzen Wissenschaftler, Unternehmer und Standortvertreter diese Plattform für die Entwicklung gemeinsamer Projekte und die Vernetzung mit externen Partnern und Regionen.

So vertritt der Verein die Region in der Europäischen Technologieplattform Nanomedizin und sorgt dafür, dass das nanobioanalytische Potenzial der Region in Projekten mit europäischen Partnern Eingang findet. Weiterhin ist der Verein eine der tragenden Säulen des NRW Clusters NanoMikroWerkstoff-

Photonik, der die Nanotechnologie in Nordrhein-Westfalen im Auftrag der Landesregierung fördert und organisiert.

Ein Alleinstellungsmerkmal der Nanobioanalytik-Region Münster ist die Allianz für Wissenschaft, in der sich die Universität Münster, die Fachhochschule Münster und die Stadt Münster zusammengeschlossen haben. Gemeinsam wollen sie das Zusammenspiel zwischen Wissenschaft, Wirtschaft und Region strategisch weiterentwickeln. Das Ergebnis der gemeinsamen Anstrengungen ist eine europäische Nanobioanalytik-Modellregion der Spitzenklasse.

#### Dr. Klaus-Michael Weltring

Gesellschaft für Bioanalytik Münster e.V.

Nano-Bioanalytik-Zentrum Münster

Mendelstraße 17, 48149 Münster

Telefon: 0251/38 45 03 30

E-Mail: [weltring@bioanalytik-muenster.de](mailto:weltring@bioanalytik-muenster.de)

# Aus dem Alltag kaum mehr wegzudenken

Nach fast sechs Jahrzehnten wurde eine Vision von Richard Feynman zur Realität. In der Nanotechnologie steckt ein großes, unausgeschöpftes Potenzial

Fünfundfünfzig Jahre nach Feynmans Vortrag ist die Nanotechnologie aus dem Alltag kaum mehr wegzudenken. Nanobasierte Anwendungen haben längst in den Alltag Einzug gehalten. Nanomaterialien finden sich in Kosmetikprodukten, auf Lebensmittelverpackungen, in Lithium-Ionen Batterien, in Farben und Lacken, in der Krebstherapie, in Leuchtdioden (LED) und elektronischen Geräten. Die kommenden Jahre werden noch stärker von der rasanten Entwicklung dieser jungen Wissenschaft geprägt sein. Immer mehr innovative Anwendungen werden folgen.

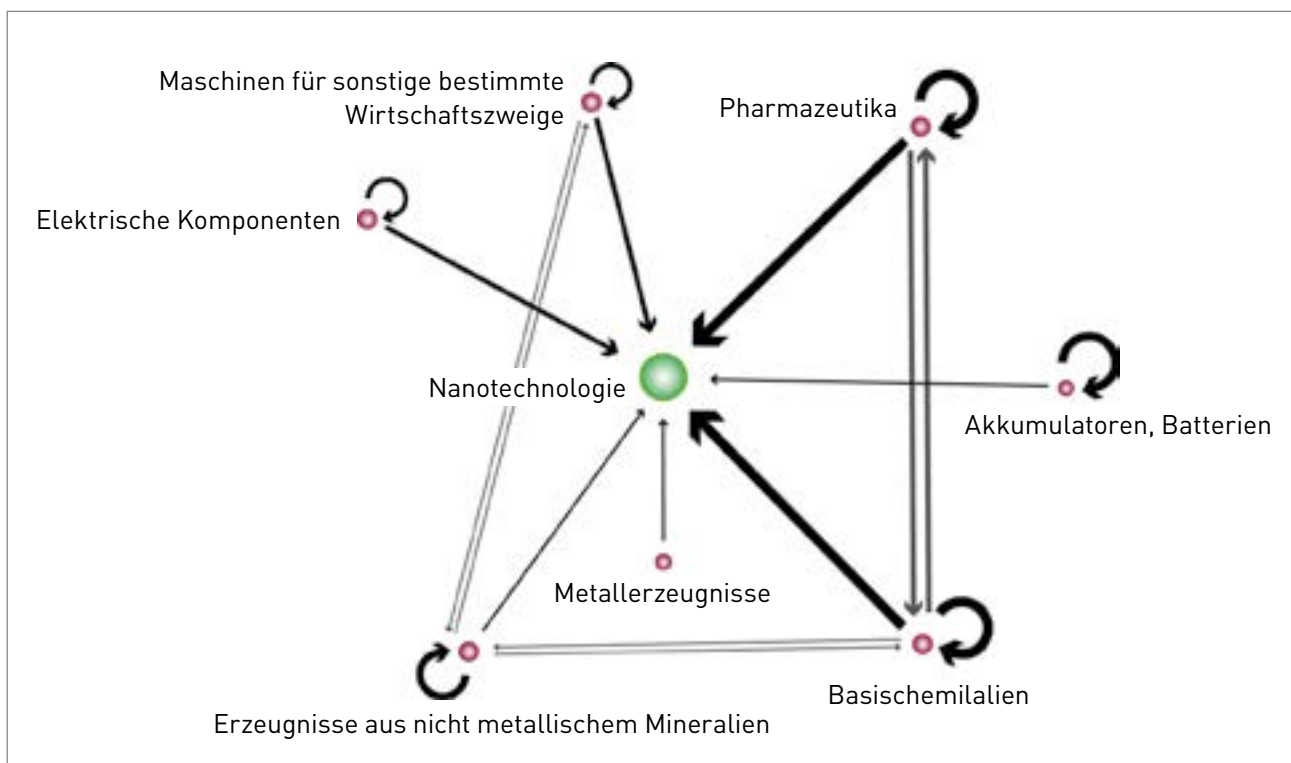
Statt „größer, höher, weiter“ lautet das Motto der Nanotechnologie: „kleiner, schneller, effizienter“. In den volkswirtschaftlich bedeutenden Branchen wie Chemie, Elektronik, Medizin und der Energiewirtschaft leistet dieser Wissenschaftszweig wichtige Beiträge zur Wettbewerbsfähigkeit. Denn er erlaubt

innovative Prozesse und Produkte, die Ressourcen schonen. Der Gesamtmarkt für Nanomaterialien wird nach einer Studie des Bundesforschungsministeriums im Jahr 2015 auf rund 20 Milliarden US-Dollar geschätzt.

Der Markt für nanotechnologische Werkzeuge wurde 2014 auf 90 Milliarden Dollar beziffert. In der Medizin erwarten die Analysten von BCC Research, dass allein der Umsatz im globalen Gesundheitssektor durch die Nanotechnologie im Jahr 2016 mehr als 96 Milliarden Dollar erreichen wird. In der Tumorthherapie gilt die Nanomedizin als besonders aussichtsreich. In der Energieerzeugung verspricht Dünnschichtsolartechnik ein hohes Wachstumspotenzial. Dieser Markt könnte bis 2017 auf 820 Millionen US-Dollar mit einer jährlichen Wachstumsrate von rund 40 Prozent wachsen.

## 820 Milliarden US-Dollar

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 ab 2010 jährlich mit öffentlichen Fördermitteln in Höhe von mehr als 400 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 nach OECD-Angaben 2010 etwa 300 Millionen Euro für nanotechnologiebezogene Forschungen. 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.

### Innovation braucht Management

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.

### Eine gemeinsame Sprache

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 Marktzugänge zu erhalten. Für zwei Drittel der deutschen Unternehmen in der Nanotechnologie spielen Kooperationen mit europäischen Partnern eine wichtige Rolle, während rund ein Drittel Kooperationen mit nordamerikanischen und asiatischen Partnern als wichtig erachten.

Kooperationen sind immer mit erhöhten Transaktionskosten, steigender Komplexität und der Gefahr des Abflusses von kritischem Wissen verbunden. Auch dabei kann das Innovationsmanagement 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 zum Schlüssel des Wachstums.

#### 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 der Invention zur Innovation

Die Nanotechnologen in Münster bleiben nicht bei den Erfindungen (Inventionen) stehen. Denn sie suchen den Weg in den Markt, um daraus Innovationen zu machen

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.

## 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 Selbstständigkeit, aber auch die Ansiedlung externer Firmen in der Münsteraner Nanowelt.

Andernfalls findet die Invention nicht ihren Weg in den Markt und wird damit nicht zur Innovation. Beispiele dafür gibt es genug: 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.

## Breiter Weg der Kooperation

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.

Versucht man die Problematik graphisch zu verdeutlichen, dann resultiert als Ergebnis: Betrachtet man die zwei Dimensionen Technologievorteil und Nutzenvorteil mit den jeweils vorhandenen dichotomen Ausprägungen „vorhanden/nicht vorhanden“, so spannt sich eine Matrix auf, bei der den praktisch häufigsten Fall der rechte untere Quadrant darstellt.

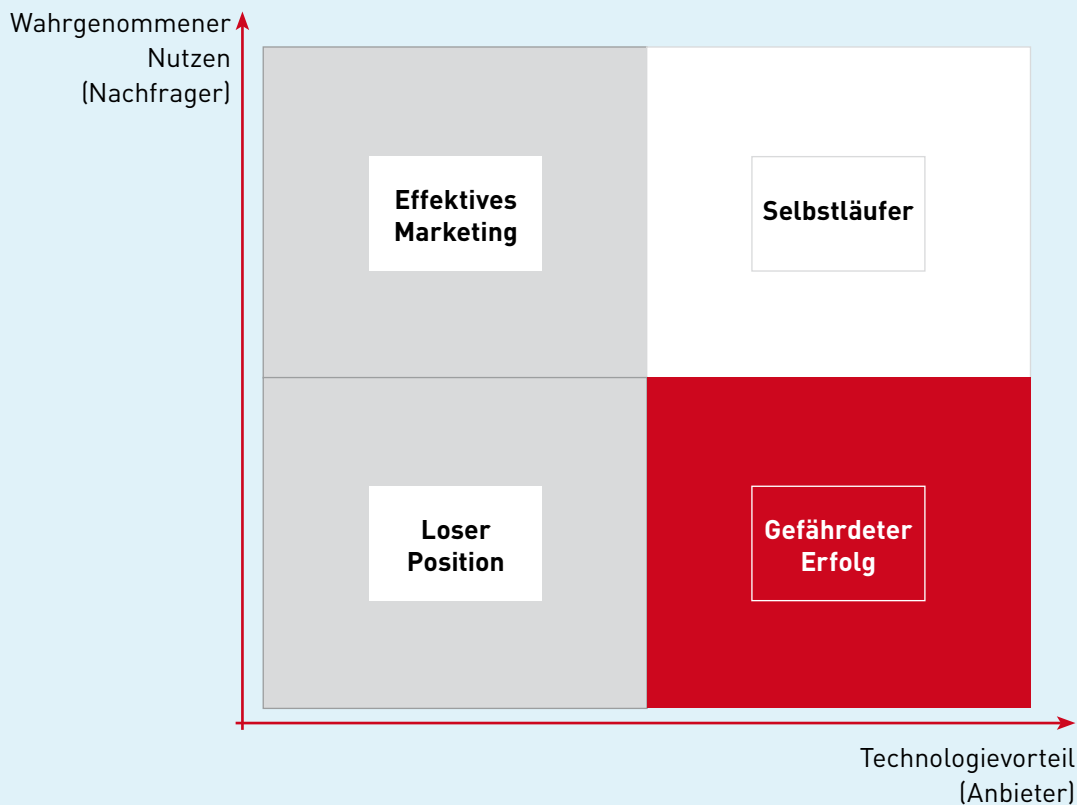
Man verfügt über einen technischen Vorteil, der aber noch nicht in einen Nutzenvorteil transferiert wurde. Die Münsteraner Forscher in der Nanotechnologie haben erkannt, wie wichtig der Nutzen-transfer ist.

Durch die Gründung des CeNTech wurden die Wissenschaft und praktische Anwendung ihrer Ergebnisse zusammengeführt. In einer Kooperation zwischen dem CeNTech und dem Institut für Anlagen- und Systemtechnologien (IAS) wurden erste Erfolge erzielt. So wurden im Fachbereich Biochemie der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster die Grundlagen für das cellZscope entwickelt.

## Eine integrierte Strategie fürs Marketing

Mit Hilfe dieses neuen Laborgerätes lassen sich 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.





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.

### Raus aus dem Elfenbeinturm

Professor Hans-Joachim Galla, der Geschäftsführende Direktor des Instituts für Biochemie, charakterisierte diese fächerübergreifende Kooperation: „Es ist beeindruckend, dass interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Wissenschaftsdisziplinen so konkrete Ergebnisse liefern kann.“

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. Die Initiatoren dieses Vorhabens, Professor Harald Fuchs und Professor Klaus Backhaus, werden diese Kooperation weiter ausbauen. Das ermöglicht die weitere Profilierung der Nanotechnologie in Münster.

### Prof. Dr. Dr. h.c. Klaus Backhaus

Marketing Centrum Münster  
Westfälische Wilhelms-Universität Münster  
Königsstr. 47, 48143 Münster  
Telefon: 0251/83-22861  
E-Mail: backhaus@wiwi.uni-muenster.de



# Neubau für biomimetische Nanosysteme

Am Center for Soft Nanoscience werden ab 2017 zwölf Arbeitsgruppen gemeinsam forschen

Im Center for Soft Nanoscience arbeiten Chemiker, Biophysiker und Biochemiker, Mediziner und Physiker an der Aufklärung funktionaler natürlicher Materialien und am gezielten, selbstorganisierten Aufbau synthetischer Materialien mit steuerbaren Funktionen. Auch natürliche Materialien organisieren sich selbst. Sie zeichnen sich durch vielfältige Eigenschaften aus, die künstliche, harte Materialien wie Stahl oder Aluminium nicht haben.

## Sich selbst reparieren

So sind weiche Materialien modular aufgebaut und haben die Fähigkeit, bei Beschädigung sich selbst zu reparieren. Zentral ist hierbei die präzise und dabei räumlich-zeitlich dynamische Anordnung der einzelnen Bausteine. Membranen von biologischen Zellen sind ein Beispiel sowohl für vielfältige Funktionen als auch für die dynamische Anordnung der einzelnen Funktionselemente.

Die Beherrschung dieser natürlichen Funktionsweise in synthetischen, biomimetischen Nanosystemen wird zu einer Schlüsselkompetenz der künftigen Nanowissenschaften. Sie wird neben einer Vielzahl von innovativen Ansätzen auf lange Sicht eine zielgerichtete Freisetzung von Wirkstoffen, eine gesteuerte Bildung interagierender (Zell-)Systeme und die Fertigung von neuartigen Funktionsmaterialien erlauben, und so auch zur Schonung von Ressourcen beitragen.

Die Herstellung von biomimetischen Funktionsmaterialien wird nach dem molekularen Bottom-up-Prinzip erfolgen und sich zunächst auf funktionalisierte dreidimensionale Nanomaterialien und adressierbare Container konzentrieren.

Das Forschungsprogramm ist in zwei vernetzte Forschungs- und ein Methodenfeld organisiert. Im Forschungsfeld „Synthese und Selbstorganisation“ werden nach dem Vorbild der Natur weiche Nanomaterialien aus synthetischen und natürlichen molekularen Bausteinen (Kohlenhydrate, Peptide, Lipide, DNS, Polymere) erzeugt.



Im Forschungsfeld „Steuerbare Nanomaterialien“ werden Nanomaterialien erzeugt, welche räumlich und zeitlich durch externe Reize (zum Beispiel Licht, pH-Wert) gesteuert werden können und somit einer kontrollierten Beeinflussung zugänglich sind, wie Nanocontainer, molekulare Schichten, Gele und Hybridmaterialien. Für die präzise Zusammensetzung der einzelnen Baugruppen und auch zur Kontrolle des Erreichten werden neuartige Nanoverfahren entwickelt werden müssen.

## Besonders förderungsfähig

Der Wissenschaftsrat der Bundesrepublik hat 2013 diesen interdisziplinären Forschungsansatz als besonders förderungsfähig gefunden und daher die Einrichtung eines eigenen Forschungsbaus mit dieser Zielsetzung empfohlen. Derzeit entsteht daher an der Busso-Peus-Straße in unmittelbarer Nähe des Max-Planck-Instituts für Biomedizin und dem Nanobiozentrum ein neues, hochmodernes For-



schungsgebäude der WWU, gefördert je zur Hälfte mit Mitteln des Bundes und des Landes Nordrhein-Westfalen. Mit der Fertigstellung ist Anfang 2017 zu rechnen.

Dann werden etwa zwölf Arbeitsgruppen mit modernsten Verfahren der Nanoanalytik von der supraauflösenden optischen Mikroskopie über verschiedene Rasterverfahren bis hin zur Elektronenmikroskopie die erzeugten Systeme strukturell und

mit Femtosekundenlasern auch zeitlich-dynamisch untersuchen.

Neben den Selbstorganisationsprinzipien kommen auch molekulare Tinten (Dip-Pen-Lithographie) und Nanostrukturierungsverfahren (Elektronenstrahl-Lithographie, fokussierte Ionenstrahl-Lithographie) und andere zum Einsatz. Nachwuchsgruppen und einzelne Beiträge aus anderen Gruppen komplettieren das Forschungsprogramm.

#### Center for Soft Nanoscience (SoN), Busso-Peuss-Strasse 10

##### Prof. Dr. Bart Jan Ravoo

Organisch-Chemisches Institut  
Westfälische Wilhelms-Universität Münster  
Corrensstr. 40, 48149 Münster  
Tel.: 0251/83 33211  
Fax: 0251/83 33202  
B.J.Ravoo@uni-muenster.de

##### Prof. Dr. Helmut Zacharias

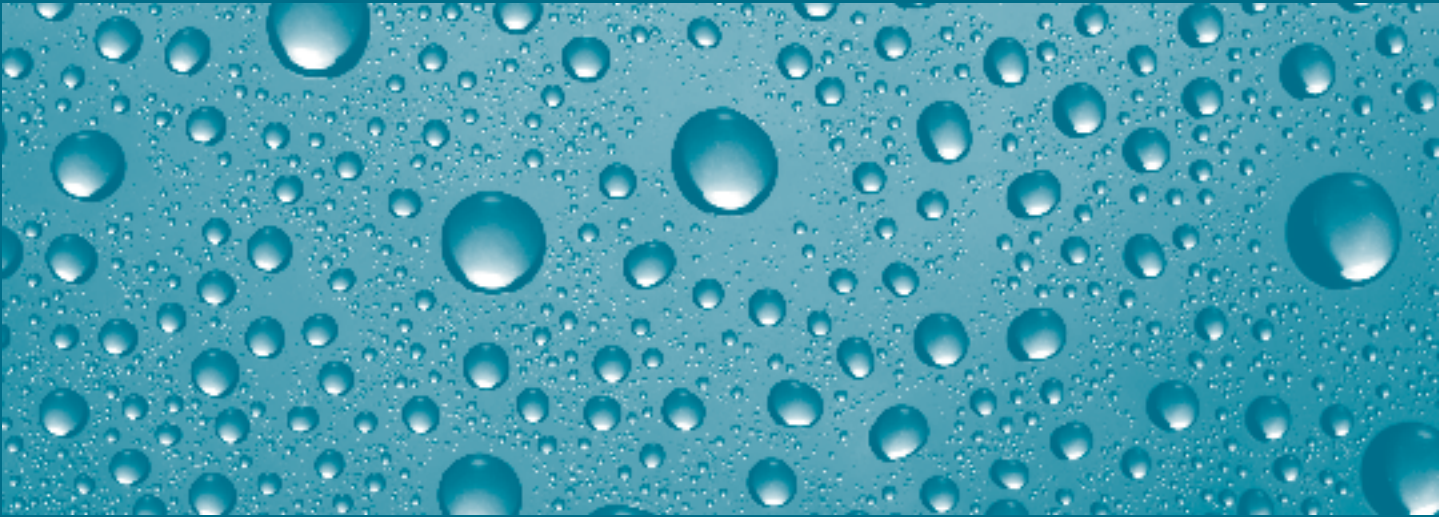
Physikalisches Institut  
Westfälische Wilhelms-Universität Münster  
Wilhelm Klemm Str. 10, 48149 Münster  
Tel.: 0251/83 33647  
Fax: 0251/83 33604  
Office.Zacharias@uni-muenster.de

# Nanomaterialien

Als Nanomaterialien bezeichnet man Stoffe, die aufgrund ihrer Nano-skala, das heißt Größe beziehungsweise Dimension, 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 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 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 entwickelt. Daraus ergeben sich 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 Pharmazie.



Elf 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 interdisziplinäre Forschungszentrum für kooperative nanoskalige Systeme, mit dem die Universitätsleitung im Jahr 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 für neuartige Nanomaterialien vorgestellt.



# Nanophysik trifft Chemie

Chemische Reaktionen auf nanostrukturierten Oberflächen eröffnen völlig neue Synthesewege zur Erzeugung molekularer Strukturen und Funktionalitäten

Die moderne Zivilisation mit ihren technologischen Errungenschaften in Computer-, Auto- und Textilindustrie, aber auch Medizin und Pharmazie ist wesentlich den Erfolgen der chemischen Synthese zu verdanken, die über Jahrhunderte die Verfahren zur Herstellung von anorganischen und organischen Produkten sowie pharmazeutischen Wirkstoffen verfeinert hat.

Bisher basieren fast alle technischen Verfahren der Chemie auf der zufälligen Mischung von Molekülen, als Flüssigkeiten in Reagenzgläsern oder gasförmig in Reaktoren, in denen aber eine gezielte Orientierung (kinetische Kontrolle) der Ausgangsmoleküle praktisch unmöglich ist. Eine gezielte Kontrolle über Moleküle, insbesondere von solchen, die nicht in allen drei Raumrichtungen einer molekularen Struktur die gleiche Reaktivität aufweisen wäre daher sehr wünschenswert. Die ungeheuer große Zahl von Molekülen (typisch  $>10^{23}$ ) bei einer chemischen Reaktion verhinderte bislang eine Orientierungskontrolle einzelner Moleküle, bei der gewünschte chemische Gruppen eines Moleküls mit denen eines anderen Moleküls reagieren.

## Selbstorganisation in großer Zahl

In den Nanowissenschaften wurden inzwischen neue Wege gefunden, Atome und Moleküle auf Oberflächen Molekül für Molekül zu kontrollieren, chemische Reaktionen auf Oberflächen durchzuführen und die Ergebnisse mit einem Rastertunnelmikroskop bzw. Rasterkraftmikroskop mit höchster, d.h. submolekularer, Auflösung zu beurteilen. Neue Möglichkeiten

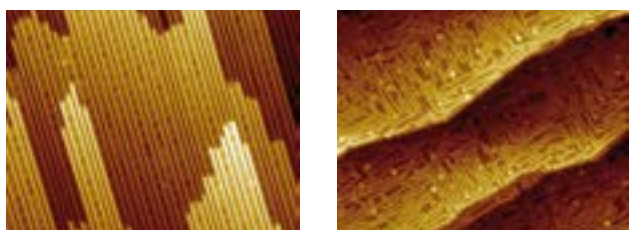
wurden gefunden, die Moleküle durch Selbstorganisation in großer Zahl auf ebenen Oberflächen gezielt so anzuordnen, dass sie aufgrund ihrer Ausrichtung viel kontrollierter miteinander reagieren können als dies in drei Dimensionen der Fall ist. Darüber hinaus kann die Dimensionalität auf eine oder sogar null Dimensionen einschränkt werden. Während im ersten Fall die Systeme auf eine Linie reduziert werden, schrumpfen ihre Freiheitsgrade im zweiten Fall praktisch auf einen Punkt.

Derartige Randbedingungen, zum Beispiel durch atomare Reihenstrukturen, werden auf atomar flachen Trägern ebenfalls durch Selbstorganisation erzeugt. Dabei wird ausgenutzt, dass die Oberfläche als symmetriebrechendes Element eines Kristalles sich thermodynamisch anders verhält als sein Inneres. Durch Erhitzen entstehen atomare Furchen auf zuvor atomar flachen Oberflächen, die nur ein Atom oder einige wenige Atome breit sind. In diese atomaren Furchen können sich beispielsweise kettenartige Moleküle leicht einpassen, die dann nur noch an ihren beidseitigen Enden miteinander reagieren können.

