



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



# Nachwuchs für die Nanotechnologie

Erfolgsgeschichten aus dem Förderwettbewerb NanoFutur



## **Impressum**

### **Herausgeber**

Bundesministerium  
für Bildung und Forschung (BMBF)  
Referat Nanomaterialien, Neue Werkstoffe  
53170 Bonn

### **Bestellungen**

schriftlich an den Herausgeber  
Postfach 30 02 35  
53182 Bonn  
oder per  
Tel.: 01805 – 262 302  
Fax: 01805 – 262 303  
(0,14 Euro/Min. aus dem deutschen Festnetz)  
E-Mail: [books@bmbf.bund.de](mailto:books@bmbf.bund.de)  
Internet: <http://www.bmbf.de>

### **Koordination**

Projekträger Jülich  
Forschungszentrum Jülich GmbH  
Dr. Hans-Jörg Clar

### **Redaktion und Gestaltung**

SeitenPlan GmbH – Agentur für Corporate Publishing, Dortmund

### **Druckerei**

Druckerei Schmidt, Lünen

Bonn, Berlin 2009

Gedruckt auf Recyclingpapier

### **Bildnachweis**

Kathrin Burghardt (S. 40-43), Hans-Jürgen Landes (S. 10-13, 16-19, 22-25, 28-31),  
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. Köln (Titelbild)

Ohne die Mitwirkung der in dieser Broschüre erwähnten Wissenschaftler wäre die Erstellung dieser Publikation nicht möglich gewesen. Für ihre bereitwillige Unterstützung sei ihnen ganz herzlich gedankt.



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



# Nachwuchs für die Nanotechnologie

**Erfolgsgeschichten aus dem Förderwettbewerb NanoFutur**



# Vorwort



Die Nano- und Werkstofftechnologien sind ein junges und expandierendes Forschungs- und Technologiefeld. Qualifizierte Fachkräfte werden dringend gesucht. Um hochqualifizierte junge Forscher in den Nano- und Werkstofftechnologien zu fördern, hat das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) den Wettbewerb NanoFutur ins Leben gerufen. Mit diesem Wettbewerb schafft das BMBF Freiräume für Nachwuchstalente, damit sie ihre Ideen besser umsetzen, neue Lösungswege mutig beschreiten und das Anwendungspotenzial ihrer Forschung nach allen Seiten hin ausloten können.

Nano- und Werkstofftechnologien sind Innovationstreiber; sie sind der Grundstein für neue Produkte in fast allen wichtigen Branchen und damit maßgeblicher Standortfaktor. Umso größer ist die Bedeutung hoch qualifizierter Nachwuchswissenschaftler. Sie brauchen beste Rahmenbedingungen und Perspektiven für die Zukunft. Deshalb fördert das BMBF in NanoFutur 29 Nachwuchsgruppen in der Nanotechnologie mit insgesamt 42 Millionen Euro. Dabei reicht die thematische Bandbreite von der Nanobiotechnologie bis zum Quantencomputer.

Die Nachwuchsgruppen bieten jungen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler exzellente Bedingungen, um sich sowohl für eine akademische Karriere als auch für eine industrielle Tätigkeit zu qualifizieren. Für einige Wissenschaftler waren sie auch das Sprungbrett in die Selbständigkeit: Inzwischen wurden drei Unternehmen aus den Nachwuchsgruppen heraus gegründet, ein vierte Gründung ist in Vorbereitung.

Diese Broschüre stellt die Erfolgsgeschichten der vom BMBF geförderten Nachwuchswissenschaftler und ihre Teams vor. Lernen Sie engagierte junge Menschen kennen, die ihre Wissenschaft mit Herzblut betreiben, die aber nicht vergessen, dass Leben mehr ist als Computer, Pipette oder optische Bank, und die deshalb bei ihrer leidenschaftlichen Forschungsarbeit immer auch die Anwendung und den gesellschaftlichen Nutzen ihrer Arbeiten im Blick behalten.

A handwritten signature in black ink, which reads "Annette Schavan". The signature is written in a cursive, flowing style.

Prof. Dr. Annette Schavan, MdB  
Bundesministerin für Bildung und Forschung



# Inhalt

<b>Einleitung: Exzellente Köpfe für Deutschland</b>	<b>8</b>
<b>Erfolgsgeschichten</b>	
<b>Wertvolle Fracht auf zielgenauer Reise: Prof. Dr. Rainer Haag</b>	<b>10</b>
<b>Kurzporträts</b>	<b>14</b>
<b>Ewiges Leben für Zellen: Prof. Dr. Heiko Zimmermann</b>	<b>16</b>
<b>Kurzporträts</b>	<b>20</b>
<b>Den Dingen bis zum Kern folgen: Dr. Heidemarie Schmidt</b>	<b>22</b>
<b>Kurzporträts</b>	<b>26</b>
<b>Wenn Atome ihre kalte Schulter zeigen: Prof. Dr. József Fortágh</b>	<b>28</b>
<b>Kurzporträts</b>	<b>32</b>
<b>Auf der Spur nach dem Licht der Zukunft: Prof. Dr. Martina Gerken</b>	<b>34</b>
<b>Kurzporträts</b>	<b>38</b>
<b>Mehr Speicher auf weniger Raum: Prof. Dr. Marc Tornow</b>	<b>40</b>
<b>Kontakte</b>	<b>44</b>

# Exzellente Köpfe für Deutschland

## Wettbewerb NanoFutur: Erfolge der BMBF-Nachwuchsförderung in der Nanotechnologie zeigen das Potenzial für die Zukunft.

Sie sind Nachwuchsforscher und viele von ihnen haben bereits das Potenzial, Wissenschaftsgeschichte zu schreiben. In der Nanotechnologie haben sich in den vergangenen Jahren zahlreiche junge Wissenschaftler mit beeindruckenden Ideen hervorgetan. Junge Menschen, mutig, fleißig, neugierig und immer auf der Suche nach Lösungen für Probleme des Alltags.

Wie lässt sich Licht energiearm und effektiv produzieren? Welche Möglichkeit gibt es, Medikamente gezielt an den Ort im Körper zu bringen, wo sie wirken sollen? Wie kann mehr Speicherplatz auf noch weniger Raum verwirklicht werden? Das sind nur einige Fragen, mit denen sich die Nachwuchsforscher unter Anwendung der Nanotechnologie beschäftigen. Die Antworten haben einen immensen Wert für den Fortschritt und die Innovationsfähigkeit einer Gesellschaft – und deshalb unterstützt die Bundesregierung die Wissenschaftler durch einen speziellen Wettbewerb: NanoFutur. Die ausgewählten Forscher erhalten Geld, Mitarbeiter und Laborplätze, um in Ruhe an ihren Ideen zu arbeiten. Wie sie ihre Zukunftsvisionen verwirklichen, welche spannenden Felder der Nanotechnologie sie dafür nutzen und welche Ziele sie verfolgen, dokumentiert diese Broschüre. In Kurzporträts, Reportagen und Interviews werden die Nachwuchstalente vorgestellt.



Das Logo des Nachwuchswettbewerbs NanoFutur.

Die Nanotechnologie, also der vielseitige Einsatz von kleinsten Partikeln, bietet für Industrie und Wissenschaft großes Potenzial. Ein Nanometer ist der Millionste Teil eines Millimeters. Zum Vergleich: Der Durchmesser eines menschlichen Haares ist 50.000-mal größer. Die Anwendungsmöglichkeiten dieser Technologie sind enorm, denn Nanostrukturen können die Eigenschaften vieler Materialien verbessern. Doch die innovative Technologie muss auch genutzt und weiterentwickelt werden. Deshalb sind junge, hoch qualifizierte Wissenschaftler auf diesem Gebiet weltweit sehr gefragt. Auch Deutschland sucht eifrig die Forschungstalente von morgen. Deshalb hat das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Jahr 2002 den Nachwuchswettbewerb NanoFutur ins Leben gerufen. Auf diesem Wege will das Ministerium exzellente junge Forscher finden und fördern. Durch die großzügige Unterstützung des BMBF haben die Wissenschaftler Planungssicherheit für mindestens fünf Jahre.

### Innovative Ansätze

Das Ministerium stellte seit der ersten Wettbewerbsrunde 2002 insgesamt 42 Millionen Euro zur Verfügung. Durchschnittlich erhielt jeder der bisher 29 geförderten Wissenschaftler 1,5 Millionen Euro Fördermittel. Beworben hatten sich insgesamt 115 Forscher mit ihren Ideen. Ein Gutachtergremium wählte Nachwuchswissenschaftler aus, deren Forschungsansatz besonders innovativ und deren Qualifikation besonders aussagekräftig ist.

Und tatsächlich finden sich in der gesamten Bundesrepublik wahre Wissenschaftstalente, die sich in kürzester Zeit einen Namen in der Nanotechnologie machen konnten. Die, die gewonnen haben, forschen auf sehr unterschiedlichen Gebieten. Sie nutzen die Optik, die Elektrotechnik, die Medizin, die Biotechnologie, die Nanochemie oder die Atomphysik, um ihre Ziele zu verwirklichen. Bei vielen dieser Forscher zeigte sich schon in der Schule ein starkes Interesse für naturwissenschaftliche Themen. Oft stand dahinter ein ausgeprägter Sinn für pragmatische Lösungen alltäglicher Probleme. Eine Wissenschaftlerin berichtet, wie sehr es sie faszinierte, als sie bei einem Gastaufenthalt in den USA ihren Gastvater dabei beobachten konnte, wie er ein

technisches System entwickelte, das Etiketten gerade auf Flaschen aufkleben kann. Ein Großteil der geförderten Wissenschaftler hat in beeindruckend kurzer Zeit Karriere in der Wissenschaft gemacht. In nicht unerheblichem Maße hat dazu die Förderung durch das BMBF beigetragen.

### Forschungspartner von morgen

Mit NanoFutur sollen die Forscher in die Lage versetzt werden, an einer deutschen Forschungseinrichtung eine Arbeitsgruppe aufzubauen. Dafür stellt das aufnehmende Gastinstitut seine gute Infrastruktur mit Arbeitsplatz zur Verfügung. Je nach Höhe der Förderung können die Forscher bis zu zwei Postdoktoranden, Doktoranden und Techniker einstellen. Die Nachwuchsgruppen arbeiten oft interdisziplinär. Der Austausch zwischen den Fachrichtungen ist gewollt und Teil der Wettbewerbsbedingungen.

Viele Forschungsgruppen haben einen Partner aus der Industrie, der bereit ist, die Erfindungen auf den Markt zu bringen. Andere lassen ihre Innovationen mit dem Ziel der Lizenzvergabe patentieren. Darüber hinaus nutzen viele ihre Ergebnisse, um ein kleines Unternehmen zu gründen. Bisher sind drei Start-up-Unternehmen entstanden.

NanoFutur, das heißt auch: eine breite Vernetzung und ein reger Erfahrungsaustausch unter den Wissenschaftlern. Die erfahrenen Teilnehmer stehen den neuen mit Rat und Tat zur Seite. Mehrmals gab es schon Netzwerktreffen, bei denen die Nachwuchsforscher Erfahrungen, aber auch Forschungsergebnisse austauschen konnten. Dieser Austausch ist wichtig. Denn die Nachwuchswissenschaftler müssen als Leiter eines Forschungsteams viel Neues auf einmal bewältigen. Sie müssen bewerten, organisieren, kommunizieren, Personal führen und nicht zuletzt Fachartikel schreiben – die Zeit im Labor, am Mikroskop, mit der Pipette wird dadurch knapper. Um die zusätzlichen Kompetenzen zu trainieren, nehmen die Forscher regelmäßig an Weiterbildungen teil. Dort lernen sie, wie ein Projekt zu leiten ist, wie man Förderanträge schreibt, wie man als Wissenschaftler in und mit der Öffentlichkeit kommuniziert.

Regelmäßig kooperieren die Forscher auch mit Kollegen aus dem Ausland, fahren zu Fach-

kongressen, halten Vorträge. Als Nachwuchswissenschaftler in der Nanotechnologie sind sie gefragte Gesprächspartner. Denn sie zeigen eindrucksvoll, dass sie nicht nur Grundlagen erforschen, sondern auch die Anwendungsmöglichkeiten ihrer Erfindungen im Blick haben. Dadurch sind sie für die Industrie wichtige Forschungspartner von morgen, ihre Ideen können zu Innovationen werden.

Über die Nachwuchsförderung und speziell zu NanoFutur informieren die Internetseiten des BMBF ([www.bmbf.de](http://www.bmbf.de)) und die Webseite von NanoFutur ([www.nanofutur.de](http://www.nanofutur.de)).

### Kontakt

#### Ansprechpartner

Projekträger Jülich – Geschäftsbereich NMT  
Forschungszentrum Jülich GmbH  
Dr. Hans-Jörg Clar  
52425 Jülich

Telefon: 02461 – 61-2621  
Telefax: 02461 – 61-2398  
E-Mail: [ptj-nanofutur@fz-juelich.de](mailto:ptj-nanofutur@fz-juelich.de)

Die Webseite von NanoFutur listet alle geförderten Preisträger des Wettbewerbs auf, unter anderem mit Links zu den eigenen Internetseiten der Arbeitsgruppen:

[www.nanofutur.de](http://www.nanofutur.de)



## Wertvolle Fracht auf zielgenauer Reise

**Rainer Haag (40 Jahre) schickt medizinische Wirkstoffe auf zielgenaue Reisen durch den Körper. Dafür nutzt er makromolekulare Trägersysteme, die jede noch so empfindliche Fracht aufnehmen und sie genau dort abladen, wo sie hin soll – zum Beispiel in einem Tumor.**

Der Schreibtisch in Raum 34.11 im Institut für Chemie und Biochemie der Freien Universität Berlin ist von ungeordneten Papierstapeln überlagert. „Ich verbringe heute sehr viel mehr Zeit am Schreibtisch als im Labor“, sagt Prof. Dr. Rainer Haag. Mit Suchen in Papierstapeln aber hält sich der Forscher nicht lange auf. Rainer Haag ist ein Mann, der findet – und der medizinischen Wirkstoffen das Finden beibringt. „Wir entwickeln makromolekulare Trägersysteme“, sagt Rainer Haag. „Wir nennen sie Nanocarrier.“

Wie fast jede komplexe Forschung lässt sich die Grundidee der Nanocarrier recht simpel formulieren. Man verkapselt einen medizinischen Wirkstoff in Hüllen und verabreicht die Minikonstrukte per Spritze einem Patienten. Die Kapseln finden ihren Weg zu Entzündungen oder auch Tumoren. Sind sie dort angekommen, löst sich die Hülle auf und der Wirkstoff wird freigesetzt. Das Verkapseln ermöglicht eine breite Palette von Anwendungen und bringt eine ganze Reihe von Vorteilen mit sich. Der vielleicht wichtigste: Das Vermeiden von Nebenwirkungen. Wird Medizin wie heute üblich per Spritze verabreicht oder auch oral eingenommen, verbreitet sich der Wirkstoff weitgehend unkontrolliert und wirkt dann mitunter auch dort, wo er gar nicht wirken soll. Vor allem bei Medikamenten der Tumormedizin, den Zytostatika, ist das ein Problem, denn die sind für gesundes Gewebe hochgiftig. Ein Trägersystem, das den Wirkstoff ganz gezielt in einen Tumor bringt, könnte Schäden an gesundem Gewebe vermeiden.

„Generell ist das molekulare Verkapseln von Wirkstoffen auf Nanoebene ein neuer Ansatz“, sagt Haag. Zwar existieren bereits solche Träger-

systeme, doch die weisen Nachteile auf. „Trägersysteme etwa auf Basis von Liposomen zeigen oft nur eine begrenzte Stabilität“, erläutert er. Vor allem aber könne man nicht beliebige Wirkstoffe transportieren. Die nämlich müssen gelöst werden, um überhaupt zu wirken. Einige Zytostatika sind nur in Fett löslich, andere nur in wässriger Umgebung. Je nach ihrer Löslichkeit werden Zytostatika heute in entsprechende Träger eingebracht – was zur Folge hat, dass jedes einzelne Konstrukt aus Transporter und Wirkstoff jeweils neue Tests durchlaufen und für den Markt neu zugelassen werden muss. Das dauert Jahre. Der Ansatz von Rainer Haags Arbeitsgruppe: Ein makromolekularer Transporter auf Nanoebene, der stabil ist und vor allem auch für beliebige medizinische Wirkstoffe universell eingesetzt werden kann.

### Kenner makromolekularer Konstrukte

Schon in früheren Forschungen hatte sich der Chemiker mit makromolekularen Konstrukten auseinandergesetzt. Studiert hat Rainer Haag in Darmstadt, Göttingen und im belgischen Gent. Danach ging er als Postdoktorand für jeweils ein Jahr an die Universitäten Cambridge in England und Harvard in den USA. Habilitiert hat sich Rainer Haag dann an der Universität in Freiburg, der Wiege der Polymerchemie in Deutschland. „Wir haben damals hochverzweigte Dendrimere auf Basis von Glycerin hergestellt. Diese Strukturen ähneln mit ihren Verzweigungen kleinen Bäumchen“, sagt Haag. „Das Schöne ist, dass man in diese Verzweigungen Gastmoleküle einbringen und sie transportieren kann, zum Beispiel eben medizinische Wirkstoffe. Außerdem lässt sich der Baum mit einer Schale versehen, einer Art Blätterdach, unter dem die Gastmoleküle versteckt sind. Das Verstecken ist besonders für solche Wirkstoffe interessant, die anderes Gewebe schädigen können.“

Mit dieser Expertise im Rücken bewarb sich Rainer Haag gemeinsam mit dem Freiburger Tumorbio-ologen Felix Kratz im Jahr 2003 um die Förderung des BMBF. Damals führte ihn der erste Ruf in eine Professur nach Dortmund, 2004 wechselte er mitsamt der Nachwuchsgruppe nach Berlin. „Wir wollten in der Nachwuchsgruppe auf Basis der von uns entwickelten Makromoleküle drei Anwendungsgebiete erschließen: Als Erstes das sogenannte Tumortargeting, bei dem Medikamente kontrolliert in Tumoren freigesetzt werden; das

zweite Ziel war eine diagnostische Anwendung. Dabei verkapseln wir zum Beispiel einen fluoreszierenden Farbstoff, bringen ihn ins Tumorgewebe, wodurch der Tumor unter Infraroteinstrahlung von außen sichtbar wird. Als Drittes wollten wir mit denselben Transportern Metallpartikel auf Nanoebene verkapseln, die zum Beispiel antibakteriell wirken“, erklärt Haag. Letzteres könnte ebenfalls Anwendungen für die Medizin ergeben, aber auch für ein ganz alltägliches Produkt wie ein Putzmittel nützlich sein.

Das hauptsächliche Problem sei gewesen, in einem Träger sowohl wasserlösliche als auch fettlösliche Wirkstoffe transportieren zu können. Als Lösung erdachte Rainer Haag mit der Nachwuchsgruppe einen Multischalentransporter auf Basis eines einzelnen Makromoleküls. „Wir dachten, dass es möglich sein muss, eine verzweigte Struktur herzustellen, die sowohl über eine fettlösliche als auch über eine wasserlösliche Schicht verfügt.“ Tatsächlich gelang der Aufbau der Molekülstruktur. In mehreren Tests wurde die Vielseitigkeit nachgewiesen. „Dafür haben wir wohl die meisten Lorbeeren geerntet“, so Haag mit Stolz. Die Ergebnisse bedeuteten einen Durchbruch, den die renommierte Fachzeitschrift „Angewandte Chemie“ ausführlich würdigte.