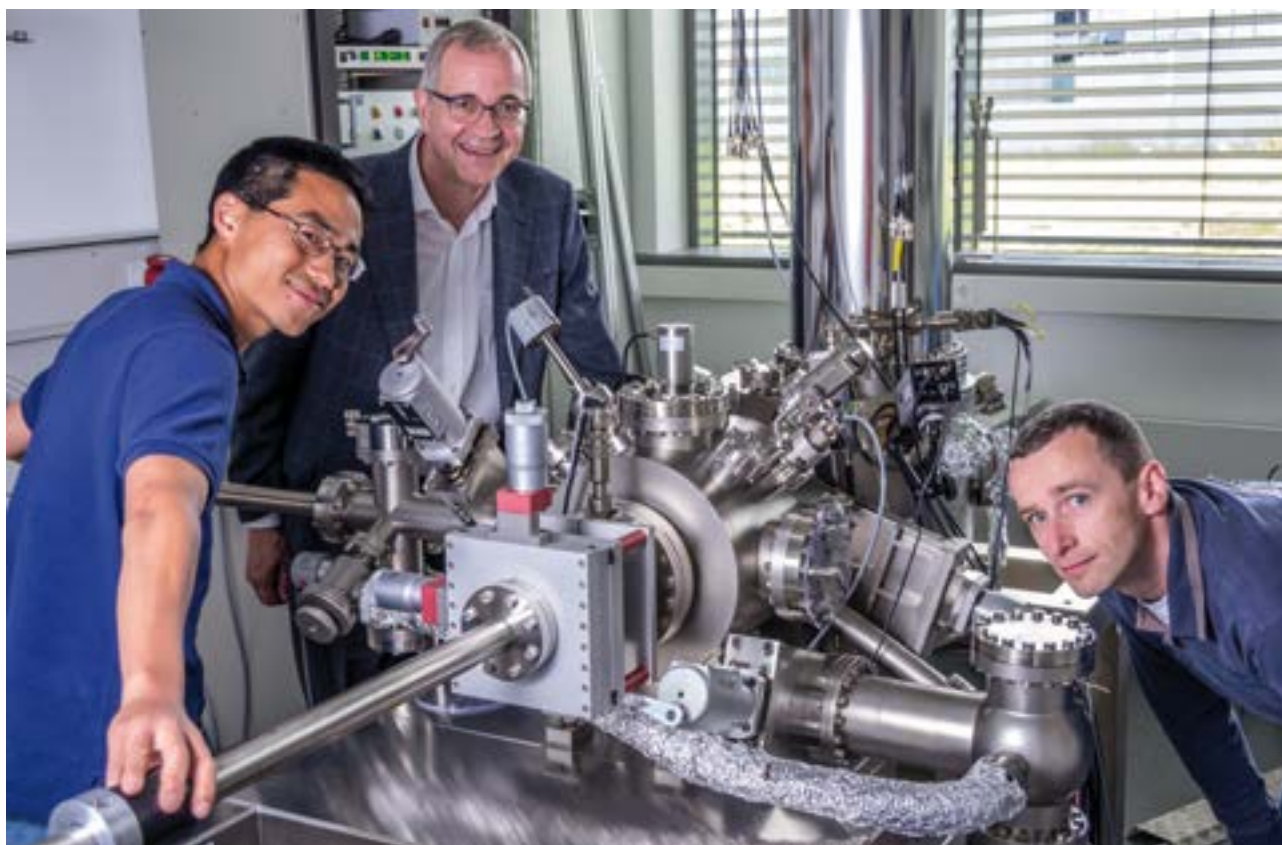
## Gruppen arbeiten zusammen

Eine derartige Strukturkontrolle ist mit klassischen chemischen Methoden nicht möglich. Daher arbeiten Gruppen aus der organischen Chemie und der Physik im CeNTech zusammen, um gemeinsam derartige neue Synthesemethoden zu erkunden. Hierzu werden zur Untersuchung aufwändige Rastersondenverfahren eingesetzt, die unter Ultrahochvakuum und bei tiefen Temperaturen betrieben werden und es erlauben, die Molekülsysteme in ihrer Wechselwirkung und ihre Reaktion im Detail und unter kontrollierten Bedingungen zu verstehen.

Umfangreiche theoretische Verfahren der Computersimulation werden eingesetzt, um die Beobachtungen quantitativ zu interpretieren und neue Varianten des Reaktionsverlaufes vorherzusagen, an denen sich die Experimente wiederum orientieren können. In den letzten Jahren gelang es, mit diesem Ansatz entscheidende Fortschritte zu machen. Reaktionswege, die bisher als nicht möglich galten, konnten an unterschiedlichen Beispielen auf Oberflächen demonstriert werden. Unter anderem konn-



Zwei Beispiele für nanostrukturierte Oberflächen



Prof. Dr. Harald Fuchs (Mitte) mit Forschern aus seinem Team am CeNTech

ten durch die zusätzliche katalytische Wirkung von Oberflächenatomen chemische Reaktionen, die mit konventionellen Verfahren nur unter extrem hohem Druck und hohem Energieaufwand funktionieren, unter Vakuumbedingungen und milden Temperaturen durchgeführt werden.

Beispiele sind die CH-Aktivierung von linearen Kettenmolekülen, die Glaserkopplung und Reaktionstypen, die Kohlenstoff-Nanobänder gezielt auf Oberflächen synthetisieren. Diese Reaktionen sind für die Industrie und die molekulare Elektronik von großem Interesse. Durch die geeignete Wahl von Oberflächen gelang es, gezielt die Regioselektivität von Ausgangsmolekülen einzusetzen, um eine bestimmte Form eines Produktes gezielt einzustellen, was mit konventionellen Methoden ebenfalls nicht

möglich ist. Schließlich wurden chemische Produkte nachgewiesen, die in der konventionellen Chemie als instabil galten. Dies führt zu neuen funktionalen Systemen und zu neuen, spannenden und technologisch attraktiven Verfahren der chemischen Synthese. Mit höchstauflösender Kraftmikroskopie gelingt es inzwischen selbst einzelne Bindungen zwischen den Atomen eines Moleküls sichtbar zu machen.

Derartige Projekte in Kooperation von nanophysikalischen Methoden, chemischem Knowhow und den Möglichkeiten der theoretischen Rechnungen sind ein ideale Beispiele für eine erfolgreiche interdisziplinäre Arbeit, die zu neuen zukunftsweisenden transdisziplinären Ansätzen über die Fachbereichsgrenzen hinaus geführt hat und in denen Münster eine international führende Stellung einnimmt.

**Prof. Dr. Harald Fuchs**

**Prof. Dr. Lifeng Chi**

**Dr. Harry Mönig**

Physikalisches Institut/CeNTech

Westfälische Wilhelms-Universität Münster,  
Wilhelm-Klemm-Straße 10, 48149 Münster

E-Mail: fuchsh@uni-muenster.de

chi@uni-muenster.de

harry.moenig@uni-muenster.de

**Prof. Dr. Gerhard Erker**

**Prof. Dr. Armido Studer**

**Prof. Dr. Frank Glorius**

Organisch-Chemisches Institut

Westfälische Wilhelms-Universität Münster,  
Correnstraße 40, 48149 Münster

E-Mail: erker@uni-muenster.de

studer@uni-muenster.de

glorius@uni-muenster.de



# Polymerbürsten auf Glas oder Wafern

Die Arbeitsgruppe von Armido Studer beschäftigt sich mit innovativen Hybridmaterialien und deren bisher unbekannten Eigenschaften

Ein zentrales Forschungsfeld der Nanotechnologie besteht darin, die Atome und Moleküle auf funktionellen Oberflächen detailliert zu strukturieren. Neuartige Werkstoffe lassen sich erzeugen und ihre Eigenschaften gezielt steuern. Professor Armido Studer und sein Wissenschaftlerteam beschäftigen sich seit mehreren Jahren mit intelligenten Materialien. Zudem kooperieren sie eng mit Arbeitsgruppen beispielsweise von Professor Harald Fuchs aus der Oberflächenphysik.

So ist es bereits gelungen mittels organischer Molekularstrahlepitaxie kleine Moleküle auf Metalloberflächen aufzudampfen und anschließend zu Oligo- und Polymeren mit definierter Architektur

umzusetzen. Die Wahl der Metalloberfläche spielt dabei keinesfalls eine untergeordnete Rolle, da diese nicht nur formgebend, sondern auch unmittelbar am Reaktionsmechanismus beteiligt ist. Derartige Reaktivitäten sind ein sehr wichtiger Schritt zu zweidimensionalen Polymer-Netzwerken, welche mit Hilfe herkömmlicher Strategien in Lösung bislang nicht zugänglich waren, die molekulare Elektronik jedoch revolutionieren könnten.

## Architekten von vielfältigen Systemen

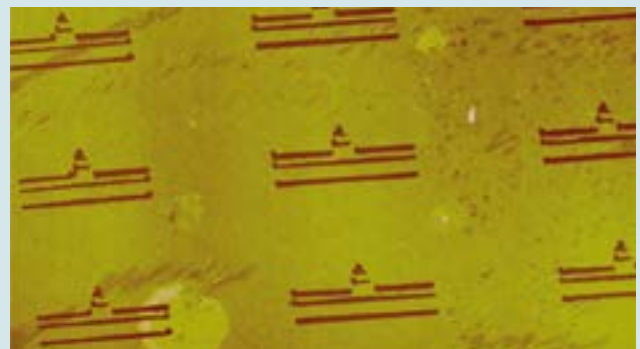
Weitere Beispiele organisch-anorganischer Hybridmaterialien sind sogenannte Polymerbürsten. Hierbei werden Polymere mit Hilfe unterschiedlicher Techniken auf einem anorganischen Trägermaterial verankert. Die Gruppe um Professor Studer nutzt vor allem die Nitroxid-vermittelte Polymerisation (NMP), um diverse Polymerstrukturen kontrolliert auf Oberflächen wie Glas, Siliziumwafern oder Nanopartikeln zu synthetisieren. Polymerbürsten weisen eine

## Sonderforschungsbereich erhält 17 Millionen Euro

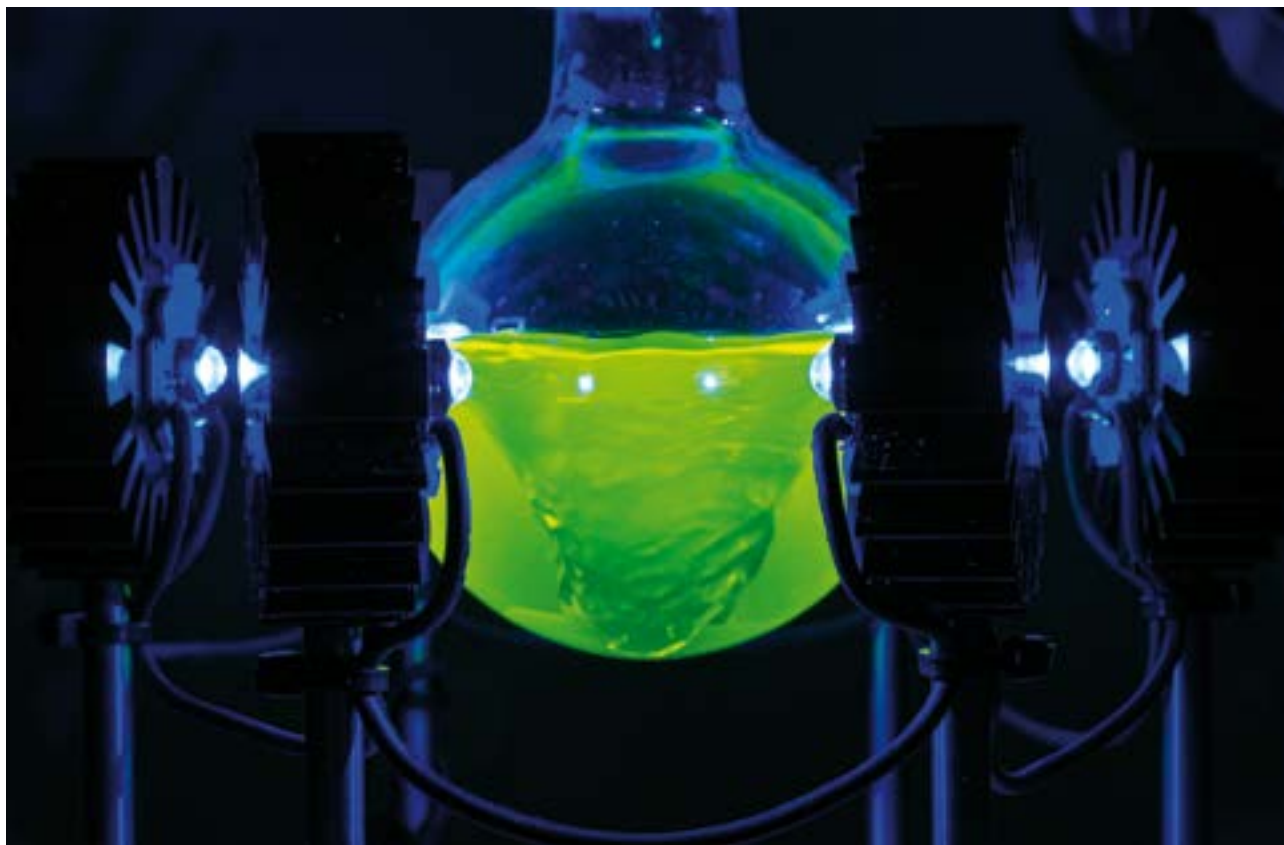
Professor Armido Studer ist auch Sprecher des Sonderforschungsbereiches „Synergetische Effekte in der Chemie“, den die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) 2010 eingerichtet und bis vorerst 2017 an der Universität Münster fördert. Innerhalb von sieben Jahren stellt die DFG rund 17 Millionen Euro für das Projekt zur Verfügung. An dem Sonderforschungsbereich sind eine Reihe ausgewiesener Experten aus der Chemie, Physik und Medizin beteiligt, darunter vielversprechende Nachwuchswissenschaftler.

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. Vielfach bleiben Möglichkeiten ungenutzt, mit mehreren gleichzeitig einwirkenden Faktoren die Erzeugung von Materialien und Stoffen zu steuern. Dabei können wir heute unter gezielter Berücksichtigung gemeinsam wirkender chemischer Komponenten chemi-

sche 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 Forschergruppen 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.



derart hohe Dichte auf, dass die einzelnen Polymerstränge gestreckt vorliegen und in neuen makroskopischen Eigenschaften der Oberfläche resultieren.

Des Weiteren führt die Anwendung reaktiver Monomere zu einem simplen, modularen und effizienten Zugang zu funktionalen Polymeren – sowohl in Lösung als auch oberflächengebunden. Die Forscher um Armido Studer etablierten unter anderem Acyloin-Funktionalitäten in photoaktiven Systemen aus Polymeren oder Polymerbürsten. Diese lassen sich nach der Polymerisation weiter derivatisieren.

### Kombination mit Mikrostrukturen

Dazu muss das Substrat lediglich in Anwesenheit eines Nitroxids mit der gewünschten funktionellen Gruppe mit UV-Licht (Wellenlänge: 365 Nanometer) bestrahlt werden. Die jeweilige Optimierung der Polymerisation entfällt und bislang unzugängliche Polymere werden zugänglich. Darüber hinaus ist eine strukturierte Belichtung und Modifikation möglich. Eine Anwendung derartiger Strukturen liefern die

Forscher gleich mit. Durch die Funktionalisierung von Nanopartikeln wie Zeolith L-Kristallen sollen komplementäre Zeolith-Polymer-Konjugate entstehen, welche anschließend als reaktive Grundbausteine eingesetzt werden können. Durch manuelle Kombination gesteuert über optische Fallen (Zusammenarbeit mit Professorin Cornelia Denz) und Selbstorganisation lassen sich komplexe mikroskopische Strukturen aufbauen und chemisch fixieren. Strukturen dieser Art sollen unter anderem Anwendung in Photonik und Diagnostik finden und könnten einen entscheidenden Beitrag zu neuen Komponenten liefern.

#### 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](mailto:studer@uni-muenster.de)

# Intelligentes Label misst das Verfallsdatum

PolyTaksys ermöglicht intelligente Etiketten für Lebensmittel. Sie nutzen feinste Nanoröhren

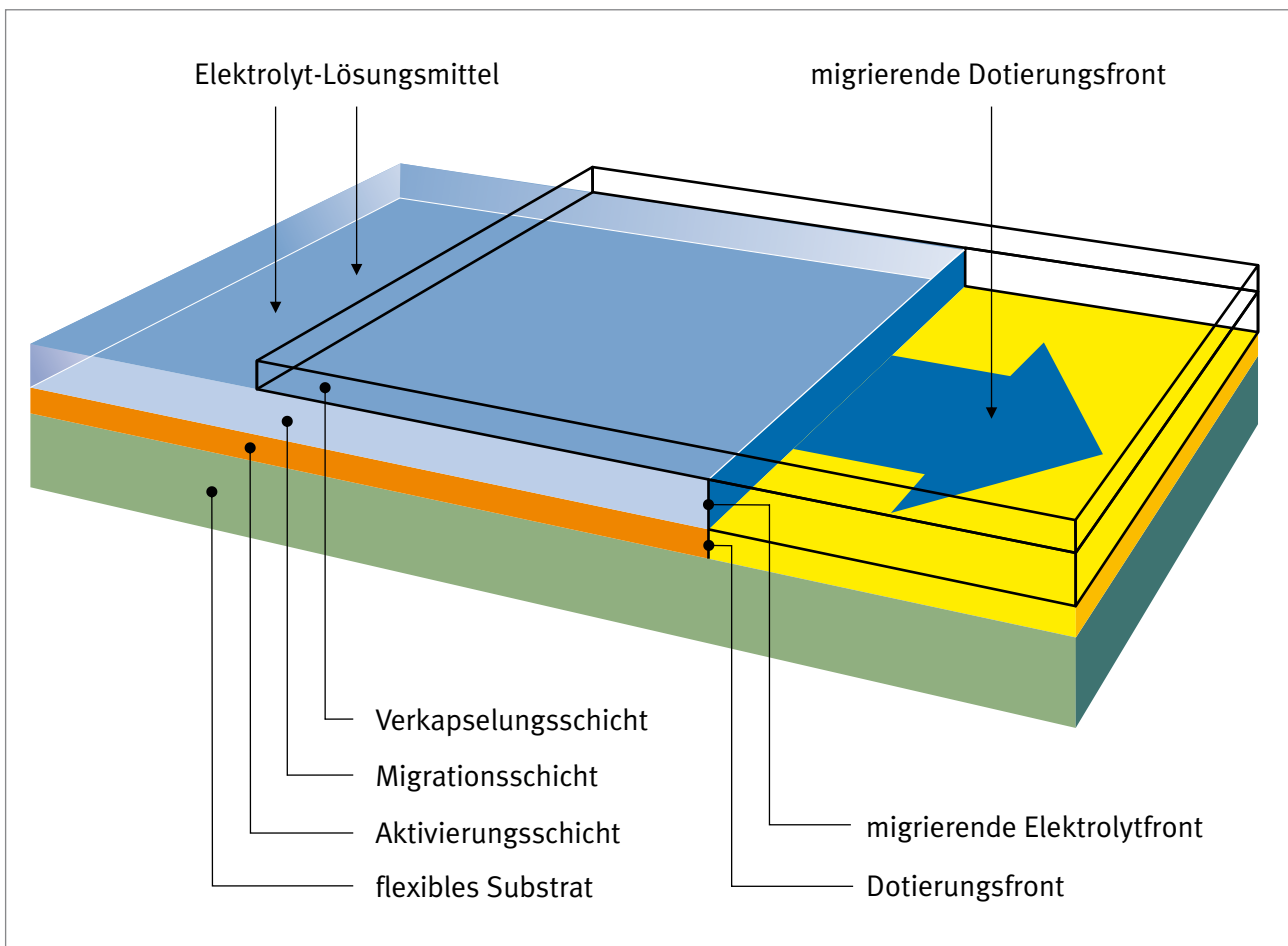
Die Nanotechnologie öffnet das Tor zu völlig neuen technischen Ideen und Produkten. Mit Hilfe kleinster Nanokanäle, die sich selbst organisieren, entstehen hauchfeine Röhren. Die Abstände der Kanäle, ihre Durchmesser und die Winkel zueinander lassen sich genau einstellen. Auch Kanalverzweigungen oder 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.

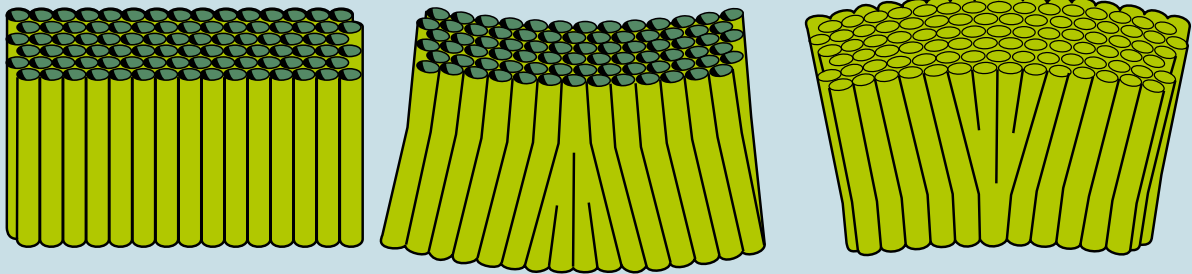
Auf der Basis organo-elektronischer Materialien fand Meinhard Knoll den Effekt der sogenannten Dotie-

## 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

rungsfrontmigration, bei dem 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





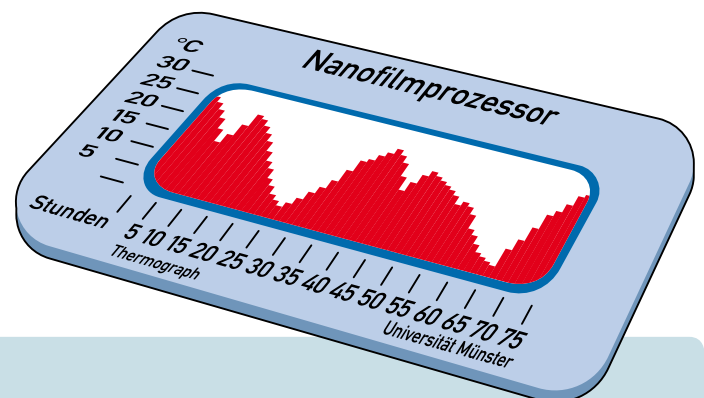
Parallele, divergierende und konvergierende Nanokanäle mit Verzweigungen und Enden

lassen sich 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.



## Thermograph-Nanofilmprozessor

### Auf einem Stückchen Plastikfolie schreibt sich von selbst eine Temperaturkurve

Nanofilmprozessoren verkörpern eine neue Form der Elektronik, die ohne Batterie arbeitet. Sie wurden von Professor Meinhard Knoll vom Institut für Physikalische Chemie und Centrum für Nanotechnologie der Universität Münster erfunden und sind mit Patentanmeldungen international abgesichert.

Ein Anwendungsbeispiel für diese neue Technologie ist der Thermograph-Nanofilmprozessor. Er hat die Form eines Folien-Etiketts, auf dem sich selbsttätig eine Temperaturkurve aufzeichnet. Er ist durch einzigartige Eigenschaften gekennzeichnet: kontinuierliche Messung der Temperatur als Funktion der Zeit, kontinuierlich fortschreitende Anzeige einer Temperaturkurve als Funktion der Zeit, kontinuierliche Funktion ohne Batterie. Das Funktionsprinzip beruht auf der lateralen Selbstoxidation nanos-

kaliger Schichten mit einer temperaturabhängigen Modulation der Oxidationsgeschwindigkeit.

Das Folien-Etikett ist als mehrlagiges Schichtsystem aufgebaut. Die Herstellungskosten werden bei Massenproduktion stückzahlabhängig voraussichtlich zwischen zehn Cent und einem Euro liegen. Damit können sie Temperatur-Logger mit Display ersetzen, die auf konventioneller Elektronik beruhen und rund 200 Euro kosten.

Typische Anwendungen des Thermograph-Nanofilmprozessors sind allgemeine Aufgaben der Temperaturüberwachung in der Pharmazie, Medizin oder Lebensmittelkontrolle. Die Forschergruppe um Professor Meinhard Knoll hat für dieses Projekt vom Bundesministerium für Bildung und Forschung eine Förderung in Höhe von 740.000 Euro erhalten.

# Von Quantenpunkten und Nanodrähten

Materialphysiker aus Münster 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, spricht: 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

**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

der atomaren 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.



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



Will man nanokristalline Materialien in der Technik 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 grundlegenden Fragen, deren Beantwortung für vielfältige Anwendungen wichtig ist.

### Neue Methoden entwickeln

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. Hierzu spielt die höchstauflösende Elektronenmikroskopie eine besonders wichtige Rolle.

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

### Nanokristalline Materialien

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 Verursacher 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 rund 50 ppb (parts per billion). Das sind 50 Partikel in einer Milliarde Teilchen. Die Nachweisgrenze eines kommerziellen Gassensors 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 zum Beispiel freistehende Nanodrähte und Nanoröhren auf einem Siliziumsubstrat. Derartige Strukturen werden darüber hinaus auch für Anwendungen in der Magnetfeldsensorik, in der thermoelektrischen und der photovoltaischen Energiegewinnung untersucht.

# 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 Professorin 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.

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 verschiedenste Arten von Nanopartikeln einbauen wie in einen Container, so zum Beispiel in polymere Hohlkapseln aus Polymeren. Die Forscher untersuchen zunächst grundlegende Fragen zum Einbau, der Dynamik und dem Transport solcher Gastmoleküle. Mit einer speziell in der Gruppe von Professorin 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 Modellsustanzen für vielfältige Anwendungen untersuchen.

## Ultradünne ionenleitende Polymerschichten

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 Polymerma-



Das Forscherteam der Arbeitsgruppe von Professorin Monika Schönhoff

terial? 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.