### Passgenaue Nanocarrier

Doch damit nicht genug: In Tierversuchen haben die Forscher nachgewiesen, dass die mit den Wirkstoffen beladenen Transporter zum großen Teil auch dort ankommen, wo sie hin sollen. Der Grund hierfür liegt in der Nanotechnologie. „Ist Körpergewebe von einem Tumor oder auch von einer Entzündung befallen, zeigt das Zellgewebe eine löchrige Struktur“, erläutert Haag. „Es entstehen Löcher, die bis zu einem Mikrometer groß sind. Das entspricht einem Tausendstel Millimeter. Biologisch gesehen ist das riesig. Die kleinen Partikel herkömmlicher Wirkstoffe gehen da hindurch, sie dringen aber auch in gesundes Gewebe ein. Unsere Nanocarrier dagegen, die wir in der Größe genau einstellen können, passen nur durch die Löcher des Tumorgewebes. In das umliegende Gewebe gehen sie nicht hinein.“

Mit Tests an Mäusen hat Rainer Haags Forschergruppe diese Selektivität erprobt und nachgewiesen. Dazu wurde in die Nanocarrier ein Farbstoff



In den Nanotransportern werden auch Farbstoffe verkapselt zur Anwendung in der Tumordiagnostik.

eingbracht, der bei Bestrahlung mit Rotlicht von außen sichtbar wird. Der Farbstoff wird auch heute schon in der Krebsdiagnostik eingesetzt, allerdings wird er dann per Spritze verabreicht und verteilt sich im Körper gänzlich anders. „Bei unseren Tests sammelte sich der überwiegende Teil des Farbstoffs im Tumorgewebe an. Das erreichen heute nicht viele andere Systeme“, so Haag. Im Endeffekt könnten Tumore eindeutiger lokalisiert und auch in ihrer Größe genauer bestimmt werden.

Ein anderer Effekt der Selektivität ergibt sich für die Dosierung von Wirkstoffen. Weil sich die Nanocarrier bevorzugt im Tumorgewebe anreichern, könnten Zytostatika in weit höheren Dosen verabreicht werden, als es heute möglich ist. „Es hakt aber noch etwas an der Freisetzung der Wirkstoffe“, schränkt Rainer Haag ein – anders gesagt: Nicht alle Nanocarrier entladen ihre

Fracht. Damit die Carrier den Wirkstoff überhaupt freisetzen, müssen ihrer Schalen geknackt werden. Das passiert über den pH-Wert. „Der physiologische pH-Wert des Blutes liegt bei 7,4“, so Haag. „Bei diesem pH-Wert sind die Nanocarrier stabil. Tumorgewebe dagegen weist oftmals einen niedrigeren pH-Wert von 6 oder 5 auf, ist also sauer. In diesem sauren Milieu soll die Hülle der Nanocarrier gespalten werden“, erläutert Haag. „Woran wir also jetzt arbeiten, sind universelle Nanocarrier, die bei diesen abgesenkten pH-Werten im Tumorgewebe einen Wirkstoff freisetzen.“ Erste Tests haben ergeben, dass die Hüllen der Nanocarrier bei einem pH-Wert von 5 ihre gesamte Fracht innerhalb einer Stunde freisetzen. Bis zu konkreten Anwendungen für die Diagnostik und das Tumortargeting ist es noch ein gutes Stück. Weitere Tests im Labor müssen folgen, danach steht die Erprobung in klinischen Versuchen an.

### 100 Silberionen in einem Nanocarrier

„Der kürzeste Weg zu einer Anwendung liegt vermutlich in der Verkapselung von Metallnanopartikeln“, so Haag. Silberionen etwa wirken antibakteriell und werden schon heute in verschiedenen medizinischen Präparaten genutzt. Die einzelnen Silberteilchen dringen in die Bakterien ein und zerstören sie von innen. Das Problem: Es gibt Bakterien, denen einzelne Silberionen nichts anhaben, denn sie sondern sie ab. „Es könnte gelingen, mit unseren Nanocarriern eine große Zahl von Silberionen in Bakterien einzuschleusen. Wir haben gesehen, dass wir bis zu 100 Silberionen in einem Nanocarrier verkapseln können. Anstatt also mit einzelnen Silberionen anzugreifen, fährt man sozusagen mit einem Lastwagen in ein Bakterium hinein und lädt ab.“ Bei diesem Großangriff, so die Hypothese, ist der Abwehrmechanismus des Bakteriums überfordert – das Bakterium stirbt. Sollte sich die Idee in weiteren Studien bestätigen, würden wenige Milligramm Silber ausreichen, um zum Beispiel einen Liter Wasser zu dekontaminieren.

Ende 2008 lief die Nachwuchsförderung für Rainer Haags Projekt aus. Seine Arbeit an der Freien Universität Berlin indes geht weiter. Während er selbst und seine inzwischen rund 30 Mitarbeiter sich vor allem der Erforschung der Grundlagen für Nanocarrieranwendungen widmen, hat Rainer Haags Nachwuchsgruppe das Spin-off-Unternehmen Nanopartica GmbH hervorgebracht. In dem befas-

sen sich drei seiner ehemaligen Mitarbeiter mit der Entwicklung und Vermarktung konkreter Produkte. Eines davon könnte sich für den Fahrzeugbau eignen. „In Autos gibt es Steckverbindungen aus Nickel, die mit einer dünnen Schicht aus Gold überzogen sind, damit sie nicht oxidieren“, erläutert Haag.

Das Problem: Mit der Zeit reibt sich die Schicht ab, das darunterliegende Nickel wird zersetzt – es kommt zum Wackelkontakt. „Die Lösung könnte sein, mit unseren Carriern Goldpartikel in das Nickel einzubringen“, so Haag. Die Nanocarrier würden das Gold sehr viel gleichmäßiger in dem Nickel verteilen, als es mit anderen Verfahren möglich ist. Zugleich ließe sich die benötigte Goldmenge reduzieren. Beim Abrieb, so die Überlegung, würden dann die gleichmäßig verteilten Goldpartikel einen Wackelkontakt verhindern. „Ich hatte an meinem Auto schon drei Mal so einen Defekt und musste jedes Mal in die Werkstatt. Deshalb habe ich so großes Interesse an diesen Forschungen“, sagt Rainer Haag und lacht.

#### Kontakt

Prof. Dr. Rainer Haag  
Freie Universität Berlin

Forschungsschwerpunkt: Spaltbare Nanopartikel als intelligente Transportsysteme für biomedizinische Anwendungen – vom Labor zur Klinik

Mehr Info:  
[www.polytree.de](http://www.polytree.de)



## Kurzporträts



### Dr. Kannan Balasubramanian

**Geboren:** 1978 in Indien

**Fachgebiet:** Nanostrukturphysik

**Position:** Gruppenleiter – Nanoscale Diagnostics Group, Max-Planck-Institut für Festkörperforschung, Stuttgart

**Förderung:** NanoFutur 2007-2012

**Thema:** „nano-credi“ – Funktionalisierte Nanoröhren und Nanodrähte für die (bio-)chemische Analytik und medizinische Diagnostik

Das Projekt befasst sich mit der Konzeption, Herstellung und Optimierung nanoskaliger Sensoren integriert in mikrofluidischen Systemen zum Einsatz in der Biosensorik und medizinischen Diagnostik. Hierzu sollen spezifisch funktionalisierte eindimensionale Nanostrukturen (Kohlenstoffnanoröhren und ZnO-Nanodrähte) in die Mikrokanäle von Lab-on-a-Chip-Systemen eingebaut werden. Im Grundlagenbereich sollen zur Detektion einzelner Biomoleküle Erkenntnisse über biomolekulare Wechselwirkungen auf der Nanoskala gewonnen werden. Anwendungsmöglichkeiten für solche Systeme bestehen in der molekularen Diagnostik, beispielsweise beim Nachweis von spezifischen Biomolekülen, Nukleotidsequenzen und Biomarkern, etwa bei Erkrankungen wie Diabetes und Krebs oder zur Überwachung der Nierenfunktion.

**Mehr Info:** [www.fkf.mpg.de/kern/research/nanoscale-diagnostics](http://www.fkf.mpg.de/kern/research/nanoscale-diagnostics)



### Dr. Stefan Diez

**Geboren:** 1969 in Dresden

**Fachgebiet:** Physik

**Position:** Forschungsgruppenleiter, Max-Planck-Institut für Molekulare Zellbiologie und Genetik, Dresden

**Förderung:** NanoFutur 2004-2009

**Thema:** Einsatz biomolekularer Motorsysteme für die Generierung und Manipulation von Nanostrukturen

**Ehrungen:** James Heineman Research Award, 2008

Die Gruppe entwickelt neue optische Techniken zur Erforschung molekularer Transportprozesse in Zellbiologie und Nanotechnologie. Aufbauend auf Erkenntnissen zum biophysikalischen Verhalten von Einzelmolekülen wird das kooperative Verhalten von Motorproteinen untersucht. Außerdem wird untersucht, wie biomolekulare Motorsysteme zur Herstellung und Manipulation von organischen und nichtorganischen Nanostrukturen eingesetzt werden können. Neue Methoden werden entwickelt, um Nanotransportsysteme durch externe Signale örtlich und zeitlich zu kontrollieren, neue Strukturierungstechniken im Nanometerbereich entworfen und schaltbare Hybridoberflächen auf Polymerbasis hergestellt.

**Mehr Info:** [www.mpi-cbg.de/research/research-groups/stefan-diez](http://www.mpi-cbg.de/research/research-groups/stefan-diez)



### Dr. Wolfgang Harneit

**Geboren:** 1968 in Hamburg

**Fachgebiet:** Physik

**Position:** Arbeitsgruppenleiter an der Freien Universität Berlin, Institut für Experimentalphysik

**Förderung:** NanoFutur 2003-2008

**Thema:** Molekulare Spinelektronik

Das Hauptziel der Arbeitsgruppe ist die Anwendung molekularer Spinsysteme in Quanteninformation und Spintronik. Die Forschungen umfassen alle Aspekte von der Molekülsynthese über die Herstellung von Nanostrukturen bis zur Entwicklung äußerst empfindlicher Methoden der Spindetektion. Die Arbeitsgruppe fängt neutrale paramagnetische Atome (Stickstoff oder Phosphor) in C60-Fullerenen ein und funktionalisiert diese Moleküle chemisch. Mit Rastersondenmethoden erzielt sie daraus geordnete Nanostrukturen. Der Nachweis und die Untersuchung der Spins und ihrer kohärenten Eigenschaften erfolgt mit Einzelmolekültransistoren sowie mit elektrisch und optisch detektierter Spinresonanz.