**Prof. Dr. Monika Schönhoff**

Institut für Physikalische Chemie  
Westfälische Wilhelms-Universität Münster  
Corrensstraße 28/30, 48149 Münster  
Telefon: 0251/83-23419  
E-Mail: schoenho@uni-muenster.de

## 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. Somit 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**

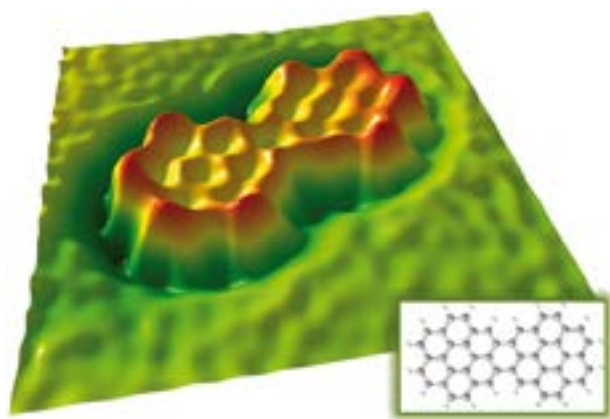
Organisch-Chemisches Institut  
Westfälische Wilhelms-Universität Münster  
Corrensstraße 40, 48149 Münster  
Telefon: 0251/83-33287  
E-Mail: b.j.ravoo@uni-muenster.de

# Grenzflächenanalytik für neue Materialien

Mit hochauflösender Rastersondenmikroskopie lassen sich Strukturen auf der Nanoskala nicht nur abbilden. Es werden auch Kräfte und Leitfähigkeiten mit höchster Präzision gemessen

Durch die fortschreitende Miniaturisierung elektronischer Bauelemente werden deren Eigenschaften zunehmend durch Grenzflächeneffekte auf der Nanoskala bestimmt. Erkenntnisse aus der Erforschung dieser Effekte ermöglicht es, Materialien mit neuartigen funktionellen Eigenschaften zu entwickeln. Die Untersuchungen in der Arbeitsgruppe „Nanoscale Interface Analytics“ am Center for Nanotechnology (CeNTech) werden unter Leitung von Dr. Harry Mönig mit hochmodernen Rasterkraft- und Rastertunnelmikroskopen durchgeführt.

Die Experimente erlauben es, molekulare und atomare Strukturen sichtbar zu machen und hochpräzise Kraft- und Leitfähigkeitsmessungen an einzelnen Atomen oder Molekülen vorzunehmen. Diese mikroskopischen Untersuchungen werden mit Experimenten der Photoelektronenspektroskopie kombiniert, um zusätzliche Informationen zu chemischen und elektronischen Eigenschaften der Grenzflächen zu gewinnen. Um extrem saubere und dabei hochdefinierte Versuchsbedingungen zu gewährleisten, werden alle Experimente unter Ultrahochvakuum Bedingungen und teilweise bei Temperaturen nahe am absoluten Nullpunkt durchgeführt.



Rasterkraftmikroskopie Aufnahme, die die interne Struktur eines einzelnen Dicoronylen Moleküls zeigt. Für solch hoch aufgelöste Aufnahmen muss die abtastende Spitze mit einem einzelnen, kovalent gebundenen Sauerstoffatom passiviert werden.



Um hochdefinierte Versuchsbedingungen zu schaffen, werden Experimente im Ultrahochvakuum und bei Temperaturen nahe dem absoluten Nullpunkt durchgeführt.

## Welche Kräfte ordnen Moleküle?

Prozesse, durch die sich Atome oder Moleküle spontan in charakteristischen Mustern anordnen, werden als Selbstorganisation bezeichnet. Diese geordneten Strukturen können bei der Entwicklung neuartiger Materialien ausgenutzt werden. In Kooperation mit Wissenschaftlern aus der organischen Chemie, die die Eigenschaften der verwendeten Moleküle in einem sehr weiten Bereich variieren können, kann damit ein hohes Maß an Kontrolle auf verschiedenen Oberflächen erreicht werden. Ein großes Ziel dabei ist es, das breite Spektrum funktionaler Moleküle dafür zu nutzen „maßgeschneiderte“ Materialien für die Anwendung in elektronischen Bauelementen wie Leuchtdioden oder organischen Solarzellen zu entwickeln. Durch die hochauflösenden Experimente werden die Mechanismen der Selbstorganisation untersucht um diese zu verstehen und gezielt steuern zu können.

## Analytik für Dünnschichtsolarzellen

Dünnschichtsolarzellen auf der Basis von Chalkopyrit-Materialien versprechen, die Kosten der Energieerzeugung durch Photovoltaik weiter zu senken. Obwohl hohe Wirkungsgrade für diese Technologie bereits in die Massenfertigung geführt haben, sind viele Effekte bezüglich der komplexen Defektphysik dieser Materialien weitgehend unverstanden. So bestimmen einerseits besondere Defekte in diesem



Material dessen Dotierung und sind somit wichtig für die Funktionsweise der Solarzellen. Andererseits sind Defekte an den Grenzflächen einer Solarzelle meist schädlich. Um die Wirkungsgrade dieser Solarzellen weiter zu steigern, ist es notwendig, diese Klasse von Materialien und Effekte an entsprechenden Grenzflächen besser zu verstehen. Die Experimente in den Laboren am CeNTech werden in Zusammenarbeit mit dem Helmholtz Zentrum für Materialien und Energie in Berlin durchgeführt.

**Dr. Harry Mönig**

Physikalisches Institut/CeNTech  
Westfälische Wilhelms-Universität Münster  
Wilhelm-Klemm-Straße 10,  
48149 Münster  
Telefon: 0251/83-63832  
E-Mail: [harry.moenig@uni-muenster.de](mailto:harry.moenig@uni-muenster.de)

## 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. 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 Uwe Thiele und Professor Andreas Heuer.

### 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.

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 Variantenaufreten, 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.

**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](mailto:chi@uni-muenster.de)

**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](mailto:erker@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 Billiardstel Sekunde – einer Femtosekunde. Damit kann Licht bis zu einer Million 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 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. Das Team um Professorin Denz arbeitet deshalb an Verfahren zur Femtosekunden-Laserlithographie, um photonische Strukturen in Gläser und Kristalle zu schreiben. Außerdem können beliebige dreidimensionale Strukturen aus Polymeren erstellt werden.

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.

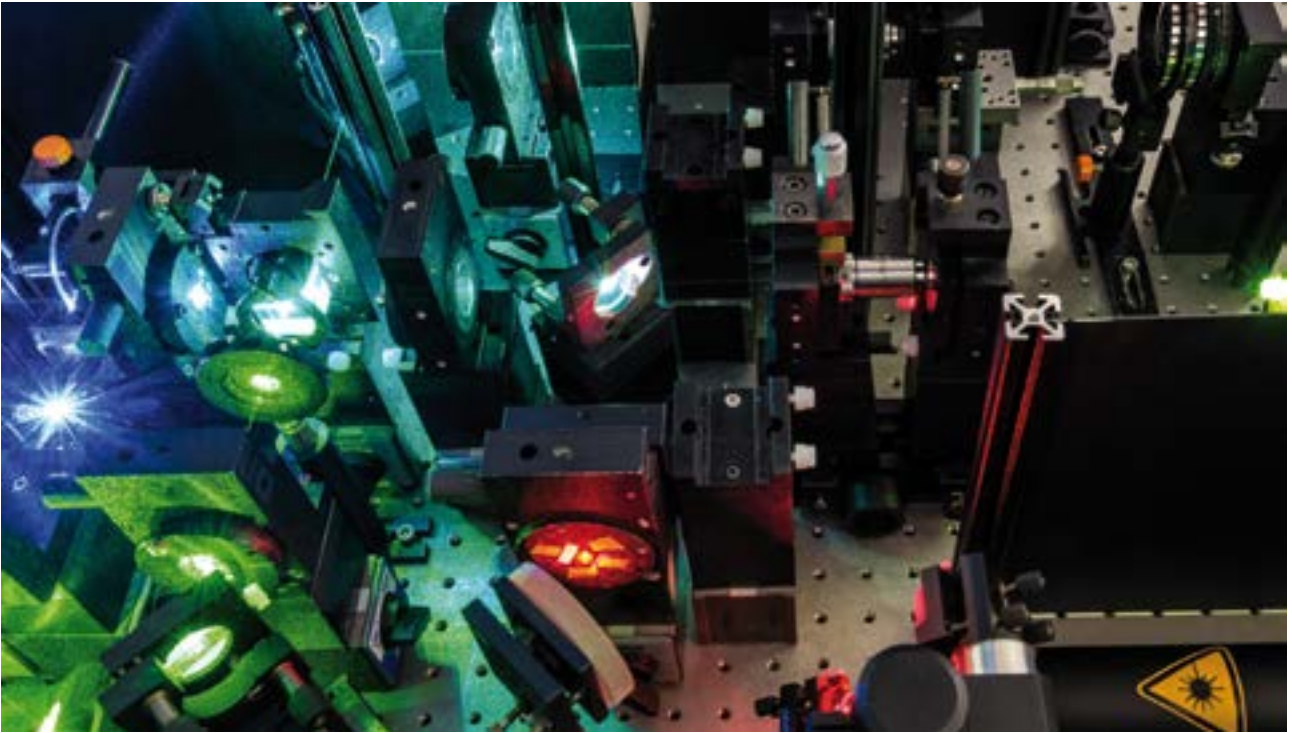
Eine weitere Möglichkeit besteht in lichtinduzierten Materialänderungen, wie sie durch nichtlineare Optik entstehen. Mit Hilfe dieser Methoden gelingt es, direkt mit Laserstrahlen im Material periodische Strukturen zu schreiben. Diese Technik wendet das Team um Professorin Denz ebenfalls an, um Licht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

Der derzeit eleganteste Weg der Nanostrukturierung ergibt sich in sogenannten 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.

## Lichtfangende Strukturen

Mit dem stetig steigenden Energiebedarf steigt auch die Nachfrage nach effizienteren, möglichst regenerativen Energiequellen. Die direkte Umwandlung von Sonnenlicht unter Ausnutzung des photoelektrischen Effektes stellt eine der einfachsten und kostengünstigsten Möglichkeiten zur Energiegewinnung dar. Daher ist sie ein sehr wichtiges Standbein für die Energieversorgung von morgen.

Aus diesem Grund ist die Forschung an neuen organischen, effizienten Solarzellen von besonderer Bedeutung. Diese organischen Solarzellen lassen sich noch einfacher und günstiger herstellen, bieten zudem weitere Vorteile wie die Abstimmbarekeit auf den jeweiligen Einsatzzweck. Zur Verbesserung von organischen Solarzellen untersucht das Team um Professorin Denz neuartige Materialien, die neben einer starken Absorption auch eine hohe Leitfähigkeit aufweisen. Darüber hinaus werden Designstrategien verfolgt, die eine Steigerung der Effizienz ver-



Experimenteller Aufbau zur Erzeugung lichtfangender Strukturen für Anwendungen in organischen Solarzellen

sprechen. Um dieses Ziel zu erreichen, gibt es mehrere Möglichkeiten. Zum einen wird die Einkopplung des Lichts in die Solarzelle durch geeignete Antireflexschichten verbessert. Ein zweiter Punkt betrifft die Lichtausbreitung innerhalb der Zelle. Hier werden sogenannte lichtfangende Strukturen in die Photovoltaikzellen eingebracht, die den optischen Weg derart modifizieren, dass eine Effizienzsteigerung ermöglicht wird.

### Optische Pinzetten

Seit der Entdeckung Arthur Askins, dass der Strahlungsdruck von Licht in einem stark fokussierten Laserstrahl mikroskopische Objekte dreidimensional festhalten, bewegen oder auch drehen kann, hat sich für optische Pinzetten ein sehr breites Anwendungsfeld entwickelt. Die wohl wichtigsten Anwendungen liegen derzeit in der Biophotonik und Zellbiologie, wo Organellen und Kompartimente in Zellen manipuliert und kontrolliert werden.

Die kontaktfreie und somit sterile Manipulation kleinster Objekte kann mit größter Genauigkeit bis in den Nanometerbereich erfolgen. Für quantitative Untersuchungen ist es von unschätzbarem Wert, dass kleinste Kräfte im Bereich von Nano- und Piconewton gezielt ausgeübt und gemessen werden können.

Neben der Bestimmung von Fortbewegungskräften und Rotationseigenschaften von bakteriellen molekularen Nanomotoren sind bei uns insbesondere Elas-

tizitätsuntersuchungen ein aktueller Forschungsgegenstand. Mit holographischen Verfahren erweitern wir außerdem das Grundprinzip der optischen Pinzette sehr elegant auf die optische Kontrolle vieler Partikel. Dafür modulieren wir die Phasenfront eines Lasers durch computerberechnete Hologramme, so dass in der Probe eine Vielzahl an einzelnen optischen Pinzetten entsteht, denen wir auch unterschiedliche Formen aufprägen, sie also strukturieren können.

Beispielsweise wird es erst durch die gleichzeitige Kontrolle von Position und Orientierung vieler Partikel praktikabel, spezielle Nanocontainer anzuordnen und zu strukturieren. Diese Nanocontainer können unterschiedliche chemische Ladungen enthalten. Wir haben nun erreicht, diese Nanocontainer ihrerseits, nur mit Hilfe von Licht, anzuordnen. Dadurch entsteht ein System, das auf verschiedenen Größenskalen – von einzelnen Molekülen bis zum Mikrometerbereich – hochgradig geordnet ist und dadurch neue, spannende Eigenschaften des Gesamtsystems bewirken kann.

#### 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, Grenzflächen und Nanokristalle, um neue Technologien nach vorn zu bringen

Ohne maßgeschneiderte Werkstoffe wäre die moderne Technik undenkbar. Vor allem in der Chip-industrie spielen speziell modifizierte Halbleiter eine wesentliche Rolle. Ihre Eigenschaften werden maßgeblich durch Fremdatome bestimmt, die man gezielt in die atomare Gitterstruktur einschleust, um dadurch Defekte zu erzeugen. Auf diese Weise kann man beispielsweise den elektrischen Widerstand variieren. Auch die Grenzflächen zwischen verschiedenen Materialien spielen eine wesentliche Rolle. In sogenannten 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 Solarstrom-technik, 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.

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 analysieren die Wissenschaftler, welchen Einfluss die Fremdatome auf die Bewegung der Germaniumatome haben. Dazu nutzen sie spezielle Flug-Zeit-Massenspektrometer zum Elementnachweis in den Strukturen. 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 Vorausagen 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 angenommen. 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.







Ein junges Team aus Wissenschaftlern der nächsten Generation, in der Mitte: Prof. Hartmut Bracht

Im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogrammes 1386 untersuchen die Forscher um Hartmut Bracht neue Konzepte zur Steigerung des Wirkungsgrad von thermoelektrischen Bauelementen, das heißt für eine effizientere direkte Umwandlung von Wärme in elektrischen Strom.

### Silizium leitet Wärme gut

Die Herausforderung besteht darin, halbleitende Materialien mit geringer Wärmeleitung aber guter elektrischer Leitung zu entwickeln. Leider ist das Halbleitermaterial Silizium, Ausgangsmaterial vieler elektronischer Bauelemente und im Überfluss auf unserer Erde verfügbar, ein zu guter Wärmeleiter für thermoelektrische Anwendungen.

Um dennoch Silizium nutzen zu können, wird der Einfluss von isotope modulierten Siliziumschichten auf die Wärmeleitung untersucht. Natürliches Silizium besteht aus drei stabilen Isotopen unterschiedlicher Masse. Dies ermöglicht es mit geeig-

neten Schichtabscheideverfahren Nanostrukturen von isotope angereichertem Silizium herzustellen. Untersuchungen zur Wärmeleitung von massenmodulierten Siliziumschichten belegen eine reduzierte Wärmeleitung im Vergleich zum natürlichen Silizium. Umfangreiche experimentelle und theoretische Untersuchungen sollen nun den Einfluss der Isotopenverteilung auf die Wärmeleitung in Silizium im Detail klären und den Nutzen von isotope modulierten Halbleitern für thermoelektrische Anwendungen bewerten helfen.

#### 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



# Lichtkräfte und Optik mit einzelnen Photonen

LEDs und Laser sind als energieeffiziente Lichtquellen in weitem Gebrauch und als optische Informationsträger unserer Gesellschaft nicht wegzudenken. Für die künstliche Beleuchtung und zur Datenübertragung werden in der Regel hohe Lichtintensitäten verwendet

Wird jedoch die Intensität der Strahlung auf kleinste Werte reduziert, kommen die komplexen Quanteneigenschaften einzelner Lichtteilchen (Photonen) zum Vorschein. Diese können nicht nur für neuartige Quantencomputer mit enormer Prozessierungskapazität verwendet werden. Im Zusammenspiel mit nanostrukturierter Materie erlauben es Photonen, eine nur wenig beachtete Eigenschaft des Lichts auszunutzen, nämlich den Impulsübertrag unter Bestrahlung.

Denn Licht kann Druck aufbauen, den sogenannten Strahlungsdruck, der schon Johannes Kepler im 17. Jahrhundert bei der Beobachtung von Kometenschweif auffiel. Diese Form des Strahlungsdrucks bietet nicht nur die Möglichkeit, berührungslos Materie in Schwingung zu versetzen.

Der Strahlungsdruck kann dazu eingesetzt werden, flexible photonische Schaltkreise zu realisieren. Normalerweise nehmen wir den Strahlungsdruck nicht wahr aufgrund der geringen Kraftentwicklung im Sonnenlicht.

Werden jedoch nanoskalige Komponenten verwendet, haben auch kleinste Kräfte große Auswirkungen. Solche optische Kräfte werden mit Hilfe photonischer Schaltkreise untersucht und für Präzisionsmessungen eingesetzt.

## Optische Schaltkreise

Photonische Schaltkreise sind das optische Pendant zu elektrischen Schaltungen, wie sie in jedem Computer und Haushaltsgerät zu finden sind. Anstelle elektrischer Leitungen werden optische Leiterbahnen in der Form von Wellenleitern verwendet. Diese sind deutlich kleiner als elektrische Verbindungen, oft nur einen Bruchteil der optischen Wellenlänge breit.

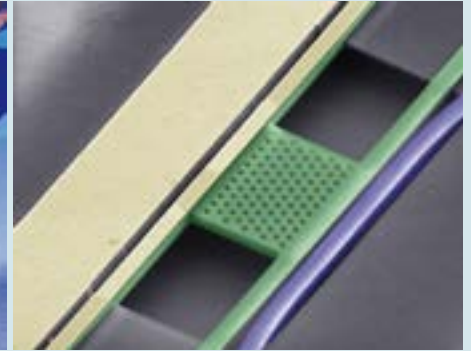
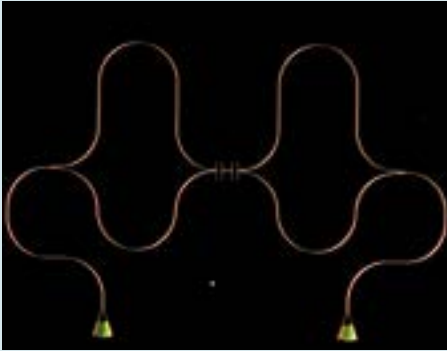
Mit Hilfe solcher optischen Kabel lassen sich Photonen nahezu beliebig über nanostrukturierte Oberflächen leiten. Um den Strahlungsdruck in Wellenleitern ausnutzen zu können, müssen die Wellenleiter in mechanisch bewegliche Komponenten verwandelt werden.

Dies erfolgt durch moderne Verfahren der Nanotechnologie, indem der Wellenleiter von seinem Untergrund losgelöst wird. Solche freitragenden Wellenleiter können frei schwingen, ähnlich wie Seiten eines Instruments, allerdings mit deutlich höherer Frequenz. Sie ist für das menschliche Ohr nicht mehr wahrnehmbar. Da Wellenleiter nanoskalige Elemente darstellen, reichen kleinste Kräfte zu deren mechanischer Anregung aus, wie sie beispielsweise der Strahlungsdruck bereitstellt.

Im Zusammenspiel mit optischen Schaltkreisen können solche Kräfte ausgenutzt werden, um hochempfindliche Sensoren sowie neuartige optische Komponenten für die optische Datenverarbeitung herzustellen. Eine interessante Anwendung sind mechanische Datenspeicher, die auf optischem Wege angesprochen werden. Solche Strukturen können Daten beliebig lange halten. Sie unterliegen nicht den Beschränkungen elektronischer Speichermedien.

## Optik mit Diamantstrukturen

Als Wellenleiter kommen im Prinzip alle Materialien in Frage, die transparent für Licht einer gewünschten Farbe (Wellenlänge, Frequenz) sind. In der Arbeitsgruppe werden unkonventionelle Materialien eingesetzt, die auch unter extremen Bedingungen noch stabil bleiben, wie zum Beispiel Diamant. Diamant bietet sowohl außergewöhnliche optische Eigenschaften, als auch exzellente mechanische Eigenschaften. Er eignet sich hervorragend für die Untersuchung von optischen Strahlungskräften. Da Diamant ausschließlich aus Kohlenstoff besteht, kann er gut nanostrukturiert werden, mit kleinsten Dimensionen weit unter der optischen Wellenlänge. Mit nanomechanischen Bausteinen aus Diamant lassen sich kleinste Messgrößen auch in aggressiven chemischen Umgebungen bestimmen, da das Material von den allermeisten Substanzen nicht angegriffen wird.



Optischer Schaltkreis mit Wellenleitern und photonischen Elementen. Rechts sind zwei freitragende Wellenleiter zu sehen, die über den Strahlungsdruck angeregt werden.

Ein freistehender mechanischer Resonator aus Diamant, der an Wellenleiter gekoppelt ist.

Aufgrund der hohen Biokompatibilität bieten sich weitläufige Möglichkeiten in der Biosensorik und Medizintechnik. Da Diamant nicht nur im sichtbaren Wellenlängenbereich transparent ist, sondern bis in den langwelligen Infrarotbereich, bieten sich viele Perspektiven für die Gassensorik und Spektroskopie, sowie für die Detektion einzelner Moleküle im Zusammenspiel mit nanomechanischen Bausteinen. In der Kombination mit optischen Schaltkreisen, die vollständig aus Diamant hergestellt werden, können derartige integrierte optische Systeme neue Anwendungen nicht nur in der Forschung, sondern auch im Alltag liefern.

### Schaltkreise für einzelne Photonen

Integrierte optische Schaltkreise finden viele Anwendungen in der optischen Datenverarbeitung, Telekommunikation und Sensorik. Darüber hinaus besteht großes Erweiterungspotential beim Übergang von der klassischen Optik zur Quantenoptik.

In diesem Fall werden keine gängigen Lichtquellen eingesetzt, sondern Emitter, die nur jeweils ein Photon aussenden. Zur Messung dieser Lichtquanten müssen besondere Detektoren verwendet werden, die extrem empfindlich sind und gut an Lichtquanten angekoppelt werden können. Dies funktioniert sehr gut mit optischen Wellenleitern wenn zusätzliche Nanostrukturen darauf aufgebracht werden. Dabei handelt es sich um supraleitende

Nanodrähte, die bei tiefen Temperaturen keinen Widerstand aufweisen.

Diese Eigenschaft geht jedoch durch die Wechselwirkung mit einem Lichtteilchen verloren. Dadurch eignen sie sich zum hochempfindlichen Nachweis. In der Arbeitsgruppe werden effiziente Detektoren entwickelt, um sie direkt in optische Schaltkreise zu integrieren. Solche Strukturen können die Grundbausteine für zukünftige optische Quantencomputer bilden. Auch eignen sie sich für Anwendungen in der optischen Fasertechnologie und Sensorik.

#### Prof. Dr. Wolfram Pernice

Physikalisches Institut/CeNTech II  
Westfälische Wilhelms-Universität Münster  
Heisenbergstr. 11, 48149 Münster  
Telefon: 0251/83-63957  
E-Mail: wolfram.pernice@uni-muenster.de

# Licht kann Zauberku- gel steuern

Elektrolumineszente Metallkomplexe und photoaktive Nanomaterialien ermöglichen einen Blick in die Zukunft der Beleuchtungstechnik und der Phototherapie

Die Gruppe junger Wissenschaftler um Dr. Cristian A. Strassert stellt neuartige Materialien her und erforscht deren photophysikalischen Eigenschaften. Von besonderem Interesse sind chemische Verbindungen, die Licht im sichtbaren Bereich emittieren, sowie deren Kombination mit anorganischen Nanostrukturen.

Ziel der Forscher ist es, solche Architekturen in Leuchtdioden und in der Biomedizin einzusetzen. Die mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) im Jahr 2009 etablierte unabhängige Gruppe, bestehend aus mittlerweile acht jungen Mitgliedern (eine Post-Doktorandin, ein Alexander-von-Humboldt Post-Doktorand, eine Doktorandin und drei Doktoranden, ein Diplomand und Bachelorand), hat im Münsteraner Center for Nanotechnology eine breite interdisziplinäre Expertise in der molekularen Synthesechemie, Photophysik und Photobiologie entwickelt. Sie entstand im Rahmen von insgesamt fünf DFG-geförderten Projekten.