**Mehr Info:** [www.physik.fu-berlin.de/~ag-harneit](http://www.physik.fu-berlin.de/~ag-harneit)



# Ewiges Leben für Zellen

**Am Fraunhofer-Institut für Biomedizinische Technik im saarländischen St. Ingbert legt Heiko Zimmermann (35 Jahre) eiskalte Grundsteine für die Zukunft der regenerativen Medizin. Mit der Kryonanobiotechnologie sorgt er für ein langes Überleben von Zellen. Ein Interview mit dem Nachwuchswissenschaftler.**

**Herr Professor Zimmermann, was ist Kryonanobiotechnologie?**

Es ist ein Kunstwort, das verbindet, was für unsere Arbeit wichtig ist. Was wir tun, ist, lebende Zellen bei Temperaturen von bis zu minus 200 Grad Celsius so zu konservieren, dass sie später wieder aufgetaut und für medizinische Zwecke verwendet werden können. Dazu haben wir erstmals Methoden und Verfahren aus den Bereichen Kryo-, also Kältetechnik, Nanotechnologie und aus der Biologie und der Physik miteinander verbunden. Es kommen aber auch noch weitere Bereiche hinzu, etwa Elektrotechnik und Informationstechnologie. Eine Fachrichtung Kryonanobiotechnologie gibt es eigentlich nicht.

**Das klingt nach Science-Fiction und menschlichen Körpern in jahrzehntelangem Kälteschlaf ...**

Um es ironisch zu sagen: Lebende Organismen haben grundsätzlich die Eigenschaft, ein Einfrieren bei solch tiefen Temperaturen nicht gut zu überstehen. In der Natur kommen solche Minusgrade schlicht nicht vor und deshalb gibt es keine entsprechenden Schutzmechanismen. Beim Einfrieren verwandelt sich das in den Zellen vorhandene Wasser in Eiskristalle und die Zellen sterben. In der vom BMBF geförderten Nanonachwuchsgruppe haben wir nach Möglichkeiten gesucht, das zu verhindern. Die Idee war, die Zellen langsam und damit kontrolliert einzufrieren und ihnen gleichzeitig das Wasser zu entziehen. Dazu bringen wir Zellen auf nanostrukturierte Oberflächen auf. Geeignet sind zum Beispiel kohlenstoffbasierte Strukturen, weil sie eine hohe Wärmeleitfähigkeit haben, also schnell Wärme abführen. Dann schließen wir die Zellen zusätzlich mit einem Hydrogel

ein. Wir nennen das Verkapseln. Das Hydrogel entzieht der Zelle während des Einfrierens das Wasser – und beim Auftauen gibt es das Wasser wie ein Schwamm wieder an die Zelle ab. Zum Teil konnten wir bei unseren Forschungen auf vorhandene Analysemethoden und Verfahren zurückgreifen, vieles aber haben wir selbst entwickelt. Das erwünschte Fernziel ist sicher, ganze Organe einzufrieren und sie sozusagen aus der Schublade zu ziehen, wenn sie benötigt werden. Das ist heute bereits auf Basis einzelner Zellen möglich.

**Sie selbst sind Physiker ...**

Stimmt, ich habe in Würzburg und in Berlin Physik studiert.

**... und arbeiten heute mit lebenden Zellen, also im Fachbereich Biologie. Wie kam es dazu?**

Mir als Physiker war die Welt der Biologie natürlich erst einmal fremd. In gewisser Weise war ich vielleicht vorgeprägt, denn mein Vater hat als Chemiker einen Lehrstuhl für Biotechnologie inne. Der Umgang mit lebenden Zellen hat mein wissenschaftliches Weltbild erweitert, was sehr gut und wichtig war. Ich habe an der Berliner Humboldt-Universität im Bereich Biophysik promoviert, genauer gesagt zu Zellbewegungen auf Oberflächen. Dabei beschäftigte ich mich mit der Frage, wie tierische Zellen mit künstlichen Oberflächen interagieren. An meinem ersten Tag in der Zellbiologie sagte dort eine Assistentin: „Die Zellen fühlen sich heute nicht wohl.“ Für mich als Physiker, der alle naturwissenschaftlichen Phänomene mit Modellen der Physik erklärt, eine gänzlich ungewohnte Aussage. Zwei Jahre später hatte ich die Termini der Biologen übernommen. Ich war zu der Erkenntnis gekommen, dass die komplexen Wechselspiele einer biologischen Zelle, also biologische Individualität und Nichtvorhersehbarkeit, mit klassischen physikalischen Modellen nicht zu beschreiben sind. Zum Biologen bin ich deshalb zwar nicht geworden, aber mit Blick auf die weiteren Forschungen war diese Erfahrung sehr gesund.

**Weshalb ist Ihr interdisziplinärer Ansatz so erfolgversprechend?**

Biologen forschen seit mehreren Jahrzehnten im Bereich der Kryobiologie. Die Ergebnisse der Forscher, darunter auch welche aus Deutschland, waren zum Teil ausgezeichnet. Bis vor wenigen Jahren jedoch war die Kryobiotechnologie insgesamt ein eher vernachlässigtes Feld. Das lag vor allem daran,



Integrierter Messplatz zur Kryokonservierung: Hier untersucht das Team von Heiko Zimmermann die nanoporöse Verkapselung und den Einfriervorgang der Zellen.

dass sie keinen großen wirtschaftlichen Nutzwert zeigte. Mittlerweile ist die Kryotechnik zu einem Topthema der Europäischen Union und auch der Weltgesundheitsorganisation geworden. Auch die medizinische und pharmazeutische Industrie haben den Nutzwert erkannt. Überall dort, wo heute mit biologischen Zellen gearbeitet wird, werden Zellproben mit Kryotechnik in sogenannten Biobanken konserviert. Die Kryotechnik ist hier Schrittmacher für die regenerative Medizin und auch die Präventivmedizin. Ein ganz einfaches Beispiel für den konkreten Nutzen unserer Arbeit ist das Einfrieren von Zellen eines Tumors, der einem Patienten entfernt wurde. Sollte der Tumor später noch einmal auftreten, könnte man Wirkstoffe vorab an den eingefrorenen Tumorzellen testen, bevor man sie dem Patienten verabreicht. Ein anderes Beispiel sind Stammzellen, die eingefroren werden, um daraus später zum Beispiel spezialisiertes Gewebe zu züchten und dies zu transplantieren. Dazu benötigt man aber eine perfekt konservierte Probe und auch die Daten dazu, denn schließlich will man die eingefrorenen Proben später nicht verwechseln. Vor wenigen Jahren aber war das noch eher Zukunftsmusik. Die Überlebensraten primärer Zellen, also nicht der etablierten Zelllinien, war sehr schwankend und nicht optimal. Es fehlten zudem Techniken, um die Proben eindeutig zu identifizieren. Das war der Stand, als wir 2002 mit der Nachwuchsgruppe anfangen. Wir haben damals das bis dahin Entwickelte neu durchdacht, und zwar bezogen auf die Prozesse aus den Blickwinkeln der unterschiedlichen Disziplinen. Die Nachwuchs-

gruppe hat hier insgesamt enorm viel geleistet. Wir erreichen heute zum Beispiel bei humanen embryonalen Stammzellen Überlebensraten um 90 Prozent auf Oberflächen.

#### Die Nachwuchsförderung des BMBF war also eine Art Entwicklungsbeschleuniger?

Das kann man so sagen. Sie war aber auch noch mehr. Im Grunde war alles, was hier im Institut im Bereich der Kryoforschung entstanden ist, thematisch bereits in der Nachwuchsgruppe angelegt. Aus dieser Gruppe ist inzwischen eine Hauptabteilung dieses Instituts geworden, deren Leiter ich bin. Die Förderung war sozusagen der Nährboden, aus dem bis heute ein ganzer Baum aus Forschungszweigen und mit vielen Früchten in Form von Anwendungen und Produkten hervorging. Dazu benötigen Sie aber auch das entsprechende Umfeld, in dem der Baum wachsen kann. Mit dem Fraunhofer-Institut haben wir das gefunden. Gleichzeitig hatten wir durch die Einbettung in die Fraunhofer-Strategie immer auch einen Anwendungsbezug. Ganz konkret haben wir zum Beispiel kleine Einfriercontainer entwickelt, in denen die Proben sehr gut aufgehoben werden können. Wir haben neue Analysemethoden, Mikroskopieverfahren und auch Geräte entwickelt. Hinzu kamen elektronische Speicherchips, die die enorme Kälte überstehen. Mit diesen Chips wurden die Kryotanks sozusagen intelligent, denn wir können jede eingefrorene Probe eindeutig identifizieren und beschreiben. Tatsächlich haben wir in der Nachwuchsgruppe mehr erforscht und auch erforschen müssen, als ursprünglich gedacht. Vieles gab es

einfach nicht, anderes war für unseren Ansatz nicht geeignet. Heute können wir die Früchte des Erfolgs ernten. Das Institut hält bisher 35 Patentfamilien mit rund 120 Anmeldungen in verschiedenen Ländern und damit weltweit die meisten Patente in der Kryotechnik. Es hat sich außerdem ein Spin-off-Unternehmen ausgegründet, das die in der Nachwuchsgruppe erforschten Produkte vermarktet. Firmen stellen die von uns entwickelten Produkte heute in Lizenz her. Wir haben außerdem im Rahmen des EU-Projekts Crystal als eine der wenigen Forschungsgruppen in Deutschland die Erlaubnis erhalten, mit humanembryonalen Stammzellen zu arbeiten und diese mit unseren Methoden einzufrieren. Einen sehr wichtigen Beitrag konnte die Nachwuchsgruppe zudem beim Aufbau einer Kryobank leisten, die 2003 in Sulzbach ganz in der Nähe von St. Ingbert entstand. In einem aktuellen Projekt wird dort das Blut von HIV-Infizierten konserviert. Dies ist ein Auftrag der Bill und Melinda Gates Stiftung, die es sich unter anderem zur Aufgabe gemacht hat, Impfstoffe gegen AIDS zu entwickeln. Auf der Suche nach geeigneten Kryobanken ist die Stiftung auf unsere Arbeit gestoßen. In den USA gibt es derzeit nichts Vergleichbares. Darauf sind wir natürlich sehr stolz.