## Iridium-freie Triplet-Emitter für OLEDs

Die Arbeitsgruppe Strassert verfügt über umfangreiche Erfahrungen im Design, der Darstellung und der Charakterisierung von neuartigen Metall-

komplexen, die bei elektrischer Ansteuerung Licht emittieren. Diese werden in organischen Lichtemittierenden Dioden (OLED) eingebaut, welche den eingespeisten Strom bis zu 100 Prozent in Licht umsetzen können – ohne Wärmeverluste. Das fundamentale Verständnis effizienter, aus der Lösung prozessierbarer elektrolumineszenter Materialien bildet den Kern der Forschungsaktivitäten. Nebst dem Grundlagenwissen in der Metallorganik und der molekularen Photophysik wird stets nach Struktur-Eigenschafts-Beziehungen durch Modellierung, Synthese und Charakterisierung auf einzel-molekularer Ebene geforscht.

## Druckbare Dioden

Sie sind die rationale Basis für das Design nachhaltiger Iridium-freier, elektrisch ansteuerbarer Triplet-Emitter, beispielsweise für kosten- und energieeffiziente, druckbare OLEDs. An der WWU werden mehrere fruchtbare Kooperationen gepflegt, die neues Licht auf materialwissenschaftliche Aspekte der Grundlagenforschung werfen und mit zwei Projekten im TRR-SFB 61 vertreten sind.

Die Fokussierung auf energieeffiziente Technologien, die auf ressourcenschonenden Strategien basieren, wurde durch die Mitwirkung an der Etablierung und die aktive Mitgestaltung der ersten Rare Earth Elements and Compounds Tagung (REEC) und deren Fortführung bekräftigt. Sie vereint Spitzenforschung, Innovationen, wirtschaftliche Aspekte, (Urban)Mining und Recycling. Die Tagungen sind besonders auf technologisch bedeutsame seltene Metalle und deren strategische Relevanz ausgerichtet, indem sie Wissenschaft und Industrie ins Gespräch bringen.

## Bakterien erkennen und mit Licht abtöten

Die Resistenz von Bakterien gegen Antibiotika ist eine große Herausforderung für Mediziner: Infektionen mit solchen Erregern können nur schwer oder im schlimmsten Fall gar nicht bekämpft werden. Daher wird nach lichtnutzenden Nanostrukturen gestrebt, die als lichtgesteuerte Antibiotika aber auch als Photosensibilisatoren in der wässrigen Photokatalyse, der Photovoltaik und der Aufbereitung von Trinkwasser Anwendungen finden könnten. Bildgebende Verfahren in der Biomedizin





können ebenfalls mit Hilfe dieser Strukturen unterstützt werden. Diese Themen werden im Rahmen eines DFG-Projektes in Zusammenarbeit mit dem Max-Planck-Institut für Molekulare Biomedizin in Dortmund und innerhalb zweier Teilvorhaben im Excellence Cluster „Cells in Motion“ und im Sonderforschungsbereich (SFB) 656 MoBiL bearbeitet.

Des Weiteren werden in diesem Bereich internationale Zusammenarbeiten mit Universitäten in Sao Paulo, Buenos Aires, Barcelona und San Diego geführt. Die Forscher haben ein Nanomaterial entwickelt, das resistente Bakterien gezielt abtötet. Die Wirksamkeit der Nanopartikel beruht auf der Methode der photodynamischen Therapie: Bei Bestrahlung mit Licht wird eine Reaktion in Gang gesetzt, in deren Folge die Bakterienzellen absterben. Die Basis bilden hybride organische oder an-

organische Photosensibilisatoren, die durch rotes Licht aktiviert werden und aggressive Sauerstoffmoleküle erzeugen. Diese Moleküle, die man als Singulett-Sauerstoff bezeichnet, starten die tödliche Reaktionskette. Solche Ergebnisse eröffnen faszinierende Möglichkeiten für die Behandlung infektiöser Erkrankungen und lassen die Entwicklung einer neuen Generation von phototherapeutischen Wirkstoffen in neuem Licht erstrahlen.

**PD Dr. Cristian Strassert**

Physikalisches Institut/CeNTech  
Westfälische Wilhelms-Universität Münster  
Heisenbergstraße 11, 48149 Münster  
Telefon: 0251/5340-6840  
E-Mail: [ca.s@wwu.de](mailto:ca.s@wwu.de)



# Alufolie als Best-Practice – Nanoschichten sorgen für Stabilität

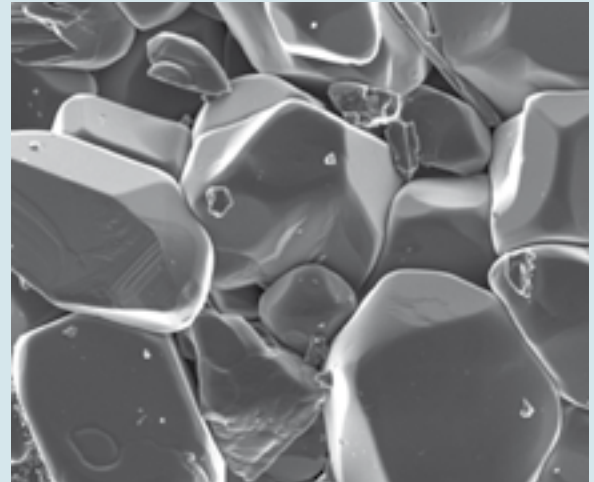
Nanobeschichtungen können wahre Wunder vollbringen. Sie erleichtern die Reinigung, verringern die Reflexion oder fungieren als Schutz gegen äußere Einflüsse. Bei der Herstellung von Funktionsmaterialien sind sie ein probates Mittel, um auch empfindliche Substanzen in aggressiven Umgebungen einsetzen zu können

Aluminium gehört zu den unedelsten Metallen überhaupt und doch findet es als Folie mit einem Zehntel der Dicke eines Haares in jedem Haushalt Verwendung. Eigentlich wäre zu erwarten, dass Aluminium wie viele andere unedle Metalle bei Kontakt mit Luft oder Wasser sofort vollständig oxidiert und zu sauerstoffhaltigen Aluminiumverbindungen wie dem Oxid umgesetzt wird. Der Einsatz als Folie wäre dann allerdings nicht möglich: Aluminiumoxid ist spröde und hart, die Folie würde zerbröseln. Der Grund für die wider Erwarten hohe Stabilität des unedlen Aluminiums an der Luft liegt in der Nanowelt.

Aluminium schützt sich selbst gegen die Oxidationsprozesse. An der Oberfläche bildet sich wie zu erwarten eine Oxidschicht. Diese ist aber so perfekt und dicht, dass Wasser oder Luft nicht zum darunter liegenden, nichtoxidierten Metall durchdringen können. So bleibt die Umwandlung des Metalls in seine sauerstoffhaltigen Verbindungen auf eine nanometerdünne Schicht auf der Oberfläche beschränkt. Wird diese Oxidschicht unter kontrollierten Bedingungen auf Aluminium-Bauteilen technisch erzeugt, spricht man vom Eloxieren.

## Einsatz in Entladungslampen

Die hohe Stabilität des Aluminiumoxids ist der Grund, warum es auch für Beschichtungsverfahren in der Herstellung von optischen Funktionsmaterialien eingesetzt wird. Die Arbeitsgruppe „Tailored Optical Materials“ von Professor Thomas Jüstel forscht nicht nur an neuen Verbindungen, sondern auch an der Adaption bekannter Materialien für den großtechnischen Einsatz.



Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme von ca. 3,5 µm großen und unbeschichteten Leuchtstoffpartikeln des UV-Leuchtstoffes  $\text{YPO}_4:\text{Bi}$

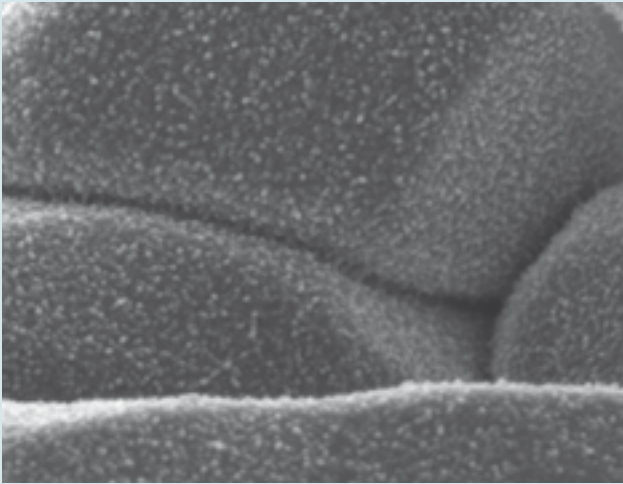
Dazu gehören neben der Optimierung der physikalischen Materialeigenschaften wie der Partikelgröße auch Beschichtungsverfahren zur Verbesserung der Strahlungsein- und -auskopplung sowie der Stabilität.

Wie Magnesiumoxid oder Siliziumdioxid auch besitzt Aluminiumoxid eine sehr große Bandlücke, es ist also transparent auch für kurzwellige, hochenergetische Strahlung, wie sie in Entladungslampen genutzt wird. Basis einer jeden Entladungslampe, zu denen auch die Energiesparlampen gehören, ist die Umwandlung von elektrischer Energie in sehr energiereiche Photonen.

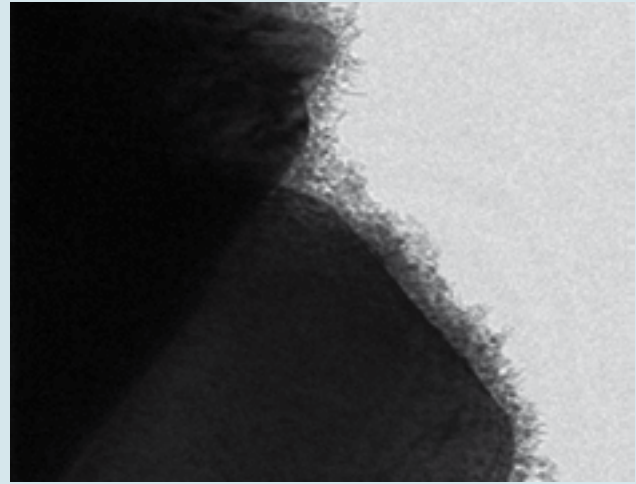
Bisher wird hier verbreitet Quecksilber eingesetzt, neue Entwicklungen nutzen Xenon. Um sichtbares Licht für Beleuchtungszwecke zu erzeugen, müssen diese hochenergetischen UV-Photonen in blaue, grüne oder rote Photonen umgewandelt werden. Genau diese Aufgabe übernehmen Leuchtstoffe.

## Entladungslampen zur Desinfektion

Von großem Interesse sind Entladungslampen zur Wasserdeshinfektion. Dort erzeugen die eingesetzten Leuchtstoffe UV-Strahlung mit Wellenlängen, die für die Abtötung von Mikroorganismen wie Escherichia-coli-Bakterien optimiert sind. Für eine lange Lebensdauer der Lichtquelle müssen diese



Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme von ca. 3,5 µm großen und mit oxidischen Nanopartikeln beschichteten Leuchtstoffpartikeln des UV-Leuchtstoffes  $\text{YPO}_4:\text{Bi}$



Transmissionselektronenmikroskopische Aufnahme von ca. 3,5 µm großen und mit oxidischen Nanopartikeln beschichteten Leuchtstoffpartikeln des UV-Leuchtstoffes  $\text{YPO}_4:\text{Bi}$

Leuchtstoffe unter den Bedingungen im Inneren der Lampe stabil sein.

Die für die Entladung erzeugten Moleküle oder Ionen wie auch die von ihnen ausgesendeten Photonen sind so aggressiv, dass sie die Leuchtstoffe beschädigen oder sogar zerstören können. Für die Beschichtung der einzelnen Leuchtstoffpartikel in der Pulverschicht sind Verfahren notwendig, die für die Herstellung von Massenprodukten wie den Entladungslampen geeignet sind – damit kommen dann nur noch lösungsmittelbasierte Methoden in Frage.

### Materialien dicht einpacken

So ist es in wasserfreiem Ethanol oder Isopropanol möglich, auch feuchtigkeitsempfindliche Stoffe durch das Aufbringen einer nanometerdünnen Schicht eines inerten Oxids so einzukapseln, dass diese ohne weiteres eingesetzt werden können. Die große Schwierigkeit liegt darin, diese Schichten so dicht zu erzeugen, dass das Partikelinnere vollständig abgeschirmt ist. Schon das kleinste Loch würde über kurz oder lang zur Zersetzung des empfindlichen Materials führen.

So weiß man über Xenon, dass es in Entladungslampen durchaus Reaktionen mit einigen der stabilen oxidischen Leuchtstoffe eingeht, obwohl man bei den Edelgasen wie Xenon lange davon ausging, dass die-

se keinerlei Verbindungen bilden. Durch Aufbringen einer gegenüber Xenon tatsächlich stabilen Schutzschicht aus Magnesium- oder Aluminiumoxid ist es der Arbeitsgruppe Jüstel gelungen, die Lebensdauer der Leuchtstoffe in xenonbasierten Entladungslampen deutlich zu verlängern. Lag die Strahlungsausbeute der unbeschichteten Leuchtstoffe nach tausend Stunden Lampenbetrieb bei 30 Prozent des Anfangswertes, konnte durch die Beschichtung Steigerungen auf 70 bis 80 Prozent erreicht werden.



**Prof. Dr. Thomas Jüstel**

Fachbereich Chemieingenieurwesen  
Arbeitsgruppe Tailored Optical Materials  
Fachhochschule Münster  
Stegerwaldstraße 39, 48565 Steinfurt  
Telefon: 02551/9-62205  
E-Mail: [tj@fh-muenster.de](mailto:tj@fh-muenster.de)

# Dünn, dünner, zweidimensional!

## Graphen & Co.: Neuartige Materialien mit exotischen Eigenschaften

Wenn man einen Zettelklotz immer wieder halbiert, hält man am Ende nur noch ein einzelnes Blatt in der Hand. Genau so verhalten sich Festkörper, die eine Schichtstruktur haben: Durch wiederholtes Spalten erhält man einen immer dünneren Film, der schließlich nur noch aus einer einzelnen Atomlage besteht und damit weniger als einen Nanometer dick ist.

Die Länge und Breite eines solchen zweidimensionalen Materials sind millionenfach größer. Der Prototyp ist hier Graphen, eine ultradünne Kohlenstoffschicht. In der Arbeitsgruppe „Physik der 2D-Materialien“ von Professor Carsten Busse werden solche Filme präpariert und charakterisiert.

### Eine verrückte Physik

Die 2D-Materialien zeigen ganz besondere physikalische Eigenschaften. So bewegen sich die Elektronen in Graphen immer mit einer konstanten Geschwindigkeit, unabhängig von ihrer Energie und verhalten sich damit genau wie masselose Photonen (Lichtteilchen). Diese und andere Effekte sind auch mit Blick auf Anwendungen sehr interessant: „Mittlerweile kennt jeder Physiker Graphen aufgrund seines technologischen Potenzials – und der verrückten Dirac-Physik seiner Elektronen!“ so Wouter Jolie, Doktorand der Arbeitsgruppe. Die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten haben dazu geführt, dass die EU hier mit dem „Graphene Flagship“ ihre bisher größte Forschungsinitiative gestartet hat.

Die spezielle Kristallstruktur, die für die Bildung eines 2D-Materials nötig ist, lässt sich schon an den dreidimensionalen Ausgangsmaterialien erkennen (sofern diese überhaupt existieren). Bei den beiden (zurzeit) wichtigsten Vertretern dieser Materialklasse – Graphen und einzelne Schichten von Molybdändisulfid (MoS<sub>2</sub>) – sind dies die Mineralien Graphit und Molybdänit. Aufgrund ihrer geschichteten Struktur lassen sich einzelne Ebenen dieser Materialien sehr leicht gegeneinander verschieben, wodurch sie z. B. als trockene Schmiermittel eingesetzt werden können. „Jeder Mechaniker kennt Molykote, dessen wichtigster Bestandteil MoS<sub>2</sub> ist“, so Carsten Busse. Beim Graphit wird diese Eigenschaft

in handelsüblichen Bleistiften eingesetzt: Der Bleistiftstrich ist nichts anderes als eine Spur aus abgehobelten Graphenstücken. Damit kann man – quasi auf magische Weise – Graphen erschaffen, in dem man einfach seine Struktur aufzeichnet (sofern man dazu einen Bleistift verwendet)...

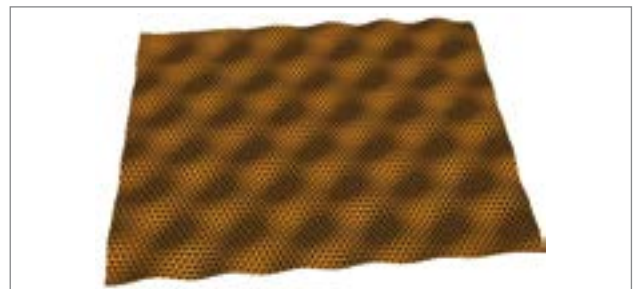
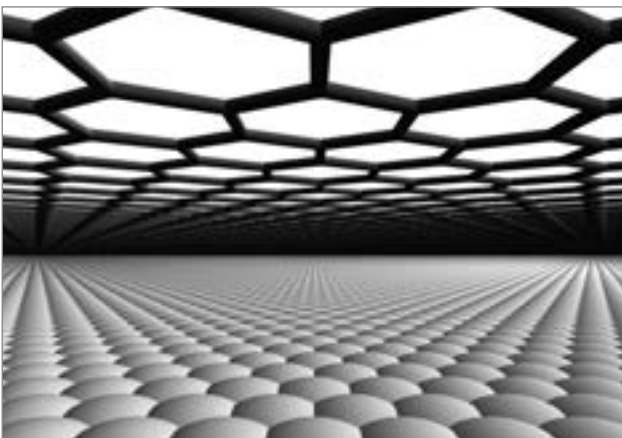
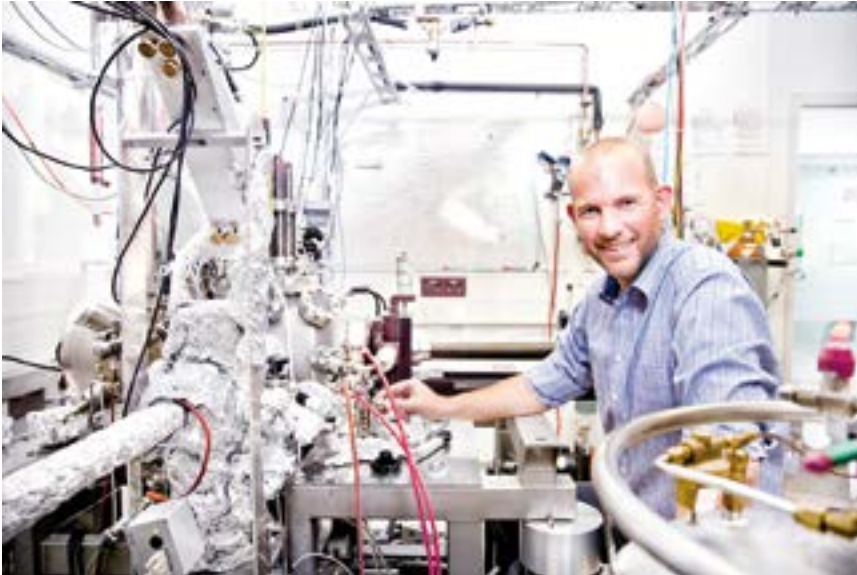
Am Institut für Materialphysik geht man andere Wege zur Präparation: Unter hochkontrollierten Bedingungen werden monoatomar dicke Schichten auf extrem sauberen Metalloberflächen (dem Substrat) mit definierter Kristallstruktur der Oberfläche abgeschieden. Graphen wird über einen katalytischen Prozess erzeugt, bei dem sich ein gasförmiger Kohlenwasserstoff über einer heißen, chemisch aktiven Metalloberfläche in Kohlenstoff und Wasserstoff zersetzt. Für die Herstellung von ultradünnen MoS<sub>2</sub>-Filmen wird Molybdän aus einem glühenden Stab verdampft, Schwefel wird dann auf der Metalloberfläche durch die Reaktion der Mo-Atome mit Schwefelwasserstoff hinzugefügt.

Zur Charakterisierung wird das Rastertunnelmikroskop (STM) verwendet, mit dem man einzelne Atome der Proben sichtbar machen kann. „Mit diesem Instrument die Welt der Atome zu erkunden, das ist als würde man die Oberflächen ferner Planeten erforschen“, so Dany Dombrowski, die in ihrer Doktorarbeit Nanostrukturen aus Graphen und MoS<sub>2</sub> bearbeitet.

### Ein Diamond in Oxfordshire

Zusätzlich nutzt die Arbeitsgruppe auch internationale Großforschungseinrichtungen, in den letzten Jahren vor allem „Diamond“, die nationale Synchrotronstrahlungsquelle im englischen Oxfordshire. Hier werden Elektronen nahezu auf Lichtgeschwindigkeit beschleunigt und strahlen dann die Röntgenstrahlung ab, die man zur exakten Vermessung der Strukturen benötigt. „So konnten wir die Bindungsabstände zwischen 2D-Materialien und ihren Substraten auf den milliardsten Bruchteil eines Millimeters genau bestimmen, und das getrennt nach der chemischen Spezies“ sagt Carsten Busse.

Caio Silva, zurzeit als Stipendiat im brasilianischen Programm „Ciência sem fronteiras“ Mitglied der Arbeitsgruppe ergänzt: „Die Untersuchung von Nanomaterialien mit Synchrotronstrahlung ist wirk-



Graphenschicht mit dem Rastertunnelmikroskop: Einzelne Kohlenstoffatome sind sichtbar. Die gewellte Struktur wird durch den Moiré-Effekt zwischen Graphen und der darunterliegenden Metalloberfläche verursacht.

lich faszinieren, da man sehr viel aus der Wechselwirkung zwischen Licht und Materie lernen kann.“

Die Zahl der synthetisierten 2D-Materialien wächst im Moment rasant, trotzdem sind längst noch nicht alle theoretisch vorhergesagten Materialien auch realisiert worden. „Ein großes Potenzial liegt in der Kombination von Materialien“, so Carsten Busse. „So können die gewünschten Eigenschaften der einzelnen Komponenten in einem System vereinigt werden, und sogar ganz neue Effekte hervorgerufen werden.“

#### Prof. Carsten Busse

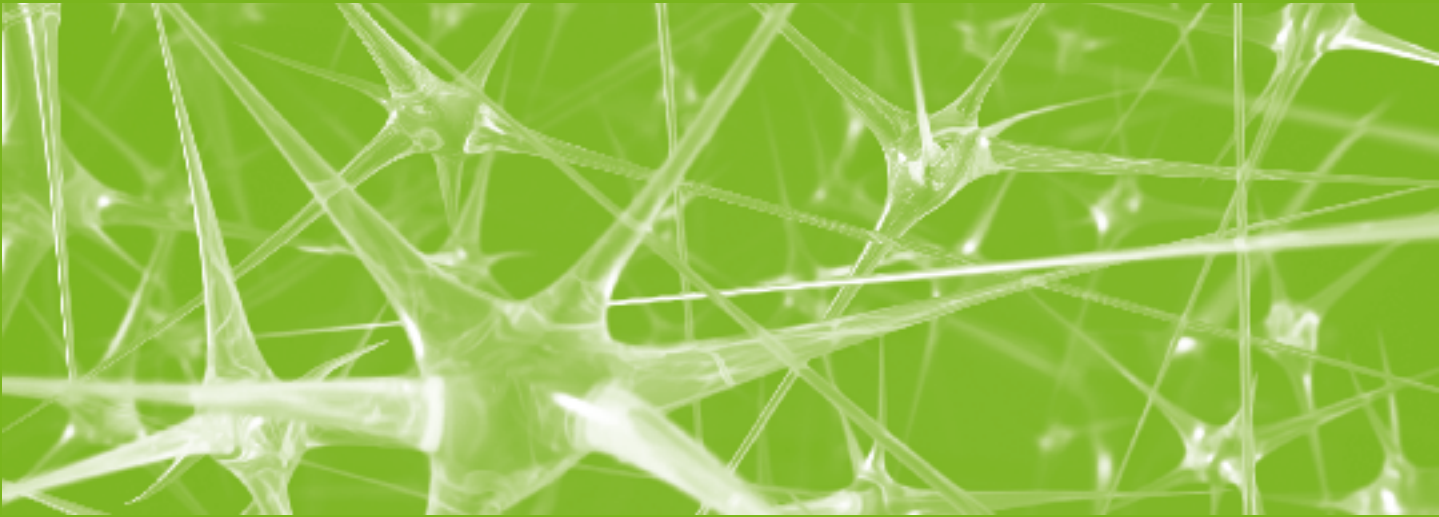
Institut für Materialphysik,  
Westfälische Wilhelms-Universität Münster,  
Wilhelm-Klemm-Straße 10,  
48149 Münster  
Telefon: 0251/83-33572  
E-Mail: [carsten.busse@uni-muenster.de](mailto:carsten.busse@uni-muenster.de)



# Nanobiomedizin

Die Anwendung nanotechnologischer Konzepte in der Medizin verbindet zwei große interdisziplinäre Wissenschaftsgebiete mit einem beispiellosen sozialen und ökonomischen Potenzial. Die Nanobiomedizin 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 Nanobiomedizin 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 Nanobiomedizin 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 MaxPlanckInstituts 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.allianzfuerwissenschaft.de](http://www.allianzfuerwissenschaft.de)).