#### Was hat die Förderung für Sie persönlich bedeutet?

Die damalige Ausschreibung war thematisch offen. Die Nanotechnologie ist ja kein fokussiertes Thema. Als ich mich mit der Bewerbung befasste, kam die Idee, die Kryotechnik mit Nanotechnologie zu verbinden. So gesehen war die Bewerbung um die Förderung die Initialzündung für das, was

danach entstanden ist, und natürlich auch für das, was aus mir seitdem geworden ist. Ich bin von der Universität des Saarlandes zum Professor berufen und bin Hauptabteilungsleiter eines Fraunhofer-Instituts. Das bringt es natürlich mit sich, dass ich heute kaum noch im Labor bin. Die Leidenschaft habe ich dabei aber nicht verloren. Die Förderung selbst halte ich für sehr wichtig. Ich war damals Ende 20 und mir wurde ein wahnsinniger Vertrauensvorschuss gegeben. Man erhält ja nicht nur viel Geld, sondern mit fünf Jahren auch vergleichsweise viel Zeit. Mit beidem lässt sich viel bewegen. Das alles bekommt bei der Nachwuchsförderung des BMBF keine Institution, sondern eine Person. Es wird also die Idee eines Einzelnen gefördert. Das gibt es bei keiner anderen Einrichtung. Mich hat das persönlich sehr motiviert. Auf der anderen Seite macht die Förderung einen für Kooperationspartner interessant. Ich hatte wie gesagt das Glück, mit dem Fraunhofer-Institut einen Partner zu haben, der das Thema insgesamt unterstützte und die Nachwuchsgruppe in ein entsprechendes Umfeld einbettete. Das war auch für meine persönliche Entwicklung sehr wichtig, denn als Nachwuchsgruppenleiter startet man bei Null. Ein solch großes Forschungsprojekt bedeutet vor allem Projektmanagement. Man ist jung und plötzlich in der Rolle eines Teamleaders. Man führt Personal, das zum Teil älter und das im jeweiligen Fachgebiet besser ist als man selbst. Man muss mit großen Geldsummen umgehen, den Überblick behalten, Entscheidungen treffen und sich dabei auf die Forschung fokussieren. Das sind alles Dinge, die man lernt. Entscheidend ist, sich nicht selbst im Weg zu stehen und die Herausforderung anzunehmen.



In den Petrischalen befinden sich Stammzellen, die eingefroren werden, um daraus später spezialisiertes Gewebe zu züchten.

#### Kontakt

**Prof. Dr. Heiko Zimmermann**  
Fraunhofer-Institut für Biomedizinische  
Technik (IBMT), St. Ingbert

Forschungsschwerpunkt: Kryonanobiotechnologie

Mehr Info:

**[www.ibmt.fraunhofer.de](http://www.ibmt.fraunhofer.de)**

(Navigation: Arbeitsgebiete > Kryobiotechnologie)

# Kurzporträts



## Dr.-Ing. Frank A. Haupt

**Geboren:** 1966 in Saarbrücken

**Fachgebiet:** Ingenieurwissenschaften

**Position:** Gruppenleiter Werkstoffwissenschaft, Institut für Verbundwerkstoffe GmbH, Kaiserslautern

**Förderung:** NanoFutur 2004-2009

**Thema:** Nanopartikelverstärkte polymere Hochleistungskunststoffe – Technische Leistungsfähigkeit und wirtschaftliche Herstellverfahren

**Ausgründung:** Firma NanoProfile GmbH, Kaiserslautern 2007

Es werden Hochleistungskunststoffe für technische Anwendungen entwickelt. Durch Zusatz von Nanopartikeln wird eine Verstärkung erreicht. Die Entwicklungen betreffen die Werkstoffzusammensetzung und die Prozesstechnik zur Werkstoffherstellung. Als Füllstoffe werden kommerziell verfügbare Nanopartikel untersucht. Im Teilprojekt „Duroplastische Nanoharzsysteme“ werden die Nanofüllstoffe in die flüssige Harzkomponente dispergiert, im Teilprojekt „Thermoplastische Nanokunststoffe“ mittels Extrusion direkt in die Polymerschmelze eingearbeitet. Die Verarbeitung durch Dispergierung und Mischextrusion wird optimiert, um die Leistungsfähigkeit der Verbundwerkstoffe für die technische Umsetzung zu steigern.

Mehr Info: [www.ivw.uni-kl.de/nano\\_start.8.html](http://www.ivw.uni-kl.de/nano_start.8.html) und [www.nanoprofile.de](http://www.nanoprofile.de)



## Dr. Rainer Hillenbrand

**Geboren:** 1972 in Friedberg, Bayern

**Fachgebiet:** Physik

**Position:** Gruppenleiter, Forschungsinstitut CIC nanoGUNE Consolider, San Sebastian/Spain; ehemals MPI für Biochemie, Martinsried

**Förderung:** NanoFutur 2003-2008

**Thema:** Phonon-Photonik – Nanooptik mit Infrarotlicht

**Ausgründung:** Firma Neaspec GmbH, Martinsried, Mai 2007

Die Arbeitsgruppe hat durch Kombination von Nahfeldmikroskopie und phononverstärkter Nahfeldwechselwirkung ein neues analytisches Verfahren für Nanosysteme untersucht und entwickelte ein Streulicht-Nahfeldmikroskop (s-SNOM) für den infraroten Spektralbereich. Ein Schwerpunkt war die Abbildung von lokalen Kristallstrukturen und -defekten, z. B. in Halbleitern. Ferner soll das Mikroskop zur Untersuchung von Oberflächenwellen (Phonon-Polaritonen) auf strukturierten Kristalloberflächen eingesetzt werden. Es wurde untersucht, inwieweit sich solche Oberflächenwellen zum Transport und zur Manipulation von Infrarotstrahlung einsetzen lassen. Damit wurden Grundlagen geschaffen für eine auf Oberflächenphänomenen basierenden Nanooptik (Phonon-Photonik) mit Anwendung z. B. in der hochempfindlichen und ortsgenauen Materialcharakterisierung.

Mehr Info: [www.biochem.mpg.de/hillenbrand](http://www.biochem.mpg.de/hillenbrand)



## Dr. Hendrik Hölscher

**Geboren:** 1969 in Lippstadt

**Fachgebiet:** Physik

**Position:** Gruppenleiter, Institut für Mikrostrukturtechnik, Forschungszentrum Karlsruhe; ehemals CeNTech, Universität Münster

**Förderung:** NanoFutur 2003-2008

**Thema:** Quantitative Rasterkraftspektroskopie in der Nanotribologie und Nanobiologie

Die Arbeitsgruppe entwickelte am Center for Nanotechnology (CeNTech) an der Universität Münster neue Möglichkeiten, die bisher nur im Hochvakuum mögliche dynamische Rasterkraftspektroskopie auch in Flüssigkeiten und an der Luft anzuwenden. Für biologische Proben, die sich nur in Flüssigkeiten untersuchen lassen, wird so ein neuer Weg eröffnet, um ihre elastischen Eigenschaften auf Nanoebene zu messen. Die Methode kann auch zur Untersuchung von Reibungseigenschaften (Nanotribologie) angewendet werden. Zusammen mit der nanoAnalytics GmbH aus Münster wurde eine spezielle Elektronik (QFM-Module) für die Anwendung der neu entwickelten Methode auf den Markt gebracht.

Mehr Info: [www.centech.de/nanoforce](http://www.centech.de/nanoforce)



### Prof. Dr. Stefan Kaskel

**Geboren:** 1969 in Bonn

**Fachgebiet:** Anorganische Chemie

**Position:** Professor, Lehrstuhl für Anorganische Chemie I an der Technischen Universität Dresden (2004); Abteilungsleiter CVD- und Dünnschichttechnologie, Fraunhofer-Institut für Werkstoff und Strahltechnik, Dresden (2008)

**Förderung:** NanoFutur 2004-2008

**Thema:** Nanokomposite und Hybridmaterialien

Im Mittelpunkt des Projektes steht die Integration neuartiger Funktionen in Polymermatrizes durch anorganische Nanopartikel, die so klein sind, dass sie durch das menschliche Auge nicht erkannt werden. So können transparente Kunststoffe funktionalisiert werden, ohne dass ein Verlust an Transparenz beobachtbar ist. Um dieses Ziel zu erreichen, wurden chemische Methoden entwickelt, durch die sich die Größe anorganischer Partikel gezielt einstellen lässt. So konnten z. B. 2-10 nm große Partikel mit optischen Funktionen in Matrizes aus PMMA (Polymethylmethacrylat) integriert werden. Mit diesen Arbeiten sollen neue Polymerwerkstoffe entwickelt werden, welche besser abbaubar sind bzw. zur Generierung von Displays und Bildspeichermaterialien eingesetzt werden können.

**Mehr Info:** [www.chm.tu-dresden.de/ac1/index.shtml](http://www.chm.tu-dresden.de/ac1/index.shtml)



### Dr. Mato Knez

**Geboren:** 1971 in Augsburg

**Fachgebiet:** Physikalische Chemie

**Position:** Gruppenleiter, Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik, Halle

**Förderung:** NanoFutur 2006-2010

**Thema:** Funktionelle 3D-Nanostrukturen mittels Atomic Layer Deposition

Die Arbeitsgruppe am MPI in Halle beschäftigt sich mit der Herstellung von 3D-Nanostrukturen mittels Atomic Layer Deposition (ALD). Diese Abscheidemethode eignet sich insbesondere für präzise Erzeugung, Funktionalisierung und Infiltration von Nanoobjekten. In fünf Teilprojekten werden z. B. verstärkte Fasern, Nanohohlraumstrukturen oder optische Filter aus biologischen und anorganischen Templaten hergestellt. Erforscht werden insbesondere die chemischen und physikalischen Wechselwirkungen der Beschichtung mit den Templaten, deren physikalische Eigenschaften und, in Zusammenarbeit mit Partnern (Carl Zeiss Jena AG, IFG GmbH, FHI-IWM, FBI), die technologische Anwendbarkeit der hergestellten Strukturen aus optischer, mechanischer und elektronischer Sicht.

**Mehr Info:** [www.nano-ald.eu](http://www.nano-ald.eu)



## Den Dingen bis zum Kern folgen

**In Dresden erforscht Heidemarie Schmidt (36 Jahre) magnetische Halbleiter auf Nanoebene. Forschung ist für sie das eine. Optimale Rahmenbedingungen für die Arbeit zu schaffen, das andere.**

Auf der grauen Stahltür am Gebäude 7 des Forschungszentrums Dresden-Rossendorf klebt ein kleines schwarz-gelbes Schild. „Vorsicht! Strahlung“, steht da. Doch um seine Gesundheit muss sich der Besucher keine Gedanken machen. „Sie sind hier schon richtig“, sagt Dr. Heidemarie Schmidt und hält die Tür auf. In großen Schritten führt sie durch die drei Räume des Labors, vorbei an diversen Geräten und ihren Mitarbeitern, die vor Computerbildschirmen sitzen. Ein leises Surren und englische Wortfetzen hängen in der Luft. „Heute ist mein letzter Tag vor dem Mutterschaftsurlaub“, sagt Heidemarie Schmidt. Im hinteren Raum des Labors angekommen, setzt sie sich auf einen blauen Bürostuhl. „Ab morgen übernimmt mein Kollege Dr. Shengqiang Zhou.“

### Immer auf der Suche

Die Dresdner Physikerin Heidemarie Schmidt ist das, was man eine Vollblutwissenschaftlerin nennen könnte. „Mich interessierte schon während des Physikstudiums in Leipzig die Veränderung der Leitfähigkeit von Halbleitern durch Defekte“, sagt sie, als sei das das Normalste der Welt. Dann muss sie doch ein wenig lachen. Denn trotz ihrer Forschungen in der Welt der Halbleiterphysik hat sie den Blick für die Welt um sich herum nicht verloren. Im Gegenteil, er wurde geschärft. „Man lernt auch, abzuschalten und sich neben der Forschung mit ganz anderen Dingen zu beschäftigen“, sagt Heidemarie Schmidt. Im Forschungszentrum Dresden-Rossendorf, etwa 25 Kilometer außerhalb der sächsischen Landeshauptstadt, erforscht sie mit ihrem Team Stoffe und Methoden, um magnetische Halbleiter herzustellen und sie für neue Anwendungen auf Nanoebene nutzbar zu machen. Nanospintronik heißt das Forschungsfeld. Es ist recht jung und gilt als zukunftsreich, zum Beispiel für Speicherchips in der Computerindus-

trie. In diese Richtung forscht auch Heidemarie Schmidt. „Der Spin ist eine quantenmechanische Eigenschaft von Elektronen“, führt sie in die Nanowelt ein. „Der Elektronenspin lässt sich durch Magnetfelder steuern“, fährt die Physikerin fort, „und weil er nur genau zwei Zustände annehmen kann, lässt sich das für das Speichern, Abrufen und Transportieren von Information nutzen.“

Dieser Spin, erläutert sie weiter, werde in neueren Speicherchips über die Magnetisierung winzig kleiner Metallstrukturen kontrolliert. „Man muss sich diesen Speicher wie eine Struktur aus drei Schichten vorstellen“, sagt Heidemarie Schmidt und simuliert das Ganze mit ihren Handflächen, die sie mit ein wenig Abstand aneinanderhält. „Außen sind zwei magnetische Metallschichten, die durch eine nichtmagnetische Schicht in der Mitte getrennt sind. Die Elektronen, die durch diese Dreischichtstruktur transportiert werden, werden durch die Metallschichten sozusagen geschaltet und können auf diesem Weg Informationen speichern. Unsere Idee ist, die bislang verwendeten magnetischen Metalle durch magnetische Halbleiter zu ersetzen. Das ist deshalb interessant, weil sich Halbleiter im Gegensatz zu Metallen gezielt in ihrer elektrischen Leitfähigkeit verändern lassen.“ Eben diese genaue Kontrolle der elektrischen Leitfähigkeit macht Halbleiter bis heute zur Schlüsselkomponente der Elektronikindustrie.

Magnetische Halbleiter würden die Technologie ein gutes Stück nach vorne bringen. Das Problem: Halbleitermaterial wie zum Beispiel Zinkoxid, das auch Farbe und Zahnpasta schön weiß macht, ist per se nicht magnetisch. Die Lösung: „Wir bringen in das Halbleitermaterial zusätzlich Metallatome ein, die einen großen Elektronenspin besitzen“, erklärt Heidemarie Schmidt. Die richtige Wahl der magnetischen Metallatome sowie die richtig eingestellte elektrische Leitfähigkeit des magnetischen Halbleiters bestimmen, ob die Elektronenspins der magnetischen Metallatome koppeln, das heißt den gleichen Spinzustand annehmen. Im Ergebnis ließe sich der Elektronenspin von frei beweglichen Ladungsträgern beim Anlegen eines Stromes sehr viel gezielter kontrollieren. Insgesamt wären magnetische Spinspeicher auf Halbleiterbasis sehr viel kleiner, leistungsfähiger und zugleich stromsparender als aktuelle Produkte auf Metallbasis. Soweit die Theorie. In der Praxis erfordert dieses Ziel viel Engagement und

viel Zeit. „Wir denken in Jahren“, sagt Heidemarie Schmidt, doch in Experimenten hat ihr Forscherteam bereits erste Erfolge erzielt. Mit modernen Methoden der Nanotechnologie haben die Dresdner in Zinkoxid zusätzlich Atome von Metallen wie Mangan und Kobalt eingebracht und in den Proben magnetische Leitfähigkeitseffekte messen können. „Wir testen jetzt weiteres Halbleitermaterial und befassen uns zusätzlich mit den optischen Eigenschaften der magnetischen Halbleiter“, so die Physikerin. Weil sich in Halbleitern auch die optischen Eigenschaften gezielt verändern lassen, ließen sich diese Eigenschaften ebenfalls für neue Produkte nutzen. Eine mögliche Anwendung wären magnetooptische Sensoren.

### Schneiden eines „Maßanzugs“

Begonnen hat die gebürtige Dresdnerin das Projekt im Jahr 2003 in Leipzig. Nach dem Studium der Physik an der Leipziger Uni promovierte Heidemarie Schmidt mit einer Arbeit über die Änderung der optischen Eigenschaften von Halbleitern beim Einbringen von geschlossenen Atomlagen aus Fremdatomen und bewarb sich danach um eine Förderung durch das BMBF. „Es war das Interesse, den Dingen bis zum Kern zu folgen“, sagt sie. Mit der Gewährung der Fördergelder für fünf Jahre begann dann auch erst die eigentliche Aufgabe – das Schneiden eines Maßanzuges für ihre Forschungen. „Physik konnte ich“, erinnert sich die Forscherin, „das habe ich während des Studiums gelernt. Anderes, vor allem das Personalmanagement, habe ich dann lernen müssen.“

#### Kontakt

##### Dr. Heidemarie Schmidt

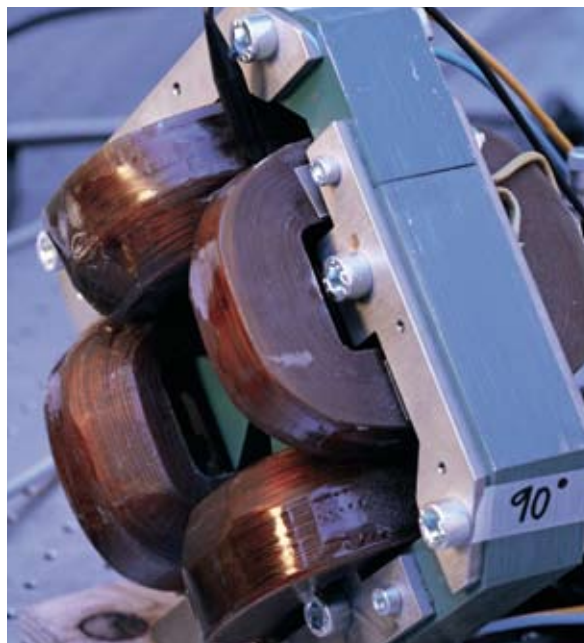
Forschungszentrum Dresden-Rossendorf  
e. V., Dresden

Forschungsschwerpunkt: Magnetoelektronik ferromagnetischer Traps in TCO und einzelner Spintraps in Quantenpunkten

Mehr Info:

[www.fzd.de/db/Cms?pNid=107](http://www.fzd.de/db/Cms?pNid=107)

(Navigation: Magnetische Halbleiter)



Magnetooptische Untersuchung: Ein Vektormagnet mit vier Polen ist sehr variabel.

Die vergleichsweise lange Förderung durch das BMBF sei sehr hilfreich gewesen, so Heidemarie Schmidt. Die Vorteile drückten sich zum Beispiel darin aus, gutes Personal langfristig binden zu können. „Eine Forschergruppe lebt letztlich von den Leuten“, sagt Heidemarie Schmidt. „Wenn Sie Mitarbeitern wie Postdoktoranden oder auch Technikern Verträge mit mehrjährigen Laufzeiten anbieten können, ist das für Bewerber auch ein entscheidendes Argument.“ Kurzfristige Verträge und damit ein häufiges Wechseln der Mitarbeiter empfinde sie als Problem. Denn mit dem Personal verlassen gesammelte Erfahrungen in der Forschung, Kenntnisse im Umgang mit Geräten und auch im persönlichen Umgang mit den Mitgliedern des Teams die Gruppe. Die lange Förderungsdauer habe zudem auch Auswirkungen auf ihre neue Funktion als „Arbeitgeberin“ mit Personalverantwortung gehabt. „Sie sind sowohl für die Sicherung des Lebensunterhalts als auch für die wissenschaftliche Entwicklung der Mitarbeiter verantwortlich. Bei beidem beruhigte mich die lange Förderung“, sagt Heidemarie Schmidt. Die richtigen Mitarbeiter auszuwählen, sei eine wichtige Fähigkeit, die sich die Dresdnerin während des Projekts aneignen konnte – und auch musste. Hilfestellung gab es vom BMBF in Form von Seminaren, bei denen auch ein Austausch mit anderen Nachwuchswissenschaftlern möglich war. Ihr



Ein Blick in die Nanoebene: Mit dem Scankopf eines atomaren Kraftmikroskops ist es möglich.