Im folgenden Kapitel werden sowohl Projekte aus der Grundlagenforschung als auch medizinnähe Anwendungen vorgestellt. Sie veranschaulichen die Bedeutung der Nanobiomedizin, ihre Chancen und Herausforderungen.

# Lichtblitze machen Marker und Antikörper sichtbar

Luminartis gelang ein wichtiger Durchbruch bei speziellen Fluoreszenzfarbstoffen für die Bioanalytik

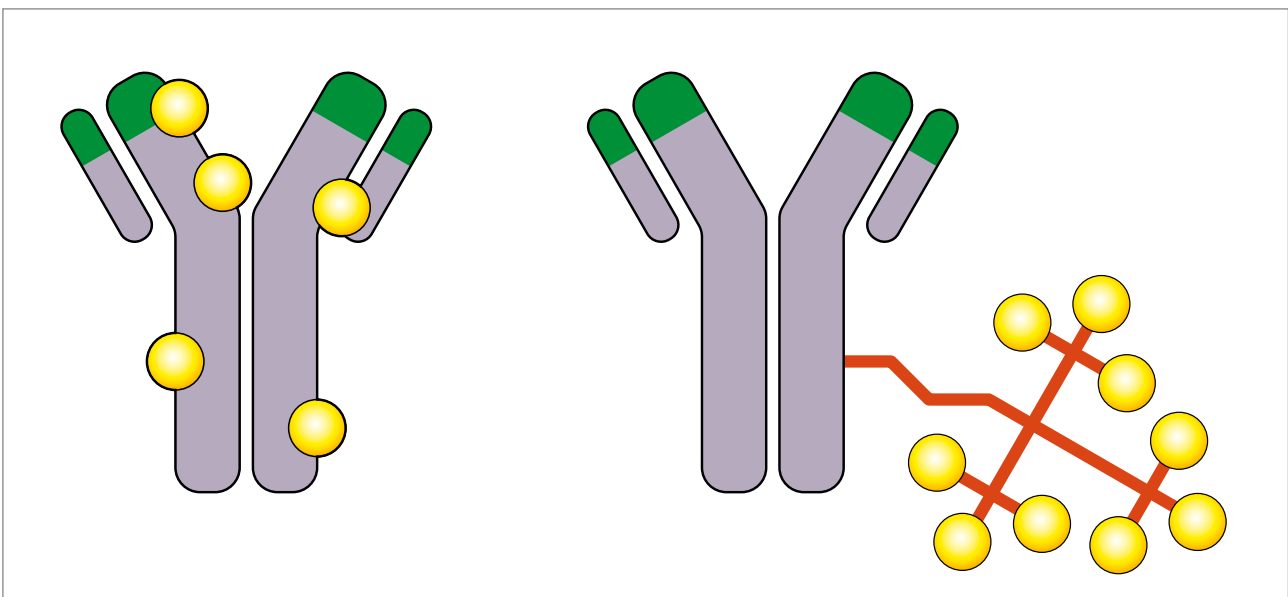
Die Luminartis GmbH hat sich auf die Entwicklung und Produktion von hochleistungsfähigen Fluoreszenzfarbstoffen (Labels) spezialisiert. Diese Substanzen benötigt man in der Bioanalytik, beispielsweise in der Immunfluoreszenz oder im sogenannten In-vivo-Imaging. Die Farbstoffe werden an Antikörper oder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



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

schen Fluorophor 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.

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.

### Labelgrad kennzeichnet die Qualität

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

Mendelstraße 17, 48149 Münster

Telefon: 0251/9816178-0

E-Mail: [info@luminartis.com](mailto: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 sogenannte Botenstoffe (Neurotransmitter) freigesetzt.

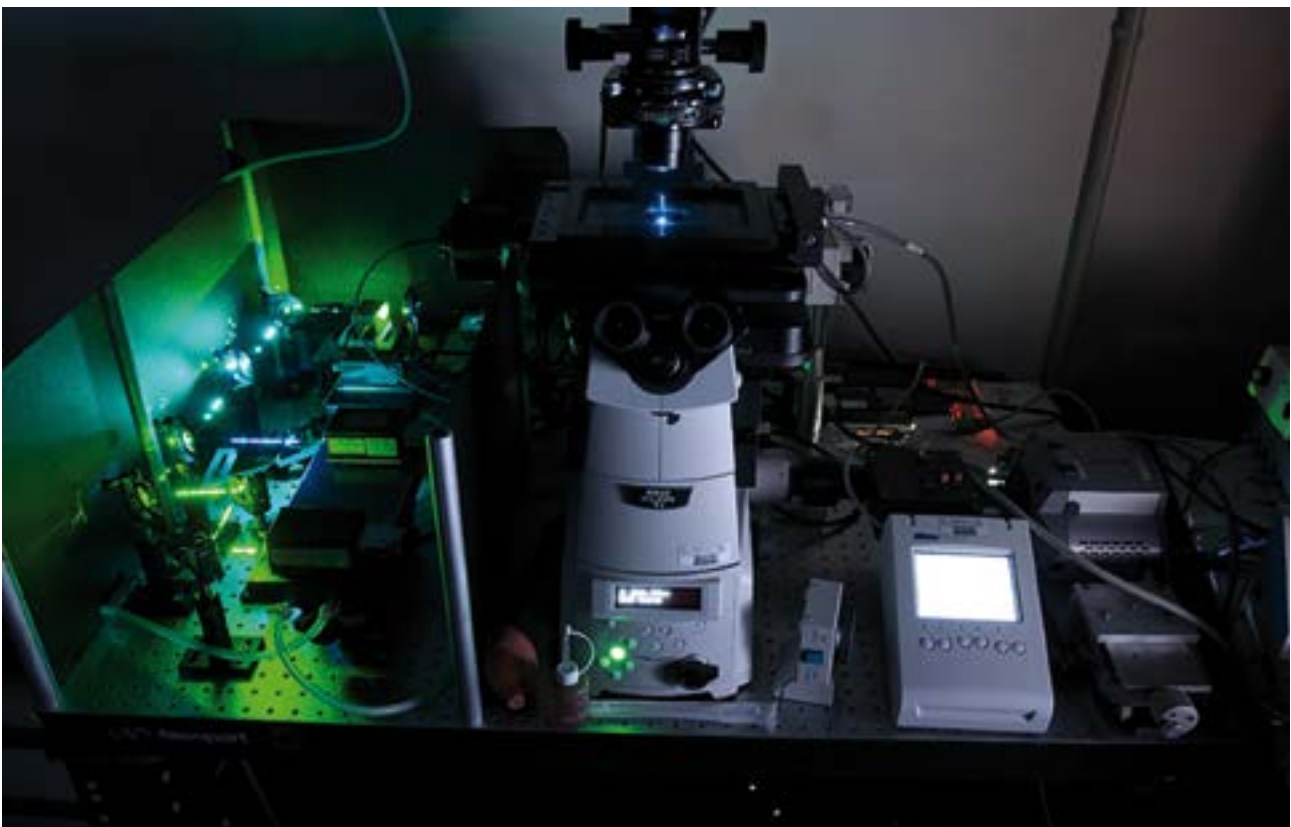
Sie stammen aus kleinen, den Synapsen vorgelegerten Bläschen (Vesikeln) und werden durch einströmende Kalziumionen angeregt, sich mit der Plasmamembran zu verschmelzen. Um die Funktion der Synapsen aufrecht zu erhalten, muss die Zahl

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), Stochastische Optische Rekonstruktions-Mikroskopie (STORM), 4Pi-Mikroskopie und Interne Totalreflexionsmikroskopie.

## Auflösung von wenigen Nanometern

Sie erlauben Auflösungen von wenigen Nanometern, also den Blick tief in die innere Chemie und Biologie der Zellen. Die Spezialmikroskope stehen dem Universitätsklinikum Münster und der Universität Münster im Rahmen der Imaging Facility „Fluorescence Microscopy Facility Münster (FM)2“ zur Verfügung.

Die Auflösung in der Lichtmikroskopie ist durch unvermeidbare Beugungseffekte auf etwa 200 Nanometer begrenzt (ein Fünftausendstel Millimeter). Dies ist jedoch nicht ausreichend, um viel feinere Strukturen innerhalb der Zelle abzubilden. Bei



FPALM und STORM handelt es sich um zwei eng miteinander verwandte Techniken, mit denen diese Auflösungsgrenze umgangen werden kann. Dies geschieht durch die Verwendung spezieller schaltbarer Fluoreszenzfarbstoffe. Dadurch ist nie die gesamte eingefärbte Struktur sichtbar, sondern immer nur einzelne Farbstoffmoleküle. Diese können jedoch mit einer Genauigkeit lokalisiert werden, die die Auflösung des Mikroskops um das Zehn- bis Fünzigfache überschreitet. Die Schaltbarkeit der Farbstoffe erlaubt es, nacheinander alle Farbstoffmoleküle abzubilden, anschließend deren Positionen zu bestimmen und daraus letztendlich die zu untersuchende Struktur mit einer Genauigkeit von einigen Nanometern (Millionstel Millimeter) zu rekonstruieren. Diese Technik wurde 2014 mit dem Nobelpreis für Chemie ausgezeichnet.

### Zwei Nanoskope aufgebaut

Die Forschergruppe von Professor Klingauf hat zwei solche „Nanoskope“ aufgebaut, an denen sie FPALM- und STORM-Messungen vornehmen kann.

Ein Gerät basiert auf einem kommerziellen Epi-fluoreszenzmikroskop.

Verschiedene zusätzliche Techniken ermöglichen hier die Bestimmung nicht nur der lateralen, sondern auch der vertikalen Position der Farbstoffmoleküle und damit die Erstellung von 3D-Bildern.

Beim zweiten Gerät handelt es sich um einen Spezialaufbau mit zwei Objektiven. Dadurch kann nahezu das gesamte Fluoreszenzlicht, das die Probe abstrahlt, detektiert werden, was die Genauigkeit der Positionsbestimmungen und damit der Bildrekonstruktion noch einmal deutlich erhöht.

#### Prof. Dr. Jürgen Klingauf

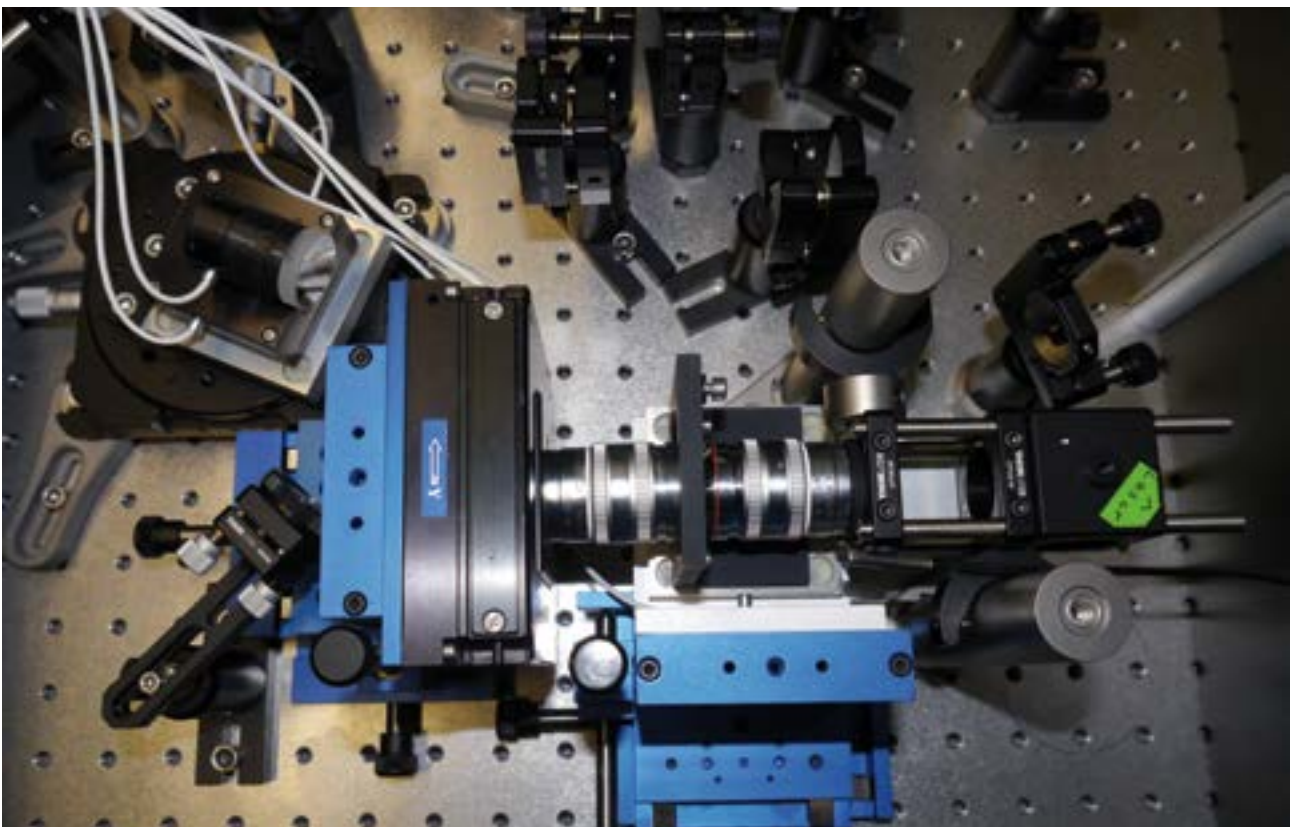
Institut für Medizinische Physik und Biophysik/CeNTech

Westfälische Wilhelms-Universität Münster

Robert-Koch Straße 31, 48149 Münster

Telefon: 0251/83-51001

E-Mail: [klingauf@uni-muenster.de](mailto:klingauf@uni-muenster.de)



# Eine Vision der Medizin 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 „Zauberkugeln“ 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 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.

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.

## Nanopartikel befördern Wirkstoffe

Mittlerweile gelingt es den Nanotechnologen, die Strukturen der Partikel maßzuschneidern. 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 schützen, 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 Nanopartikeln die unterschiedlichen Zellzwischenräume von gesundem und krankem Gewebe auffinden. Das nutzt man aus, um Arzneistoffe in Tumoren

### Prof. Dr. Klaus Langer

Institut für Pharmazeutische Technologie  
und Biopharmazie  
Westfälische Wilhelms-Universität Münster  
Corrensstraße 48, 48149 Münster  
Telefon: 0251/83-39861  
E-Mail: k.langer@uni-muenster.de



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 Arznei-

stoffbeladen 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, dass bald die medikamentöse Therapie von Gehirntumoren möglich ist. Bisher scheitern die etablierten Darreichungsformen für Arzneien.

Die wissenschaftlichen Arbeiten der Gruppe zur Etablierung neuer Drug-Targeting-Konzepte werden aus Mitteln der Projekte „NanoGene“, „BioTraP for CCC“ und „MINAC“ des Bundesforschungsministeriums finanziert.



Die Arbeitsgruppe von Professor Langer

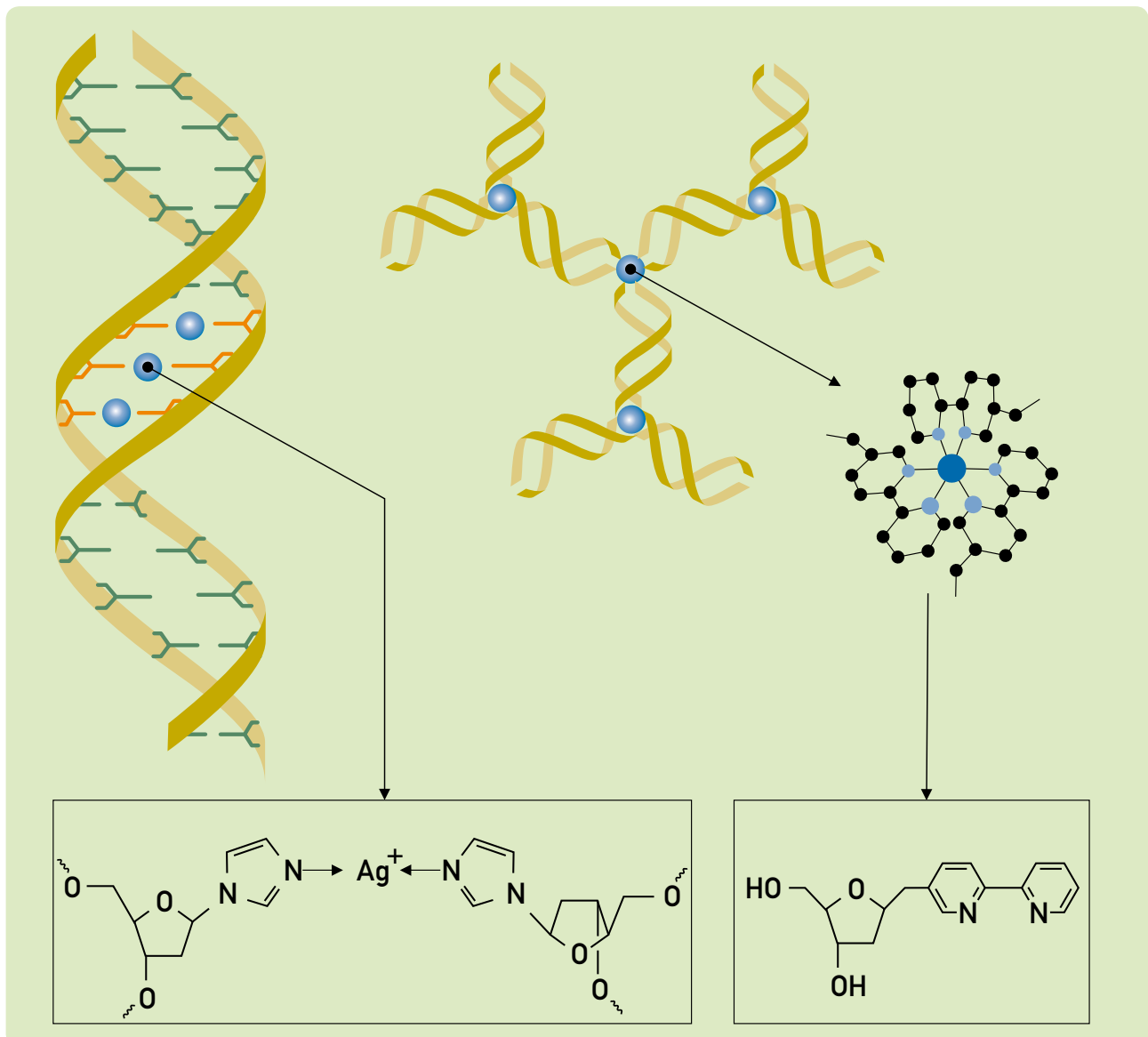


# Das Erbgut als Vorbild für neue Kunststoffe

Mit Metallionen modifizierte Nukleinsäuren ermöglichen molekulare Nanosonden und spezielle Polymere

Die Erforschung des Trägers von Erbinformationen (Erbgut: DNA) 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: DNA-Duplex mit metallvermittelten Basenpaaren, rechts: Ausschnitt aus einem nanostrukturierten DNA-Metall-Aggregat. Die Metallionen sind jeweils als blaue Kugeln dargestellt.



Die Wissenschaftler nutzen 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 DNA-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 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 DNA den Ladungstransfer durch die Nukleinsäure beeinflussen. Die Anwendung als Nanosonde für Metallionen ist ebenso denkbar wie die Herstellung nanostrukturierter DNA-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](mailto:mueller.j@uni-muenster.de)

# Die Zelle – das organisierte Chaos

Ohne Unterlass laufen in der Zelle hochdynamische Prozesse ab, die präzise reguliert und koordiniert werden. Roland Wedlich-Söldner untersucht mit seiner Forschungsgruppe am Institut für Zelldynamik und Bildgebung, wie die Zelle eine derart straffe Organisation aufrechterhält

Denn die Organisation ist nicht zuletzt für die Entwicklung und Anwendung synthetischer Systeme im Mikro- und Nanobereich wichtig.

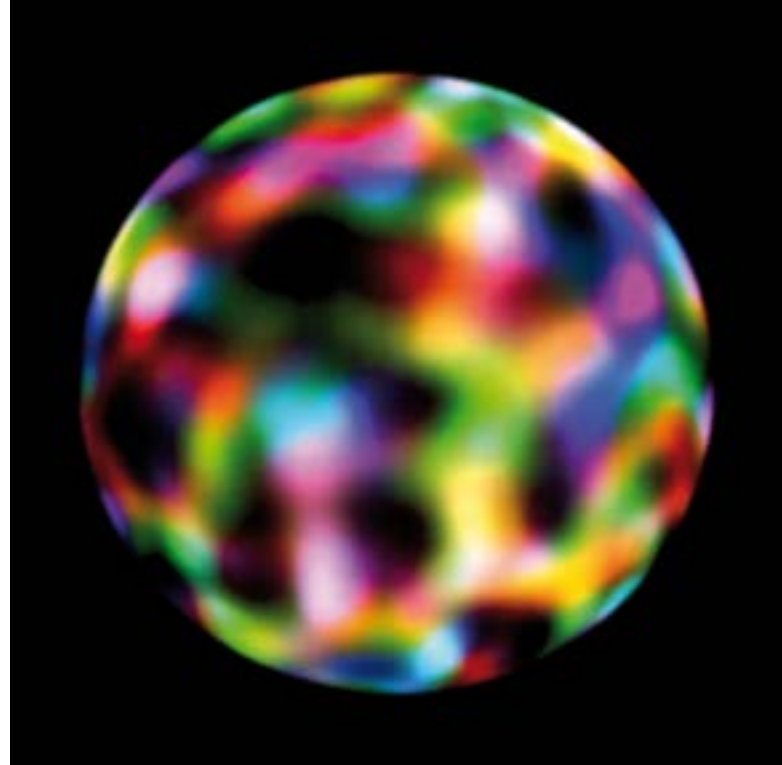
Auf den ersten Blick scheint im Inneren einer jeden Zelle undurchdringliches Chaos zu herrschen. Es bedarf intensiver Forschungsarbeit, um auch nur in Teilbereichen zu zeigen, wie straff dieses dynamische System tatsächlich organisiert ist: Jeder Schritt in der Zelle kann und darf nur zur rechten Zeit am rechten Ort und im rechten Ausmaß erfolgen.

Wedlich-Söldner und sein Team möchten die grundlegenden biologischen Mechanismen der zellulären Dynamik und Musterbildung entschlüsseln. Letztlich geht es dabei vor allem um eine Frage: Wie gelingt es einer Zelle, die zahlreichen Prozesse in ihrem Inneren zeitlich und räumlich mit höchster Präzision ablaufen zu lassen, ohne dass es im molekularen „Gedränge“ zu Störungen kommt?

## Ohne Gerüst geht gar nichts

Ein Hauptaugenmerk der Wissenschaftler liegt dabei auf dem Zytoskelett, einem essentiellen Bestandteil aller höheren Zellen. Es wird aus verschiedenen Proteinfilamenten gebildet, die je nach Bedarf flexible Bündel und Netzwerke ausbilden, die den Zellen Form verleiht und sie stützt. Das Zytoskelett wird zudem für den Transport von molekularen Lasten benötigt, wie er bei fast allen zellulären Prozessen anfällt.

Ein Beispiel ist hier die zelluläre Polarisation, bei der eine Zelle nicht mehr gleichmäßig aufgebaut ist, sondern sich in eine Richtung orientieren muss. Bei der Teilung einer Hefezelle etwa müssen zahlreiche Moleküle und zelluläre Strukturen zielgerichtet an eine definierte Stelle der Zelloberfläche gebracht werden, wo sie für den Aufbau einer neuen



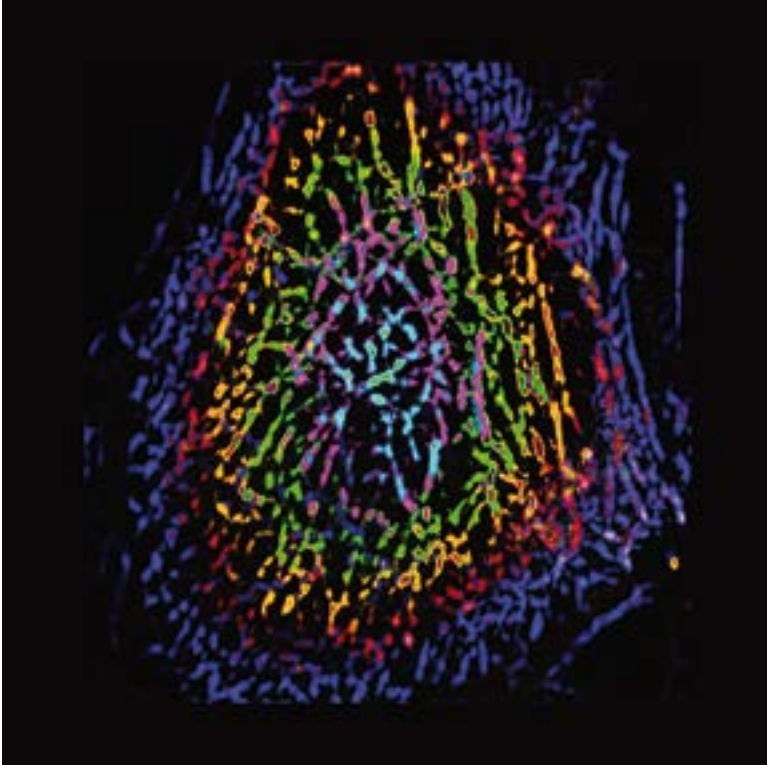
Das Zellskelett – eine dynamische Stütze. Das Zytoskelett besteht aus einer Vielzahl von Filamenten, die laufend auf- und abgebaut werden, aber der Zelle trotzdem mechanische Stabilität verleihen. Gezeigt ist die Organisation des Myosinnetzwerkes in einer Nierenzelle. Zelldurchmesser etwa 40 µm.