**Fazit: Mut zum Vertrauen.** „Sie müssen sich auf die Fähigkeiten und die Motivation der Mitarbeiter verlassen können, eben darauf, dass die Arbeit kompetent erledigt wird. Ist das nicht der Fall, scheitert das Projekt an dieser Stelle. Es muss einem selbst auch klar sein, dass man nicht auf jedem Teilgebiet Experte sein kann. Ich habe während des Projekts gelernt, Verantwortung für Teile des Projekts an Mitarbeiter zu übergeben, die davon mehr verstehen“, so die Physikerin. Das Schwierige sei, zu erkennen, wer Experte ist.

### Sehr gutes Umfeld

Als Heidemarie Schmidt ihr Team aus insgesamt fünf Mitarbeitern zusammenstellte, seien deren persönliche Ziele und Begeisterung entscheidende Auswahlmerkmale gewesen. Drei wissenschaftliche Stellen schrieb Heidemarie Schmidt unter den Leipziger Studierenden aus, zum Team kamen dann noch zwei Techniker. „Das BMBF ist einer der wenigen Drittmittelgeber, die bei der Förderung nicht nur Wissenschaftler, sondern auch Techniker berücksichtigen“, erklärt Heidemarie Schmidt. Ein bedeutender Aspekt, so die Wissenschaftlerin, denn Techniker übernahmen in ihrem Team wichtige alltägliche Routineaufgaben wie das Präparieren von Proben oder den Testaufbau. Vor gut einem Jahr zog Heidemarie



Teilansicht: Die Auflösung der Mikroskopoptik beträgt 1,5 Mikrometer.

Schmidt mit einem Teil ihres Teams und Geräten von der Leipziger Uni an das Forschungszentrum Dresden-Rossendorf, denn in Leipzig war eine Weiterführung der Arbeit nicht gesichert. Insgesamt 750 Wissenschaftler, Techniker, Doktoranden und andere Mitarbeiter entwickeln in Rossendorf neue Materialien auf Nanoebene, neue Ansätze für die Krebs- und nukleare Sicherheitsforschung. „Die Bedingungen sind hier schon sehr gut“, so Heidemarie Schmidt, „sowohl was die technische Ausstattung als auch das weitere Umfeld angeht.“ Um Dresden haben sich Firmen der Halbleiterindustrie angesiedelt, die bereits Interesse an ihrer Arbeit signalisiert haben. In der Physikfakultät der TU Dresden findet sie leicht geeignete neue Mitarbeiter und der Gerätepark wird durch eine spezielle Abteilung des Forschungszentrums gewartet.

Nach Auslaufen der Nachwuchsförderung durch das BMBF endete Heidemarie Schmidts Arbeit nicht im luftleeren Raum. Seit August 2008 erhält sie vom BMBF sowie von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) weitere Gelder, mit denen sie ihre Forschungen fortsetzen und ausbauen kann. Zunächst aber geht ein anderes „Baby“ vor. „Die nächsten Monate widme ich mich ganz dem Nachwuchs“, sagt Heidemarie Schmidt und blickt auf ihren Bauch. Im September war es soweit.

# Kurzporträts



## Dr. Guggi Kofod

**Geboren:** 1973 in Dänemark

**Fachgebiet:** Physikalische Chemie, Materialforschung

**Position:** Gruppenleiter, Institut für Physik und Astronomie, Universität Potsdam

**Förderung:** NanoFutur 2007-2011

**Thema:** Weiche Nanokomposit-Aktormaterialien für künstliche Muskeln

**Ehrungen:** Vorsitz der Marie Curie Fellows Association (MCFA, [www.mcfa.eu](http://www.mcfa.eu)), Mitglied des „FP7 People Programme Advisory Board“ der Europäischen Kommission

Spezielle Kunststoffe, insbesondere solche aus weichen Nanokompositen, können ähnlich wie Kondensatoren betrieben werden und agieren dann als „künstliche Muskeln“. Zurzeit sind hohe elektrische Spannungen nötig, um solche aktiven Kondensatoren zu bewegen. Deswegen werden Ansätze zur Spannungsreduzierung durch Beimischung spezieller leitender und nichtleitender Nanopartikel erforscht. Solche Materialentwicklungen führen zu elektrisch ansprechbaren, mechatronischen Elementen mit linearer Dehnung, höherer Energiedichte und niedrigerem Gewicht. Sie können für industrielle und persönliche Roboter, aktive Prothesen, aktive Dämpfung im Bauwesen und viele weitere Zwecke verwendet werden.

**Mehr Info:** [canopus.physik.uni-potsdam.de/KompAkt/index.html](http://canopus.physik.uni-potsdam.de/KompAkt/index.html)



## Dr. Felix Kratz

**Geboren:** 1963 in Frankfurt am Main

**Fachgebiet:** Chemie

**Position:** Gruppenleiter Makromolekulare Prodrugs, Klinik für Tumorbiologie, Freiburg

**Förderung:** NanoFutur 2004-2008

**Thema:** Spaltbare Nanopartikel als intelligente Transportsysteme für biomedizinische Anwendungen – vom Labor zur Klinik

Im Projekt werden spaltbare molekulare Nanopartikel für den Transport und die gezielte Freisetzung von Therapeutika bzw. Diagnostika entwickelt. Die Nanopartikel basieren auf molekularen Kern-Schale-Architekturen und haben folgende Merkmale: hohe mechanische Stabilität, gute Selektivität für das Tumorgewebe und kontrollierte Freisetzung der Therapeutika bzw. Diagnostika am Zielort. Das Anwendungspotenzial dieser Nanotransporter wird derzeit vor allem im therapeutischen Bereich (Tumortargeting), in der Diagnostik (In vivo Imaging) sowie in einem molekularbiologischen Ansatz (siRNA-Transfektion) tiefer evaluiert. In diesem Projekt arbeiten zwei Gruppen eng zusammen: Während die Gruppe von Prof. Haag an der FU Berlin die chemischen Entwicklungen durchführt, konzentriert sich die Gruppe um Dr. Kratz auf die klinischen Fragen.

**Mehr Info:** [www.tumorbio.uni-freiburg.de/04\\_forschung/04\\_02\\_05.html](http://www.tumorbio.uni-freiburg.de/04_forschung/04_02_05.html)



## Dr. Ralph Krähnert

**Geboren:** 1974 in Merseburg

**Fachgebiet:** Ingenieurwissenschaften, Fachbereich Chemie

**Position:** Gruppenleiter, Leibniz-Institut für Katalyse e. V. an der Universität Rostock (LIKAT)

**Förderung:** NanoFutur 2007-2012

**Thema:** Rationales Design poröser Katalysatorfilme im Nanometerbereich – DEPOKAT

Ziel des Projektes ist die Herstellung von Katalysatorschichten unter gezielter Beeinflussung ihrer nanoskaligen Dimensionen. Die Basis dafür bilden die Synthese von mesoporösen Trägeroxidfilmen und Edelmetallnanopartikeln und die Kombination zu Katalysatorschichten. Durch hierarchisch strukturierte und kontrolliert vernetzte Porensysteme können die Größe der Oberfläche und die Stofftransporteigenschaften bestimmt werden. Die Einstellung von katalytischer Aktivität und Selektivität erfolgt über die Kontrolle der Größe und Zusammensetzung der aktiven Edelmetallpartikel. Typische Einsatzfelder für katalytisch beschichtete Reaktoren sind z. B. die mobile Wasserstoffherzeugung für Brennstoffzellen oder die Autoabgaskatalyse.

**Mehr Info:** [www.catalysis.de/Poroese-Katalysatorfilme.453.0.html](http://www.catalysis.de/Poroese-Katalysatorfilme.453.0.html)



### **Dr. habil. Maximilian Kreiter**

**Geboren:** 1971 in Neuburg/Donau

**Fachgebiet:** Physik

**Position:** Projektleiter, Max-Planck-Institut für Polymerforschung, Mainz

**Förderung:** NanoFutur 2003-2008

**Thema:** Farbstoffe in strukturierter Nanoumgebung

Systeme, in denen Farbstoffe in eine nanoskopische Metallstruktur eingebettet werden, versprechen Zugang zu Materialien mit einzigartigen optischen Eigenschaften. Das Ziel des Projektes „Farbstoffe in strukturierter Nanoumgebung“ war der Aufbau solcher Systeme mit wohldefinierter Geometrie, um die hier auftretenden Effekte zu verstehen und so zu neuen Materialien mit optimierten Eigenschaften zu gelangen. Potenzielle Anwendungen für diese Effekte sind höhere Effizienzen sowohl bei der Absorption von Licht, z. B. in Solarzellen, als auch bei der Emission, wie z. B. in der Displaytechnologie. Als präparative Strategie wurde die Kombination der Selbstorganisation von Makromolekülen und Nanoclustern (Bottom-Up) mit mikrolithographischen Methoden (Top-Down) verfolgt. Die Untersuchungen, die auch mit theoretischer Modellierung unteretzt wurden, erfolgten mittels Lumineszenzspektroskopie, auch am einzelnen Objekt.