Knospe – aus der dann die Tochterzelle entsteht – gebraucht werden.

In einem weiteren Projekt konnte die Gruppe um Wedlich-Söldner zeigen, dass das Zytoskelett auch als Informationsträger dienen kann. Dabei ändern sich Strukturen des Zytoskeletts innerhalb nur weniger Sekunden als Antwort auf Stress, etwa wenn Nachbarzellen sterben oder Entzündungssignale von der Zelle empfangen werden. Durch diese Umorganisation löst das Zytoskelett allerdings die Aktivierung zahlreicher Gene aus, was das Zellverhalten über Stunden hinweg beeinflusst.

## Filmreifes Schauspiel in der Zelle

High-Tech-Mikroskopie ist nötig, um die Dynamik zellulärer Strukturen und Prozesse detailliert und im zeitlichen Verlauf in der lebenden Zelle zu verfolgen. Untersuchungen an der Zellhülle erfolgen in



Die Zelloberfläche als molekularer Flickenteppich. Hefezellen organisieren ihre Oberfläche in klar voneinander abgegrenzte Domänen. Zelldurchmesser etwa 6  $\mu\text{m}$ .

erster Linie mit Hilfe spezieller Fluoreszenzmikroskopie, wofür in der Arbeitsgruppe Wedlich-Söldner mehrere leistungsfähige Geräte installiert und Methoden etabliert wurden.

So konnte das Team unter anderem zeigen, dass Hefezellen ihre gesamte Oberfläche in zahlreichen, klar voneinander abgegrenzten sogenannten Domänen organisieren, die jeweils einzigartige Kombinationen von Proteinsorten enthalten. Dieser „molekulare Flickenteppich“, scheint von zentraler Bedeutung für grundlegende zelluläre Vorgänge zu sein: Proteine verlieren ihre Funktion ganz oder zum Teil, wenn sie in eine fremde Domäne versetzt wurden.

Insgesamt gewähren Filme, die dank hoch entwickelter mikroskopischer Techniken und Geräte entstehen, tiefere Einblicke als bloße Schnappschüsse. Nicht selten enthüllen sie neue zelluläre Prozesse sowie bisher unbekannte Strukturen. Die so gewon-

nenen Erkenntnisse könnten dazu beitragen, Zellen vom Bakterium bis zum Menschen zu entschlüsseln. Die dabei aufgedeckten grundlegenden Prinzipien können zudem wichtige Vorlagen für die Entwicklung synthetischer Zellen sowie komplexer chemischer Systeme liefern.

**Prof. Dr. Roland Wedlich-Söldner**

Institut für Zelldynamik und Bildgebung,  
Westfälische Wilhelms-Universität Münster,  
Von-Esmarch-Straße 56, 48149 Münster  
Telefon: 0251/83-59051  
E-Mail: [wedlich@uni-muenster.de](mailto:wedlich@uni-muenster.de)



# 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.

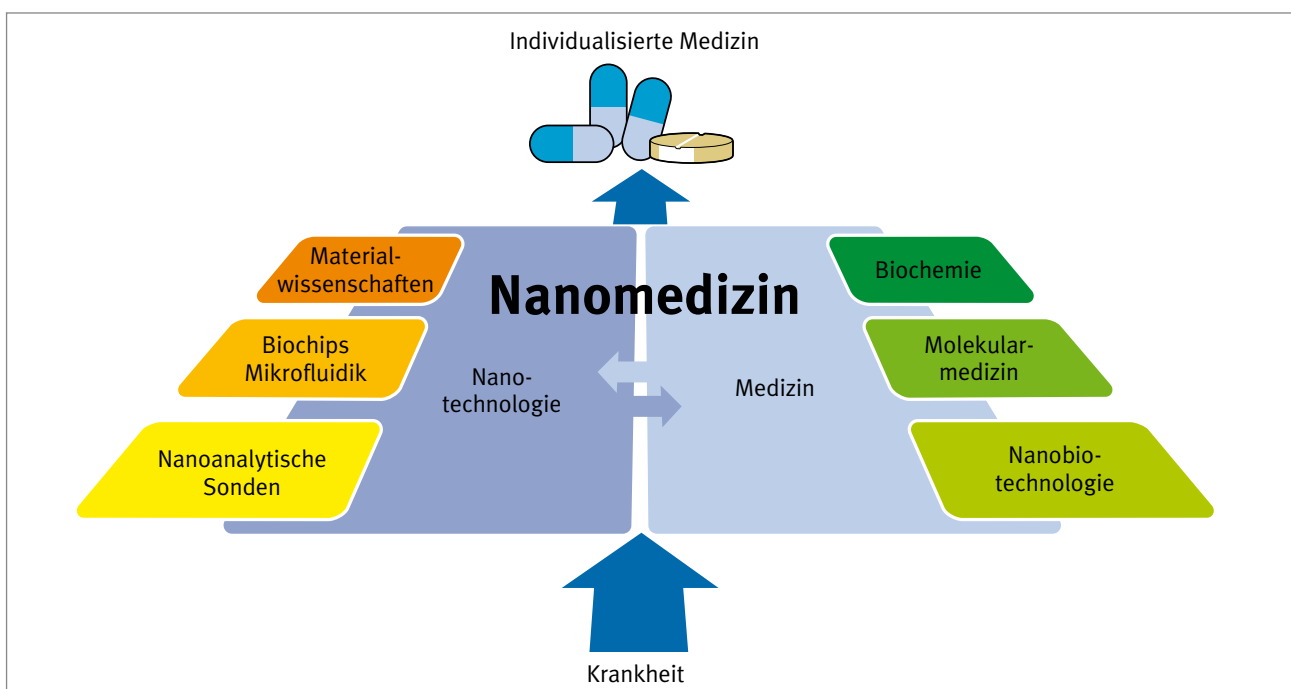
Die nanotechnologischen Methoden in Diagnostik und Therapie führten in den letzten Jahren zur rasanten Entwicklung der Nanomedizin. Analytische Werkzeuge wie lokale Sonden und molekulare Bildgebungstechniken erlauben es, die Eigenschaften von Oberflächen und Grenzflächen und ihren Einfluss auf das einzelne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



Die Arbeitsgruppe von Dr. Kristina Riehemann

kropagenanalysierten und die Unterschiede in der Elastizität charakterisierten. Die Zellen werden mit Rasterkraftspektroskopie und mit mikrofluidischen Techniken in einem elektrischen Oktopol 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 zum gewünschten Erfolg führen, 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 Standards

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: 0251/83-63837  
E-Mail: [riehema@uni-muenster.de](mailto: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 zu untersuchen, beispielsweise im Hinblick auf ihre elektronischen oder ionischen Leitfähigkeiten, ihre Stimulierbarkeit durch äußere Einflüsse wie Licht, elektrische Spannungen oder Inhaltstoffe aus der Umwelt.



Nur durch die Kenntnis dieser Zusammenhänge auf der Skala der 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 erfordern 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.



# Auf der Suche nach der Nadel im Heuhaufen

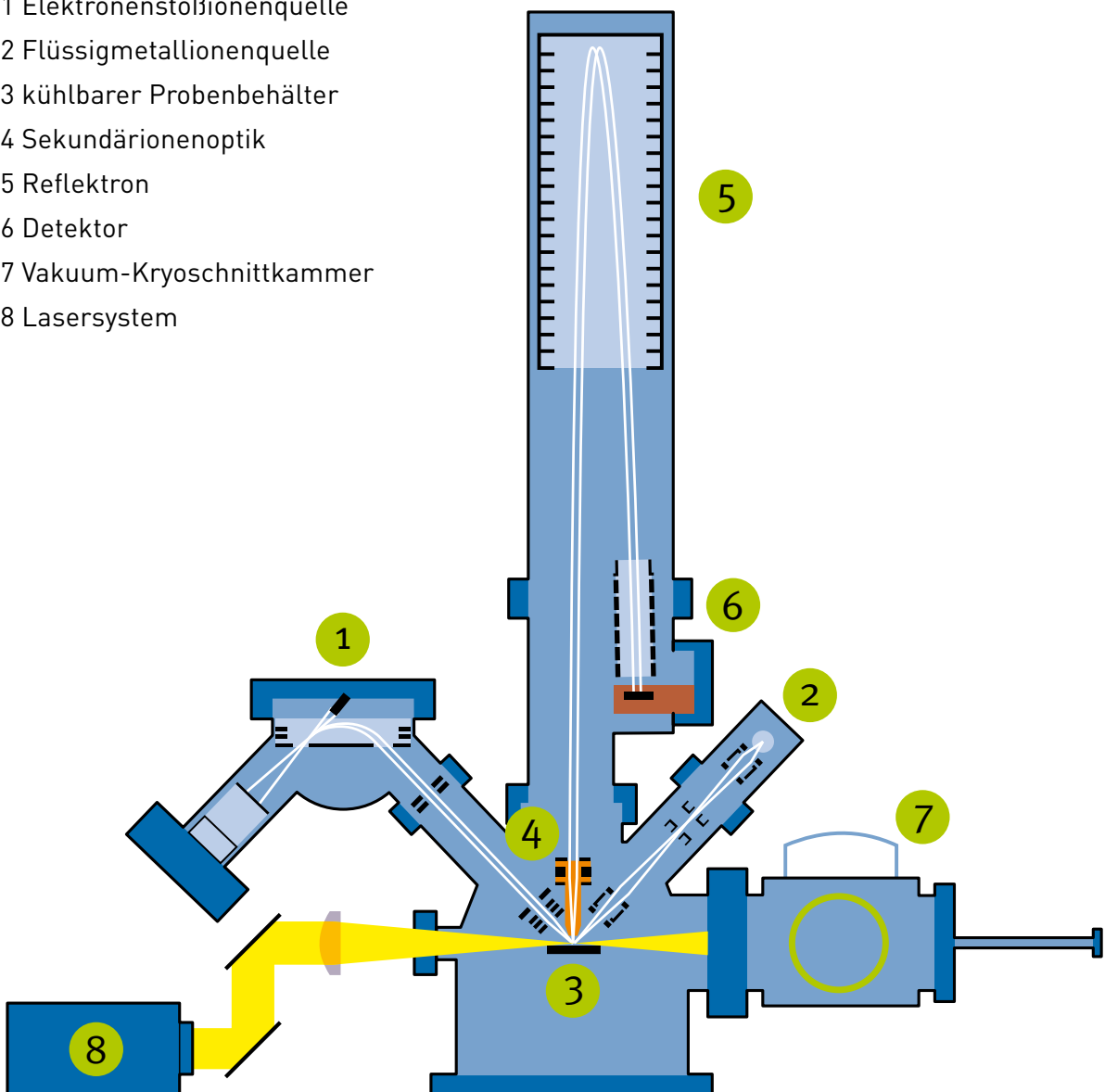
Moderne Verfahren der Massenspektrometrie spüren Atome und Moleküle auf und erforschen die chemischen Strukturen

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



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 genannte 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.

Deshalb greifen die Wissenschaftler auf ein zweites Verfahren zurück, die so genannte Lasernachionisierung-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.

### Mit modernster Technik

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 Pro-

be Schicht für Schicht abtragen und erhält auf diese Weise die chemische Zusammensetzung 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 dreidimensionale 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 nano-strukturierten 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 Lackindustrie, Glasindustrie, Pharmazie, Medizintechnik und der chemischen Industrie.

Die Tascon GmbH ist als ToF-SIMS und XPS-Prüflabor gemäß DIN 17025 flexibel akkreditiert. Das heißt neue Analysemethoden dürfen eigenständig entwickelt und in Kraft gesetzt werden. Der Erfolg des Unternehmens beruht neben dem stets aktu-

ellen Gerätepark auf der interdisziplinären Zusammenarbeit der hochqualifizierten Mitarbeiter, die aus der Physik, Chemie, Biologie, Biochemie und Geologie kommen. Die Tascon GmbH besitzt Standorte in Münster und im Rhein-Main-Gebiet und hat ein Tochterunternehmen im US-Bundesstaat New York.

## So funktioniert ToF-SIMS

Während einer Analyse mit der Flugzeit-Sekundärionen-Massenspektrometrie (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 Monolage. 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



ToF-SIMS-Gerät für die chemische Oberflächenanalytik



Das Team der Tascon GmbH um Dr. Birgit Hagenhoff (4. von links)

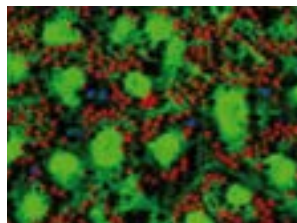
Anbieter für analytischen Service mit dieser Technologie auf der Welt.

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. Die Techniken können vielfältig und sehr praxisnah eingesetzt werden. Die Anwendungen an Ober- und Grenzflächen reichen von Fragen der Effizienz von Reinigungsprozessen bis hin zum Reverse Engineering.



Aufnahme von Mikropartikeln aus Siliziumoxid (Durchmesser: zwei Mikrometer) in Zellen. Links: lichtmikroskopische Aufnahme, rechts: chemische Lateralverteilung auf Zellkernebene (ToF-SIMS-Abbildung), Legende: rot (Siliziumoxid), grün (Aminosäuren der Zellkerne), blau (Substratunterlage)

#### Dr. Birgit Hagenhoff

Tascon GmbH

Mendelstraße 17, 48149 Münster

Telefon: 0251/625622-100

E-Mail: [tascon@tascon-gmbh.de](mailto:tascon@tascon-gmbh.de)

Web: [www.tascon.eu](http://www.tascon.eu)



# Selbstorganisation und Gleichgewicht

In natürlichen Prozessen erschaffen sich Strukturen und Texturen der Materie selbst

Die Erkenntnis von Aristoteles, dass das Ganze mehr ist als die Summe seiner Teile, leitet heute Studien zur Selbstorganisation, Selbstassemblierung, Struktur- und Texturbildung auf vielen Längen- und Zeitskalen: Die Arbeitsgruppe von Professor Uwe Thiele untersucht, wie Systeme weicher Materie sich selbst organisieren – auf dem Weg ins Gleichgewicht und auch permanent außerhalb des Gleichgewichts.

Das Spektrum reicht dabei von der Dynamik von Zellaggregaten, der Musterbildung in dünnen Filmen einfacher und komplexer Flüssigkeiten, der Dynamik kolloidaler Kristallisationsprozesse bis zur Datenanalyse und Kontrolle von komplexen Systemen. 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 durch Prozesse der Selbstorganisation und Selbstassemblierung.

## Universelle Eigenschaften

Diese Prozesse besitzen universelle Eigenschaften, deshalb lassen sich verschiedenartige Systeme durch einheitliche mathematische Konzepte beschreiben. Beispiele für solche Strukturbildung sind Wolkenmuster in der Atmosphäre, die Ausbildung von Mustern bei chemischen Reaktionen und

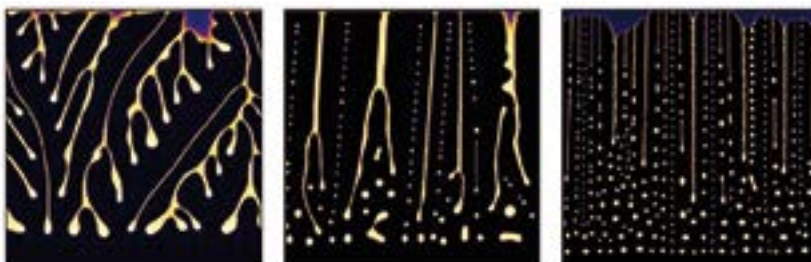
die Selbstorganisation in biologischen Systemen. Besonders in der Mikro- und Nanophysik gewinnen selbstorganisierende Prozesse an Bedeutung.

Da es auf kleinen Skalen zunehmend schwieriger wird, Strukturen und Funktionen von außen aufzuprägen, ist eine verfolgenswerte Alternative, Mechanismen der Strukturbildung zu nutzen. Das ist das Ziel der Forschergruppe. So untersuchen die Wissenschaftler zum Beispiel, wie sich kolloidale Suspensionen von Nanoteilchen von einem festen Substrat zurückziehen oder kristallisieren. Besonders interessant ist dabei, wie Phasenübergänge (Entmischung, Verdunstung, Kristallisation) mit Transportprozessen interagieren. Man könnte die Erkenntnisse nutzen, um neue Verfahren zur Erzeugung strukturierter Beschichtungen zu entwickeln.

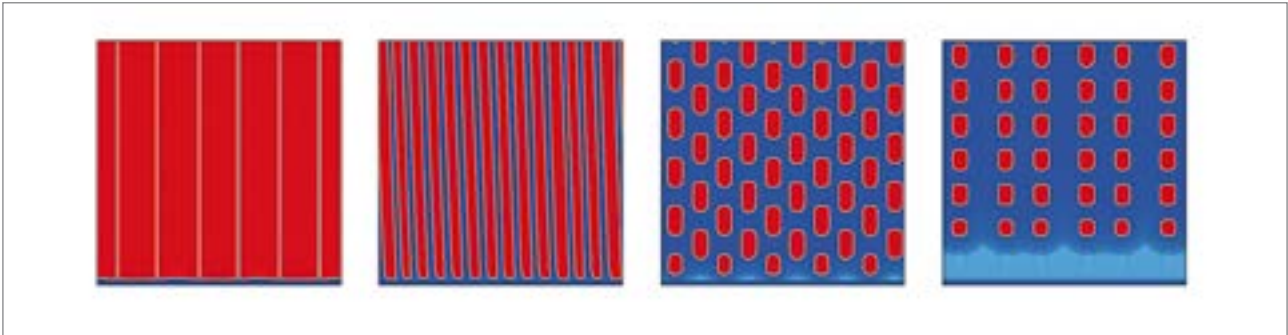
## Schichten aus einem Molekül

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 entwickeln dynamische Modelle des Beschichtungsprozesses, um diesen Ungleichgewichtsprozess gezielt zu kontrollieren.

Das ist von grundsätzlichem Interesse, denn dahinter verbirgt sich die Frage, wie die Kombination aus Wechselwirkungen auf der Nanoskala und kontrollierter Nichtgleichgewichtsprozesse eine Ordnung auf der Mesoskala erzeugt. Um Aussagen über solche Systeme zu treffen und die universellen Eigenschaften von Nichtgleichgewichtssystemen



Durch Ablagerung aus einer verdampfenden kolloidalen Suspension entstehende Dichteprofile von Nanopartikeln.



Strukturbildung in Simulationen des sogenannten Langmuir-Blodgett-Transfer-Beschichtungsverfahrens

tiefgehend zu erforschen, arbeiten die Forscher mit vielfältigen theoretischen und numerischen Methoden. Sie verwenden beispielsweise Methoden aus der Bifurkationstheorie, der nichtlinearen Dynamik sowie der statistischen Physik, der Theorie weicher Materie und der Theorie stochastischer Prozesse. An leistungsfähigen Großrechnern werden die strukturbildenden Prozesse simuliert und visualisiert.

**Prof. Dr. Uwe Thiele**

**Dr. Svetlana Gurevich**

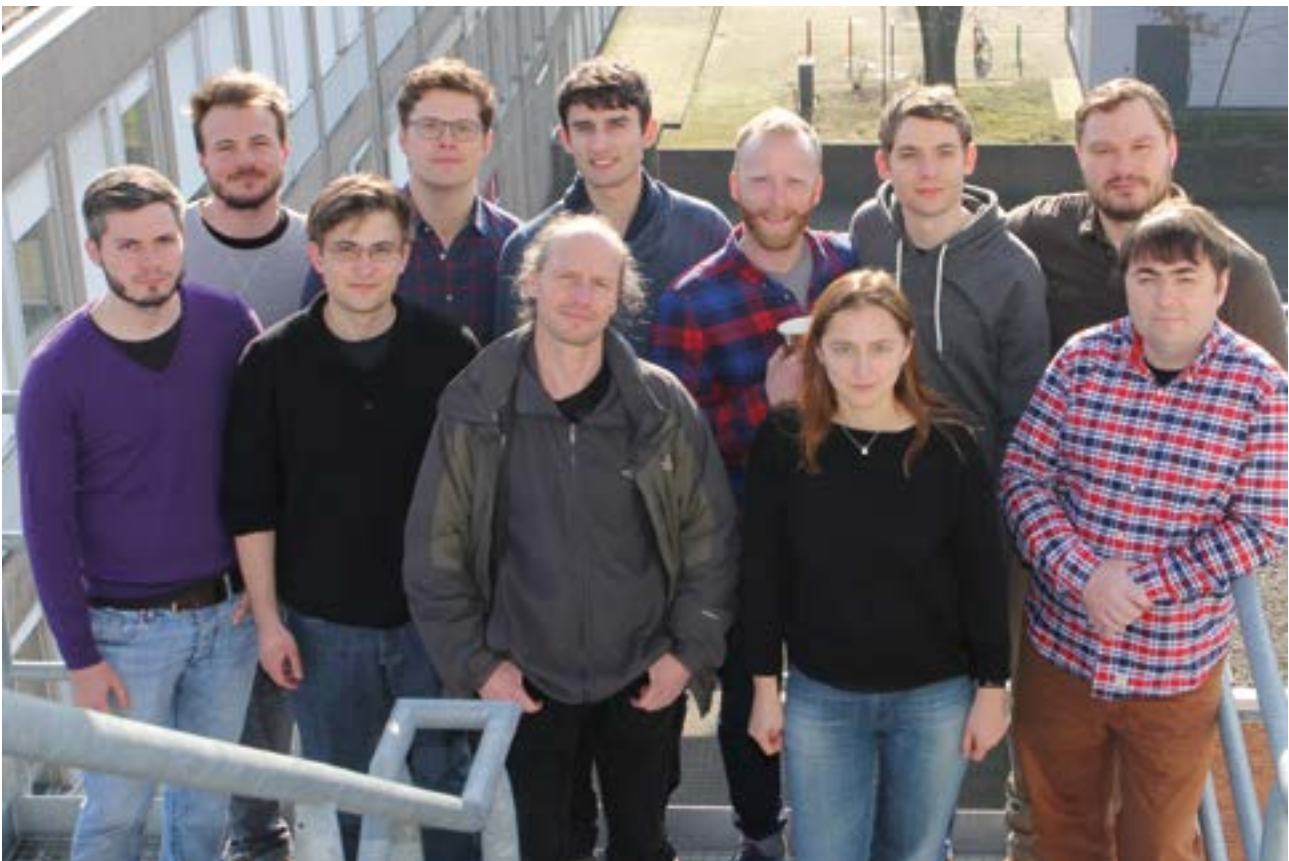
Institut für Theoretische Physik

Westfälische Wilhelm-Universität Münster

Wilhelm-Klemm-Straße 9, 48149 Münster

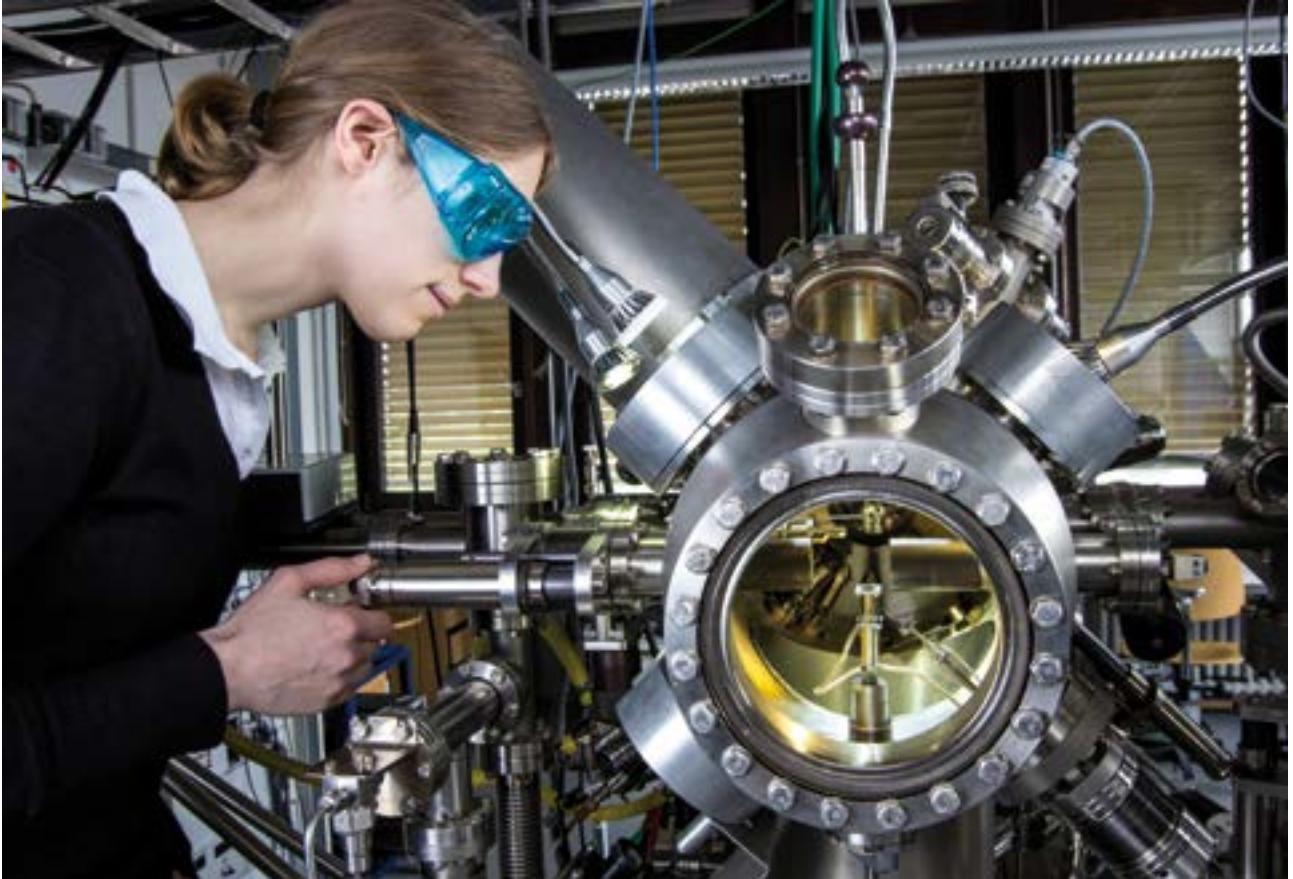
Telefon: 0251/83-34939

E-Mail: [u.thiele@uni-muenster.de](mailto:u.thiele@uni-muenster.de)



Die Arbeitsgruppe von Prof. Dr. Uwe Thiele

# Mit dem Spin zur effizienten Elektronik



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

Wissenschaftler ergründen die Geheimnisse von Spin-Phänomenen für neue elektronische Bauelemente

Der Spin ist der Eigendrehimpuls des Elektrons. Er ist unter anderem für den Magnetismus verantwortlich. Derzeit spielen magnetische Phänomene 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 elektronische Bauteile energiesparender bauen, die Datendichte und die Geschwindigkeiten der Datenverarbeitung erhöhen, führt kein Weg an der Nanophysik 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 ausgeklügelte spektroskopische Verfahren, mit denen man den Spin von Elektronen untersuchen kann. Die Arbeitsgruppe ist Phänomenen auf der Spur, mit deren Hilfe man die mikroskopischen Eigenschaften des Spins auf makroskopischer Skala ausnutzt. Auf diese Weise eröffnet sie Wege für neue Anwendungen in der Informationsverarbeitung.

## Ein Sandwich aus hauchfeinen Schichten

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.

Auch in unmagnetischen Materialien kann der Elektronenspin eine wichtige Rolle spielen. Hier stehen derzeit Oberflächenlegierungen im Zentrum des Interesses, bei denen schwere Elemente wie Bismut, Thallium oder Blei in die obersten Atomlagen von Metallen wie Kupfer oder Gold oder auch Halbleitern wie Silizium oder Germanium eingelagert sind. Hier spüren die Elektronen, dass sich auf der einen Seite ein fester Körper, auf der anderen Seite Vakuum befindet. Dies kann zur Folge haben, dass die Ausrichtung des Elektronenspins direkt mit der Richtung des elektrischen Stroms verknüpft ist. Solch eine Eigenschaft verspricht Anwendungsmöglichkeiten im Bereich der Spintronik.

### Präparation des Elektronenspins

Experimente mit spinausgerichteten Elektronen erlauben den direkten Einblick in die spinabhängigen mikroskopischen Eigenschaften magnetischer und unmagnetischer 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. Beide Arten von Experimenten

### Prof. Dr. Markus Donath

Physikalisches Institut

Westfälische Wilhelms-Universität Münster

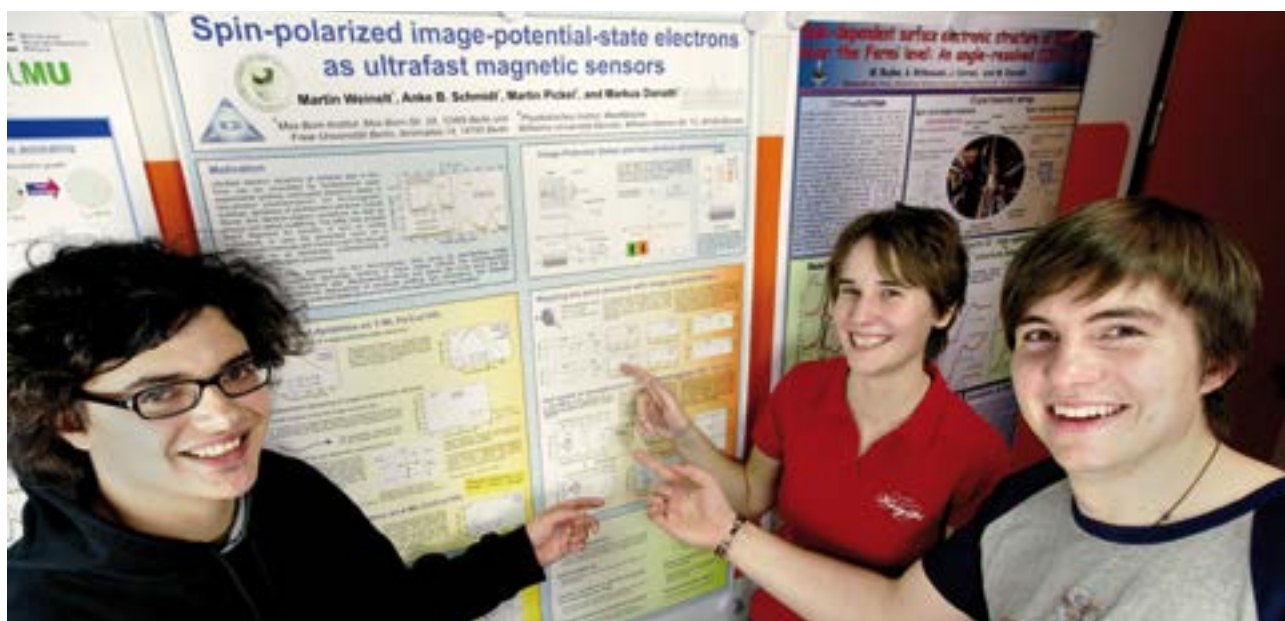
Wilhelm-Klemm-Straße 10, 48149 Münster

Telefon: 0251/83-39065

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

sind sehr aufwändig und werden daher weltweit in nur wenigen Gruppen durchgeführt.

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 Forschungsgruppen im In- und Ausland, zum Beispiel aus dem Stuttgarter Max-Planck-Institut für Festkörperforschung und der Universität im japanischen Hiroshima zusammen. Finanziert werden die umfangreichen Arbeiten unter anderem von der Deutschen Forschungsgemeinschaft.





# 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.

## Kenntnis der Wechselwirkungen

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

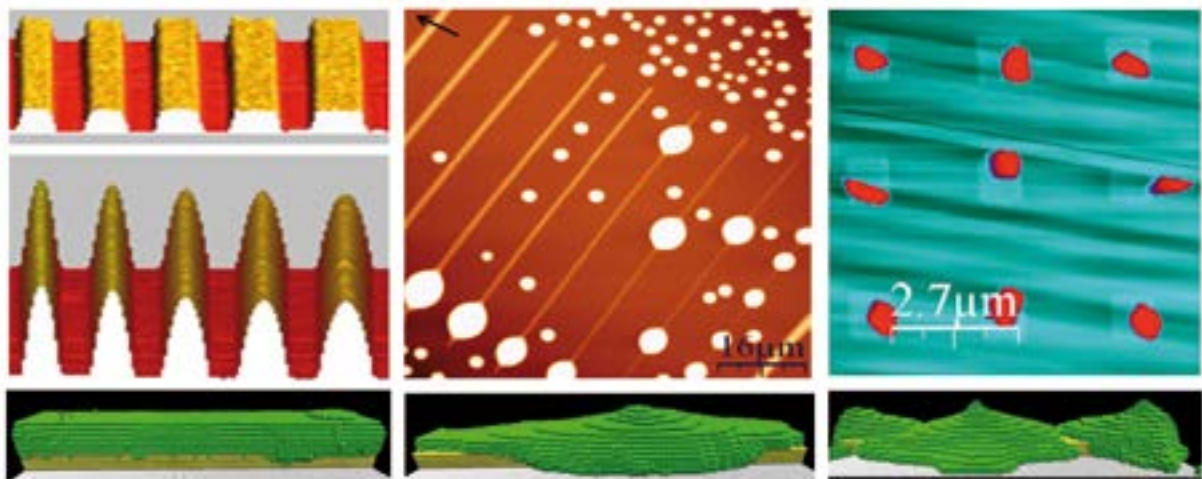
auf einfache oder auch sehr detaillierte Modellsysteme. Ein Beispiel bietet die Kontrolle der Nukleation auf vorstrukturierten Oberflächen. Kooperierende Forscher um Professorin Chi und Professor Fuchs versuchen, organische Moleküle mit möglichst regelmäßigen Strukturen auf vorbehandelten Oberflächen 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. Für andere vorstrukturierte Geometrien soll untersucht werden, ob hochgeordnete Cluster entstehen können. Geeignete Modellsysteme erlauben es, solche Vorgänge mit 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



Die resultierende Anordnung von Molekülen, die auf einer vorstrukturierten Oberfläche abgeschieden werden. Oben: Experimente für verschiedene Moleküle. Unten: Simulationen für verschiedene Stärken der Wechselwirkung zwischen den Molekülen

wird zum Beispiel untersucht, welchen Einfluss die Geometrie der vorstrukturierten Muster oder die Eigenschaften der Moleküle auf die Nukleation haben. Andere spannende Fragen betreffen die Instabilitäten von Bedeckungsphänomenen, die sowohl experimentell als auch in den Simulationen beobachtet werden.

### Simulationen komplexer Systeme

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.

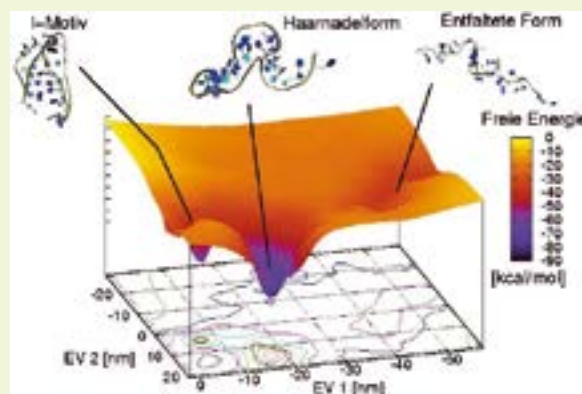
Die Herausforderung besteht dann darin, die so genannte freie Energielandschaft des komplexen Systems durch Simulationen im Computer zu charakterisieren. Dafür braucht man geeignete Algorithmen, wie sie von der Forschergruppe um Professor Heuer entwickelt werden. Für einige glasbildende Systeme ist es sogar möglich, Eigenschaften der potentiellen Energielandschaft numerisch zu bestimmen.

Anschließend muss man die Erkenntnisse über die Natur der Energielandschaft in physikalisch beobachtbare Größen übersetzt werden. Das kann beispielsweise eine Reaktionsrate sein. Nur dann lassen sich die Ergebnisse der Simulation mit den Messungen aus physikalischen Experimenten vergleichen.

### Wie entfaltet sich DNA?

Gemeinsam mit experimentellen Gruppen aus Peking untersuchen die Münsteraner Forscher in ihren Simulationen, wie sich einzelne molekulare Formen von DNA (Erbgut) wie zum Beispiel das i-Motiv falten und entfalten können. Das i-Motiv besteht aus einsträngiger DNA, 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 kenn-



zeichnen 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 zur 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 DNA-Matrix fixierte Wirkstoffe freizusetzen, wie die Peking Wissenschaftler bereits eindrucksvoll gezeigt haben. Schließlich werden auch Hybridsysteme von DNA-Strängen und Polymeren studiert. Dort kann eine breite Palette von Selbstorganisationsmechanismen beobachtet werden. Die Computersimulationen dienen als Hilfe, um die zugrundeliegenden Mechanismen zu verstehen.

### Prof. Dr. Andreas Heuer

Institut für Physikalische Chemie  
Westfälische Wilhelms-Universität Münster  
Corrensstraße 28-30, 48149 Münster  
Telefon: 0251/83-29177  
E-Mail: andheuer@uni-muenster.de

# Ein Bild sagt mehr als tausend Worte

Zur Untersuchung der Elementverteilung in Geweben beschießen die Forscher um Uwe Karst ihre Proben mit einem Laser. Durch Verbindung mit der Plasma-Massenspektrometrie erhalten sie völlig neue Einblicke

Die moderne analytische Chemie hat in den letzten Jahren insbesondere im Bereich der Kopplungstechniken eine Vielzahl von Methoden entwickelt, die bei der Beantwortung biologischer oder medizinischer Fragestellungen wertvolle Erkenntnisse liefern. Diese Kopplungstechniken zeichnen sich dadurch aus, dass zwei ursprünglich unabhängige analytische Methoden in geeigneter Weise kombiniert werden, um

mehr Informationen über eine Probe zu erhalten. Die zu beantwortenden Fragen erwachsen oft aus der Verwendung nanoskaliger Systeme wie etwa speziellen Oberflächenbeschichtungen oder Nanopartikeln, die – gewollt oder auch ungewollt – in Kontakt mit Geweben kommen.

## Vom Laserschuss zum Bild

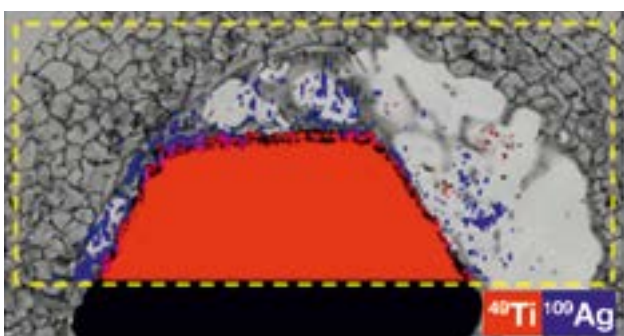
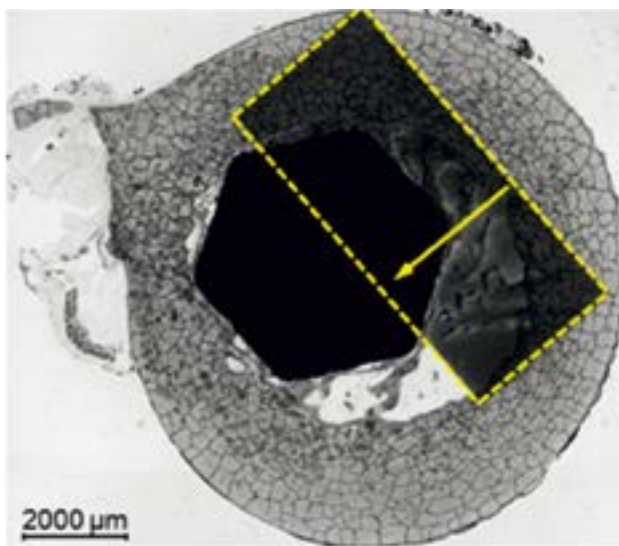
Die Kopplung eines Laserablationssystems (LA) mit der induktiv gekoppelten Plasma-Massenspektrometrie (ICP-MS), wie sie in der Arbeitsgruppe von Professor Uwe Karst am Institut für Anorganische und Analytische Chemie eingesetzt wird, bietet die Möglichkeit, viele Elemente – vor allem aber Metalle – in Gewebeschnitten im Spuren- und Ultraspurenbereich zu bestimmen. Sehr gute Nachweisgrenzen zeichnen die Laserablations-ICP-MS im Vergleich zu zahlreichen röntgenspektroskopischen Methoden aus. Bei dem hier eingesetzten Verfahren, in der Fachliteratur meist mit LA-ICP-MS abgekürzt, wird die Probe in einer Ablationskammer punktuell mit einem Laserstrahl beschossen. Kommerzielle Instrumente erlauben Spotgrößen zwischen vier und 200 Mikrometern.

Durch den Laserbeschuss wird das Probenmaterial abgetragen, in die Gasphase transferiert und von einem Argon- oder Heliumgasstrom in das induktiv gekoppelte Plasma gebracht, wo Temperaturen von mehreren Tausend Grad Celsius herrschen. Nach Atomisierung und Ionisierung gelangen die Elementen (zum Beispiel Silberionen oder Titanionen) in das Massenspektrometer, wo sie aufgrund ihres charakteristischen Verhältnisses von Masse zu Ladung getrennt und detektiert werden.

## Silber wandert ins Gewebe

Man erhält dadurch für jeden ablatierten Spot die zugehörige qualitative und quantitative Elementinformation. Die Probe wird Spot für Spot zeilenweise abgerastert. Nach Umwandlung des Signals mittels einer geeigneten Software erhält man ein Bild der Elementverteilung des Gewebeschnittes. Man spricht daher auch vom Elementbioimaging.

In Zusammenarbeit mit der Experimentellen Orthopädie des Universitätsklinikums Münster (Dr. Gregor Hausschild und Dr. Steffen Höll) wurde mit-



Oben: Implantat im Knochen. Der mittels LA-ICP-MS untersuchte Bereich ist gelb markiert. Der Pfeil zeigt die Richtung des Laserscans an. Unten: Überlagerte Elementverteilungen von Titan und Silber im ablatierten Bereich

tels LA-ICP-MS das Einwachsverhalten von Metallimplantaten auf Titanbasis in hartes und weiches Knochengewebe untersucht. Die Implantate waren mit nanopartikulärem Silber beschichtet, das aufgrund seiner bakteriziden Wirkung zur Verringerung der Infektionsrate beitragen soll. Die nebenstehende Abbildung zeigt, wie sich die Elemente Titan (Ti, rot), und Silber (Ag, blau) im umgebenden Knochengewebe verteilen. Silber konnte auf diese Weise bis zu einer Entfernung von 750 Mikrometern von der Implantatoberfläche detektiert werden.

Diese Untersuchungen erlauben es zu beurteilen, wie sich Silber im Gewebe verhält und ob durch eine eventuelle Mobilisierung des Silbers eine weitere Verteilung im Gesamtorganismus zu erwarten ist. Eine zentrale Aufgabe der analytischen Chemie ist dabei natürlich auch die Quantifizierung. Dies gelingt mit Hilfe matrixangepasster Standards, die für die jeweilige Probe jedoch stets entwickelt werden müssen.

### Aufnahme über die Atemwege

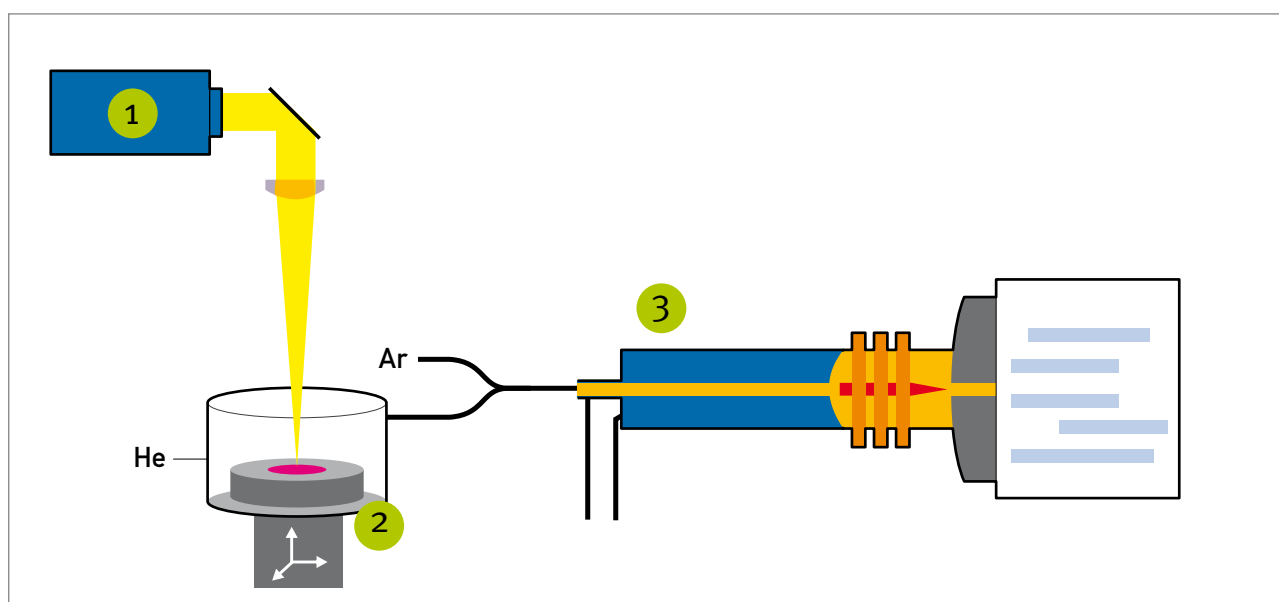
Nicht nur durch Implantate kann (nano)partikuläres Silber in den Organismus gelangen, sondern auch durch Inhalation, also die Aufnahme über die Atemwege. Man denke nur an die Verwendung von Silber in Körperpflegeprodukten wie Deospray. Da der Organismus solche Partikel als Fremdkörper behan-

### Prof. Dr. Uwe Karst

Institut für Anorganische und Analytische Chemie  
Westfälische Wilhelms-Universität Münster  
Corrensstraße 28, 48149 Münster  
Telefon: 0251/83-33141  
E-Mail: uk@uni-muenster.de

delt, ist es wichtig aufzuklären, in welcher Form sie nach dem Einatmen im Lungengewebe vorliegen. Hierzu wurde in der Arbeitsgruppe Karst eine Methode auf Basis der LA-ICP-MS entwickelt, die die quantitative orts aufgelöste Detektion von Einzelpartikeln in Geweben erlaubt. Mit Hilfe dieser sogenannten Einzelpartikel-LA-ICP-MS (SP-LA-ICP-MS; SP = Single Particle) lassen sich einzelne Nanopartikel in festen Proben mit guten Nachweisgrenzen bestimmen. Auch Aussagen über die Größenverteilung der Partikel lassen sich treffen.

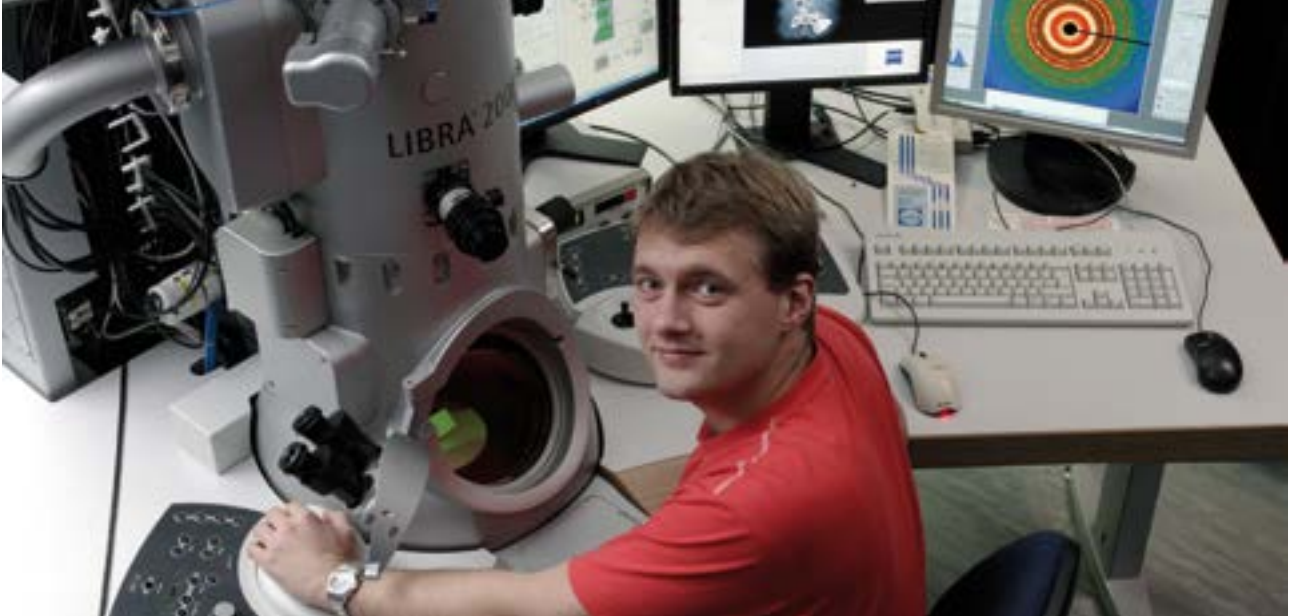
Beim Elementimaging hat der analytische Chemiker mit der LA-ICP-MS eine leistungsstarke Methode an der Hand, die zur Beantwortung vieler Fragen beiträgt. In Zukunft wird die Herausforderung darin liegen, die Ergebnisse dieser Methode mit anderen Imagingverfahren zu verknüpfen und die Auflösung der Systeme zu verbessern.



1 Laser, 2 Ablationszelle, 3 ICP-MS



# Auf ein Fünfmillionstel 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 in Abständen von einem fünfmillionstel Millimeter 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 hängen 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 bestimmt.

## 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

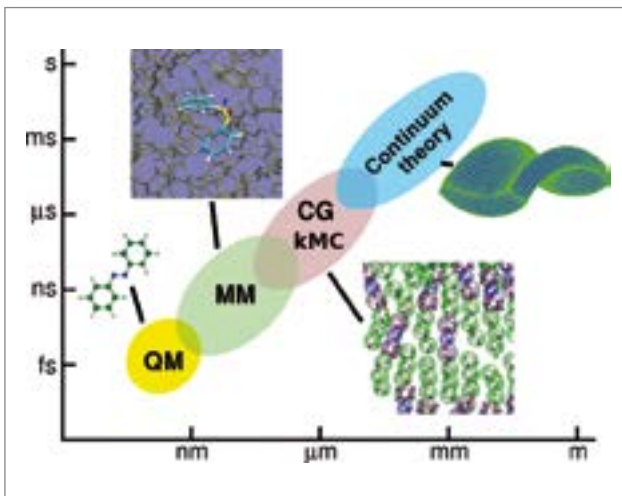
# Nanophysik im virtuellen Labor

Das Periodensystem als Baukasten:  
Computersimulationen helfen, experimentelle Befunde zu verstehen, und geben neue Impulse

Die physikalische Grundgleichung, welche die Bewegung von Atomkernen und Elektronen in Molekülen und kondensierter Materie beschreibt, ist schon seit den Anfängen der Quantenmechanik vor fast einhundert Jahren bekannt. Heute lässt sie sich mithilfe von Hochleistungsrechnern und modernen Computeralgorithmen für nanophysikalisch relevante Systeme mit guter Genauigkeit lösen. So können physikalische Eigenschaften im „virtuellen Labor“ vorhergesagt und neue Materialien entwickelt werden.

## Lichtsensitive Materialien

Ein Schwerpunkt der Arbeitsgruppe von Professor Doltsinis ist die Wechselwirkung von Licht und Materie. Hier gilt das Interesse beispielsweise Materialien, deren Eigenschaften sich mit Licht schalten lassen. Auch die Funktionsweise von neuartigen organischen Solarzellen soll im Detail verstanden werden, um so Hinweise für die Herstellung von Solarzellen mit verbessertem Wirkungsgrad zu erhalten.



Typische Längen- und Zeitskalen verschiedener theoretischer Methoden: quantenmechanische (QM), atomistische klassische (MM: engl. „Molecular Mechanics“), vergrößerte (CG: engl. „Coarse Grained“), kinetische Monte Carlo (kMC) und Kontinuumsverfahren



**Prof. Dr. Nikos Doltsinis**

Institut für Festkörpertheorie und  
Center for Multiscale Theory & Computation  
Westfälische Wilhelm-Universität Münster  
Wilhelm-Klemm-Straße 10, 48149 Münster  
Telefon: 0251/83-33582  
E-Mail: nikos.doltsinis@uni-muenster.de

Aufgrund des hohen mit ihnen verbundenen Rechenaufwands stoßen quantenmechanische Simulationen bei Prozessen mit großen Teilchenzahlen oder langen Zeitdauern an die Grenzen des Machbaren. Typischerweise bewegen sich die Modelldimensionen im Nanometerbereich und die beschriebenen Zeiträume auf der Pikosekundenskala.

## Hierarchien von Modellen

Eine der größten Herausforderungen der Forschung ist es, sogenannte Multiskalenmethoden zu entwickeln, mit denen sich Zeit- und Längenskalen bis hin zu realistischen makroskopischen Phänomenen überbrücken lassen. Die Forschungsgruppe Doltsinis entwickelt hierzu aufeinander aufbauende Hierarchien von vereinfachten, klassischen Modellen, deren gemeinsamer Ursprung in quantenmechanischen Referenzrechnungen liegt. Diese kommen unter anderem bei der Simulation von Flüssigkristallen und organischen Halbleitern zum Einsatz.

# Vom Windrad bis zur Windel

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.

Als rein privatwirtschaftliche Firma am Standort Münster bot die Firma OFG Analytik GmbH diesen anspruchsvollen Service im Jahre 1993 erstmalig der Industrie an und machte damit diese Hochtechnologie für die Wirtschaft nutzbar. Gegründet von zwei Entwicklern des ToF-SIMS Verfahrens und einem Chemiker greift die Firma und ihre Mitarbeiter auf mehr als 25 Jahre Erfahrung in der Entwicklung und im Einsatz nanoanalytischer Verfahren sowie bei der Optimierung bei industriellen Produktionsprozessen zurück.

Spezielle Nanobeschichtungen verbessern die Eigenschaften von Industrieprodukten in vielfacher Hinsicht. Mittlerweile dehnt sich ihr Einsatz auf fast alle Bereiche der Technik und der alltäglichen Gebrauchsgüter aus. Nanomaterialien verbessern die Kratzfestigkeit von Automobillacken, erhöhen die Wetterbeständigkeit von Textilien oder verbessern die Oberflächeneigenschaften von Rotoren.

## Hochempfindliche Methoden zum Nachweis

Sie finden in der Kosmetik ebenso ihren Einsatz wie bei Beschichtungssystemen. Diese Materialien und Oberflächen chemisch zu charakterisieren und beispielsweise aufzuklären, warum eine Nanoschicht versagt hat, ist ein wichtiges Aufgabenfeld für die Experten der OFG Analytik.

Nanoskalierte Lackadditive und Füllstoffe werden zunehmend in der Automobilindustrie aber auch zum Beispiel bei Fassadenfarben und Holzbeschichtungen eingesetzt. Ihr Nachweis, die chemische Charakterisierung und die Untersuchung ihrer Verteilung in mehrschichtigen Systemen erfordern



Mit hochempfindlicher Analytik wie dem TOF-SIMS Verfahren unterstützt die Firma OFG-Analytik GmbH die Industrie bei Forschung, Entwicklung und Fehleranalytik.



Metalloberfläche, die durch Nanobeschichtung hydrophob gemacht wurde.

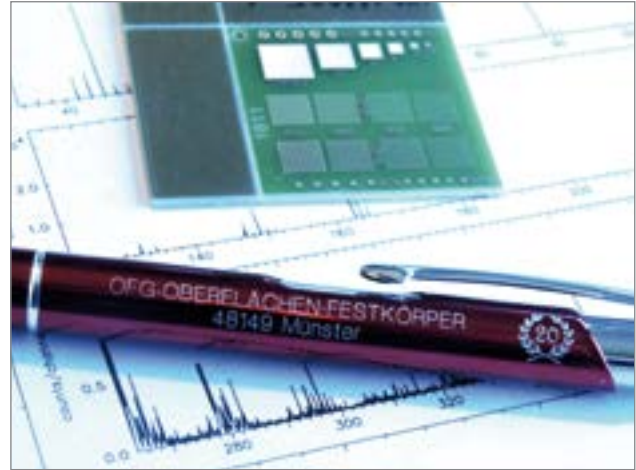


komplexe Verfahren. OFG Analytik stehen modernste Analyseverfahren wie ToF-SIMS, Feldemissions-Rasterelektronenmikroskopie und Infrarotmikroskopie zur Verfügung, um diese Aufgaben zu lösen. In Zusammenarbeit mit weltweit tätigen Herstellern wurden zudem Spezialmethoden entwickelt. Sie versetzen die Firma in die Lage, die Analysen auf dem höchsten Stand der Technik zu bearbeiten. Damit werden unter anderem solche Fragen geklärt:

- >> Warum kommt es zu Verfärbungen bei Regenrinnen?
- >> Warum versagt die Haftung eines Lackes?
- >> Warum treten Bedruckungsfehler bei Shampooflaschen auf?
- >> Wann kommt es zu Agglomeratbildung bei nanoskalierten Pigmenten?

### Vielseitige Anwendungen

Die Erforschung und der Einsatz von Nanoschichten eröffnet vielseitige Anwendungen, wie zum Bei-



spiel zur Effizienzsteigerung von Solarzellen und Windkraftanlagen oder beim Korrosionsschutz für Fassadenplatten und zur Verbesserung der Kratzfestigkeit von Lacken. 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 zur Untersuchung von Problemstellungen zurück.

Neben der Laboranalytik schließt der Service der OFG Analytik GmbH bei Bedarf die fachgerechte Probenahme, die Beratung am Telefon und vor Ort, Recherchen und Seminare ein. Aus der Erfahrung von mehr als zwanzig Jahren Geschäftstätigkeit im Bereich der Oberflächen- und Materialanalytik steht eine umfangreiche Wissensdatenbank zur Verfügung, um auch hochkomplexe Fragestellungen schnell und fachlich fundiert zu bearbeiten. Das reicht von der Expressanalyse im Falle von Produktionsstillständen bis hin zu mehrmonatigen Entwicklungsprojekten.



Die Eigenschaften von Lackoberflächen werden durch Nanoadditive gezielt eingestellt.

**Dr. Roger Dietrich**

OFG Analytik GmbH

Mendelstraße 11, 48149 Münster

Telefon: 0251/980-1206

E-Mail: [dietrich@ofg-analytik.de](mailto:dietrich@ofg-analytik.de)



### Rasterelektronenmikroskopische (REM) Abbildung eines Opals

### Neues 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 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.

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.

### Computergesteuerte Analyse

Die Messzelle des cellZscope verbleibt während der gesamten Untersuchung im Inkubator. Die simultane Analyse von bis zu 24 Zellkulturen erfolgt computergesteuert auch über längere Zeiträume von mehreren 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: [www.nanoanalytics.de](http://www.nanoanalytics.de).



Das cellZscope ist ein Messgerät zur Charakterisierung barrierebildender Zellen. Es ist ideal dafür geeignet den Einfluss von Wirkstoffen oder Toxinen auf die Barriere von Epithel- oder Endothelzellen unter physiologischen Bedingungen zu untersuchen.

#### Dr. Andreas Schäfer

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

# Ein Speziallabor für molekulare Biomedizin

Die Firma arrows biomedical bietet vielfältigen Service in der molekularen Onkologie, der Humangenetik 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 Akkreditierung (DAkkS) der Bereiche Molekularpathologie, Humangenetik und Biobanking für spezielle Anforderungen in Forschung und Entwicklung sowie dem klinischen Routinelabor. Arrows biomedical führt neben der Auftragsforschung, klinische Routineanalytik auch 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 (DNA / RNA) und daraus abgeleiteten Proteinen (RNS), Microarrays (GenExpression, mRNA miRNA, Array-CGH, ChIP on Chip), PCR (RT-qPCR) und Bioinformatik. In der medizinischen Diagnostik umfasst die

**Dr. Arnold M. Raem**  
**PD Dr. med. Frank Henschke, FA für Pathologie,**  
**Paderborn**

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

Routineanalytik alle klinisch relevanten Biomarker und die komplette Blutanalytik, die Durchflusszytometrie, HPLC-Analytik, Diagnostik-Microarrays, den Nachweis von freizirkulierenden Tumorzellen und Chemosensitivitätstestungen. Ebenso verfügen wir über alle relevanten Sequenziermethoden (Sanger, Pyro- und NGS). Wir verfügen über ein breites Spektrum der Mikroskopietechnologie (inklusive Meta-Systems-Software). Auch Zellkulturanwendungen kommen in unserem Labor zur Anwendung.

## 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 Guericke“ 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 Fachjournals und Büchern zur Tätigkeit des Unternehmens. Sein Erfolg liegt in der maximalen Zufriedenheit der Kunden.

Wir sind eine anerkannte Weiterbildungsstätte für Fachhumangenetikerinnen und Fachhumangenetiker. Ebenso sind wir ständiger Kooperationspartner des Instituts für Pathologie am Trinity College im irischen Dublin.





# Ultrakurze Messungen mit starken Lasern

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

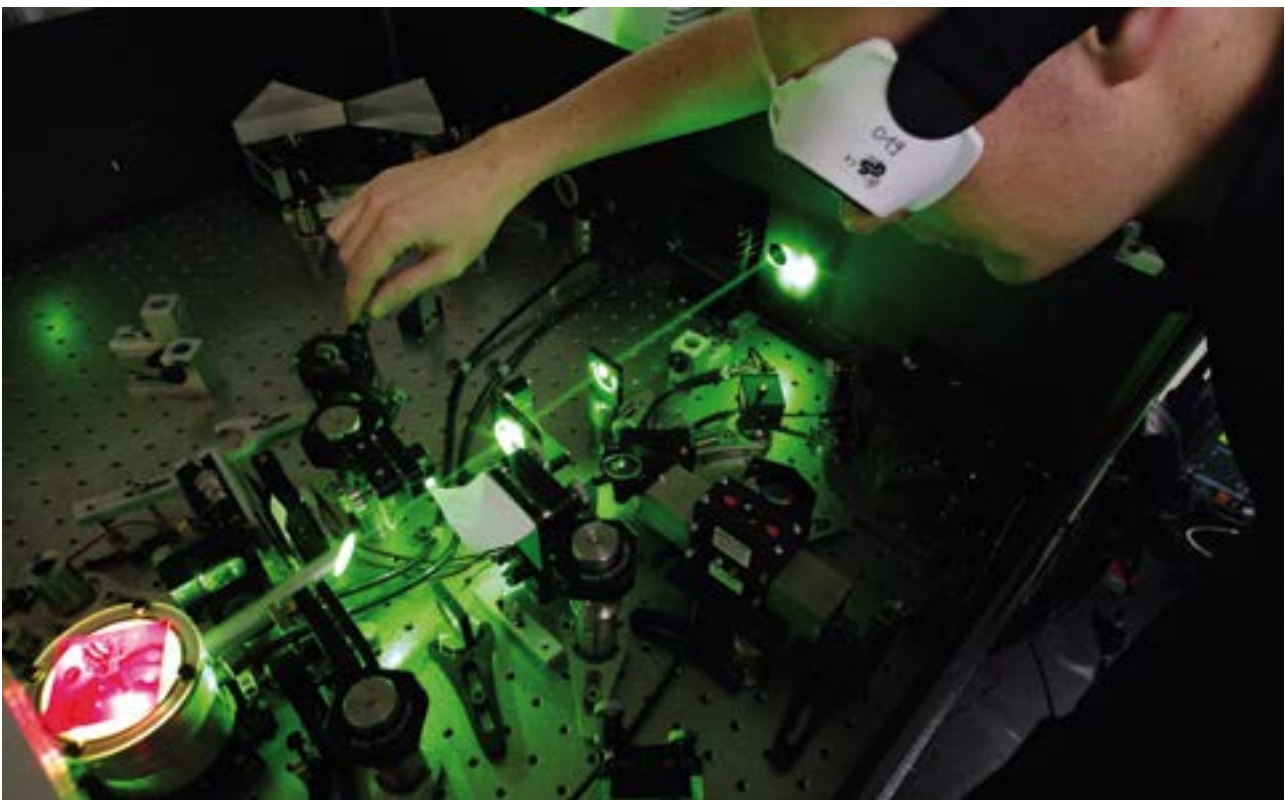
Ein zentrales Charakteristikum von Nanostrukturen ist, dass sich ihre Eigenschaften deutlich von Volumenmaterialien unterscheiden. Neben veränderten optischen Eigenschaften ist insbesondere ihre Wechselwirkung mit der Umgebung verschieden. Ihre katalytische Reaktivität und Effizienz ist meistens erhöht, 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 einige zehn Femtosekunden dauern. Zunächst

mussten solche Laser erst einmal gebaut werden, denn die kommerziell 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 Billionstel Teile einer Sekunde.

Neben dem roten Frequenzbereich gewinnt man wichtige Informationen aber auch, in dem man extremes Ultraviolett oder Röntgenstrahlen einsetzt.



Die Lasertechnik verschafft den Forschern neue Werkzeuge für ihre Experimente.

Daher liegt seit langem ein Schwerpunkt auf der 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. Für die Untersuchung der Dynamik von gebunden und ungebundenen Elektronen werden Lichtenergien im extremen Ultraviolett mit Wellenlängen zwischen zehn und 100 Nanometern benötigt.

### Millionen Gigawatt gebündelt

Erreicht die Strahlungsleistung aus dem Laser Millionen Gigawatt pro Quadratzentimeter, kann man in gasförmigen Targets durch einen Frequenzvervielfachungsprozess solche Strahlung, sogenannte Hohe Harmonische, erzeugen. Bisher wurden hierfür im allgemeinen Edelgase eingesetzt. Besonders interessant sind aber auch Metaldämpfe, da man hierbei Resonanzen ausnutzen kann, um deutlich höhere Intensitäten zu erhalten. Die Wissenschaftler der Arbeitsgruppe von Professor Zacharias benutzen einen Laserpuls, um Metalle aus einem festen Target zu verdampfen.

Ein zweiter, synchronisierter und besonders intensiver Laserpuls erzeugt in diesem Metaldampf dann sogenannte Hohe Harmonische. Dieses neuartige Verfahren führte schon bei Kohlenstoff, Aluminium, Kupfer, Silber, Zink, Zinn und Indium zu intensiver Strahlung im extremen Ultraviolett. Ebenso gelang es, in Nanopartikeln solche Strahlung zu erzeugen. Bei Zinn

und Indium konnten schon erhöhte Ausbeuten in der Nähe von Resonanzen beobachtet werden. Ein Ziel der gegenwärtigen Forschung ist es, diese Erzeugungsprozesse besser zu verstehen und zu optimieren, damit die erzeugte Strahlung für die Untersuchung der elektronischen Dynamik eingesetzt werden kann. Hierzu gehört es, durch Tricks das normale zeitliche Auseinanderlaufen des erzeugenden Pulses und der erzeugten Hohen Harmonischen zu verhindern. Über die Volkswagen Stiftung wird hierbei die Zusammenarbeit mit usbekischen Wissenschaftlern unterstützt.

### 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. Hierbei stehen derzeit Photoelektronen aus den Valenzbändern im Vordergrund. Damit ist es möglich, elektronische Eigenschaften von Nanostrukturen mit einer lateralen Auflösung von bis zu zehn Nanometern zu gewinnen.

Schließlich untersuchen die Forscher mittels zeitlich korrelierter Doppelpulse auch die Dynamik der molekularen Desorption von speziell präparierten Schichtsystemen, derzeit Wasserstoff auf Graphit, Graphene und Graphene-Nanostreifen mit einer Breite von nur 0,74 Nanometern. 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.

## Enormer Fortschritt bei den Geräten

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.

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 klei-

ner 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

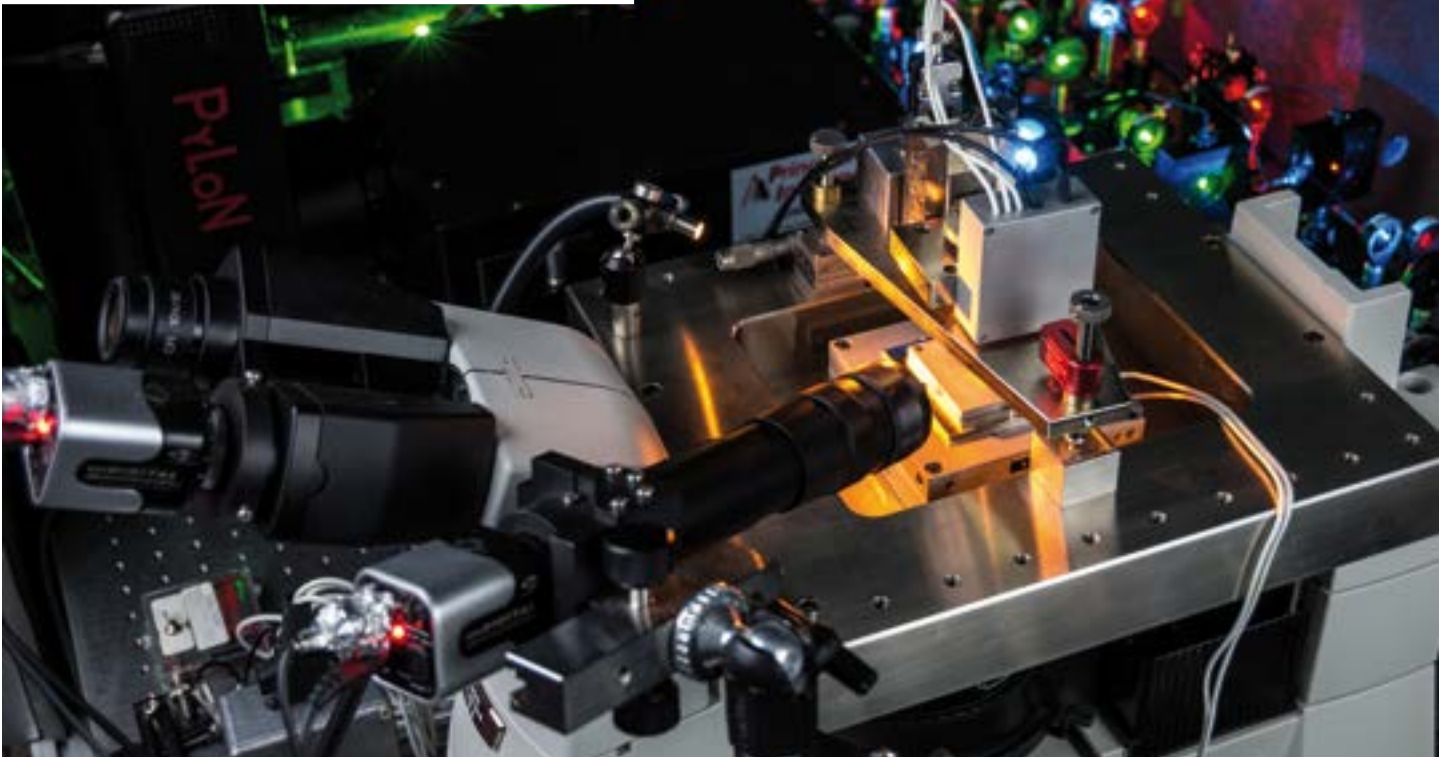
Deshalb greifen die Forscher zu einem Kniff, den man aus der drahtlosen Kommunikation kennt. Dort nutzt man Antennen, um frei propagierende elektromagnetische Felder von Radiofrequenzen und Mikrowellen in einem Raum mit metallischen Leitern zu koppeln. Ein Beispiel aus dem Alltag sind Mobiltelefone, 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 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.

Im einfachsten Fall besteht eine optische Antenne dann aus einem einzigen, nur vierzig bis achtzig Nanometer großen Goldkügelchen. 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](mailto:christiane.hoepfener@uni-muenster.de)



# Ultraschnelle Quantendynamik in Nanostrukturen

Immer kleinere Halbleiterstrukturen und schnellere Schaltprozesse erlauben neue Bauteile für die Informationsverarbeitung

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, eröffnen 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 bestimmte Werte annehmen. Man spricht deshalb auch von künstlichen Atomen. Im Unterschied zu

## Professor Dr. Tilmann Kuhn

Institut für Festkörpertheorie

Westfälische Wilhelms-Universität

Wilhelm-Klemm-Str. 10, 48149 Münster

Telefon: 0251/83-36312

E-Mail: [tilmann.kuhn@uni-muenster.de](mailto:tilmann.kuhn@uni-muenster.de)

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.

## Der Spin eines Mangan-Atoms

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

So können durch Anregung 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.

Kürzlich ist es verschiedenen experimentellen Arbeitsgruppen gelungen, in einen einzelnen Quantenpunkt ein einzelnes magnetisches Atom, zum Beispiel ein Mangan-Atom, einzubringen. Dies ist sehr interessant, da der Spin dieses magnetischen

Atoms als Datenspeicher im Rahmen der Quanteninformationstheorie genutzt werden könnte. Im Unterschied zum Spin eines Elektrons, der nur zwei mögliche Werte annehmen kann, hat der Spin eines 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 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Arbeitsgruppe um Professor Kuhn konnten Schaltprotokolle entwickeln, mit denen auf

einer Zeitskala von einigen zehn Pikosekunden der Spin des Mangan-Atoms in jeden der sechs möglichen Zustände gebracht werden kann.

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.



Teamberatung bei Professor Tilmann Kuhn (Zweiter von rechts)