**Mehr Info:** [www.mpip-mainz.mpg.de/~kreiter](http://www.mpip-mainz.mpg.de/~kreiter)



### **Dr. Max Christian Lemme**

**Geboren:** 1970 in Essen

**Fachgebiet:** Elektrotechnik

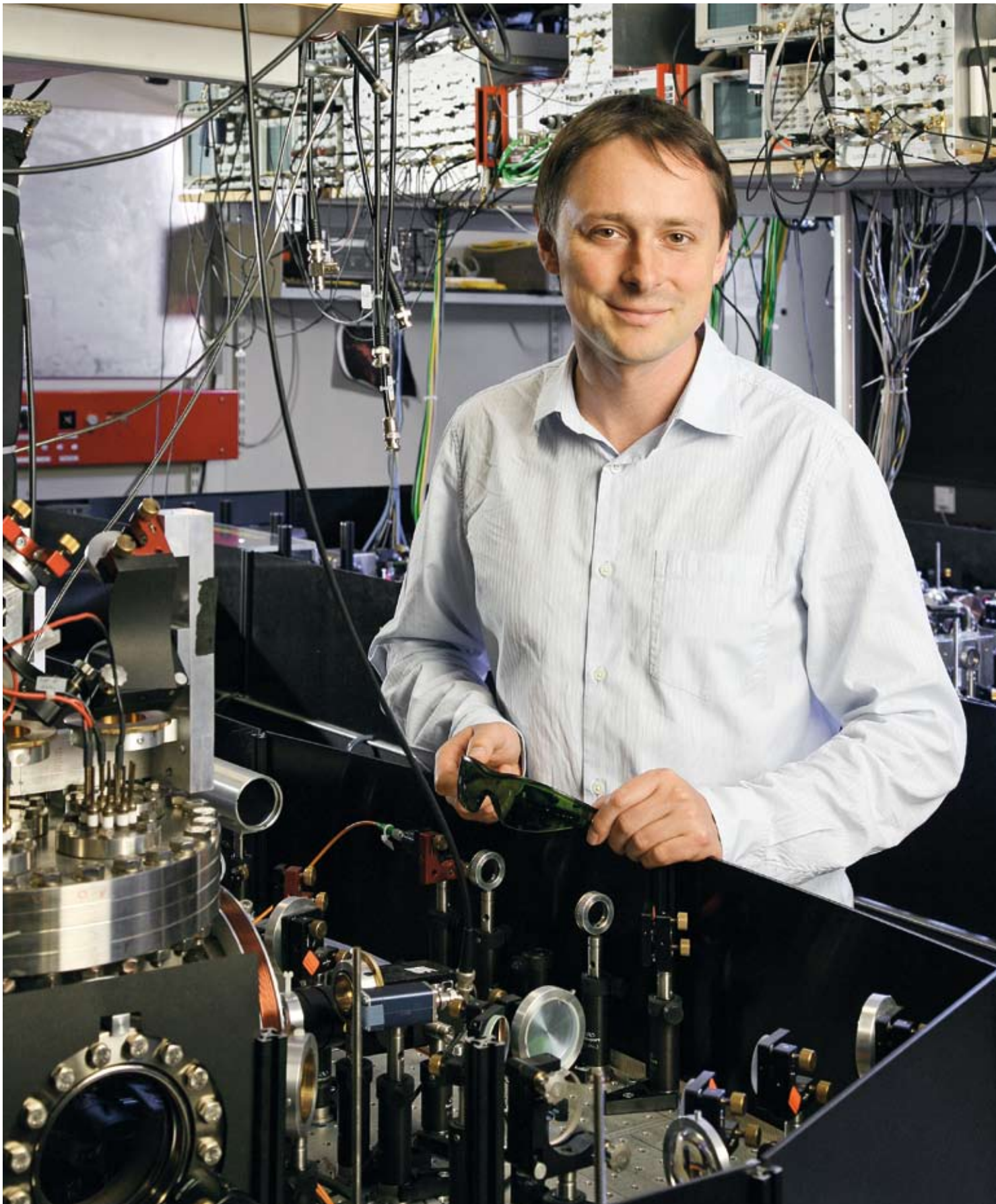
**Position:** Forschungsaufenthalt am Department of Physics, Harvard University, Cambridge/USA; ehemals AMO GmbH, Aachen

**Förderung:** NanoFutur 2006-2008

**Thema:** ALEGRA – Alternative Werkstoffe für die Nanoelektronik: Graphen

**Ehrungen:** 2008 Feodor Lynen-Forschungsstipendium der Alexander von Humboldt-Stiftung

Das Nachwuchsforscherprojekt befasst sich mit der Erforschung von extrem dünnen Kohlenstofffilmen, sogenannten Graphenen. Diese Materialien zeigen ähnlich wie die verwandten Kohlenstoffnanoröhrchen erstaunliche elektronische Eigenschaften. Graphenschichten aus einer einzigen Atomlage können zum Beispiel höhere Stromdichten leiten als Kupfer. Die Ladungsträger sind bis zu 100-mal beweglicher als im weit verbreiteten Silizium. Damit hat Graphen in der Nanoelektronik als neues Materialsystem hohes Potenzial für künftige nanoelektronische Bauelemente und könnte die etablierte Halbleitertechnologie im Hinblick auf Schaltgeschwindigkeiten und Verlustleistungen revolutionieren. Im Zentrum des ALEGRA-Projektes stehen neue, auf industrielle Maßstäbe skalierbare Herstellungsprozesse für Graphen, die es derzeit weltweit nicht gibt.



## Wenn Atome ihre kalte Schulter zeigen

**Er mag es eiskalt und unfassbar klein. József Fortágh (35 Jahre), gebürtiger Ungar und Spitzenforscher an der Uni Tübingen, bewegt sich gern am Limit – am Quantenlimit. Dafür kühlt er Atome auf eine unvorstellbare Eiseskälte, nahe dem absoluten Nullpunkt, denn nur so haben diese Teilchen sehr gut nutzbare Welleneigenschaften. Zum Beispiel könnten sie so die Grundlage für hochpräzise Messgeräte bilden.**

Wenn Prof. Dr. József Fortágh in seinem noch etwas kargen neuen Büro am Physikalischen Institut steht, dann hat er einen grandiosen Ausblick auf die grünen Hügel Tübingens, die am Horizont in die Schwäbische Alb übergehen. Hier kann das junge Talent nachdenken. Nachdenken darüber, was er mit seiner Grundlagenforschung bereits erreicht hat und noch erreichen will. „Mein Vater sagte immer, wenn du etwas machst, dann mach es präzise“, sagt der Wissenschaftler.

József Fortágh forscht mit einer Hingabe und Begeisterung, dass er selbst Laien in den Bann der abstrakten Welt zwischen Nano und Atom ziehen kann. Fortágh ist ein weltweit gefragter Mann, die Universität Tübingen hat es geschafft, ihn in Deutschland zu halten, trotz eines fast unschlagbaren Angebotes aus dem Ausland.

Im Jahr 2001 hat er unter der Leitung von Professor Claus Zimmermann in Tübingen etwas ganz Neues entwickelt: das erste Bose-Einstein-Kondensat auf einem Mikrochip. Dieser Atomchip birgt völlig neue Messmöglichkeiten beispielsweise für Kräfte, Beschleunigungen oder für die Materialanalyse. Darüber hinaus eröffnen sich ganz neue Speichermöglichkeiten für die Informationsverarbeitung. Denn im Chip bilden die Quantenzustände von Atomen die Informationseinheiten (Qbits) und nicht wie bisher Bits mit der Schalterstellung null oder eins. In einem Bose-Einstein-Kondensat verbinden sich circa eine Million Atome zu einer quantenmechanischen Welle, die ungefähr die Größe eines Haardurchmessers hat und damit mit einer Videokamera zu filmen ist. Das Problem

solcher Bose-Einstein-Kondensate ist, dass sie erst bei extrem tiefen Temperaturen dicht am absoluten Nullpunkt entstehen. Der absolute Nullpunkt liegt bei minus 273,15 Grad Celsius; eine solche Temperatur existiert nirgendwo real. Kein Geringerer als Albert Einstein hat für diese atomare Welle bereits die ersten theoretischen Grundlagen geliefert, ihm aber fehlte zum Beispiel das Laserlicht, um solche kalten Kondensate herzustellen. Das Team um Professor Claus Zimmermann hat es geschafft, ein solches Atomkondensat an einen Mikrochip zu koppeln. Daraus hat sich eine breite Palette an Forschungs- und Entwicklungsmöglichkeiten für die Wissenschaft ergeben.

József Fortágh, der in Budapest Physik studierte, in München sein Diplom machte und schließlich in Tübingen an der Eberhard-Karls-Universität Doktorand wurde, erhielt im Jahr 2006 vom Bundesministerium für Bildung und Forschung 1,5 Millionen Euro, um weiter an der Erforschung von ultrakalten Atomen und deren möglicher Verwertbarkeit zur präzisen Messung von Oberflächen oder Beschleunigungskräften zu forschen. Für fünf Jahre – bis zum Jahr 2011 – hat er das Projekt gesichert.

Mittlerweile ist er zum Professor ernannt, seine Professur trat er in Tübingen an. Viele Universitäten wollten ihn haben, aber er blieb in Schwaben, obwohl er genau genommen schon halb in England engagiert war. „Man hat sich hier in Tübingen unglaublich für mich eingesetzt“, sagt er und fügt hinzu: „Das hat mich sehr berührt.“ Mit der großzügigen Forschungssumme des BMBF hatte József Fortágh die Möglichkeit, eine eigene Forschungsgruppe aufzubauen.

Ein kleines Foto von Albert Einstein, das in seinem Besprechungszimmer hängt, erinnert den jungen Physiker täglich daran, dass hier noch Großes entstehen soll. Zum Beispiel, dass der entwickelte Atomchip in seinem Potenzial in Zukunft wirklich nutzbar sein könnte. Bis dahin sind noch ein paar Probleme zu lösen. Es gilt, die eiskalten Atome wirklich am Mikrochip zu halten. Denn so ein eiskaltes Atomkondensat ist mitunter störrisch. Wie fixiert man diese winzige Materie, wo sie hin soll? Und wie kann man ihre besten Eigenschaften ausnutzen?

So erforschen Fortágh und sein Team in fensterlosen Laboratorien unter anderem, wie man Atome dazu bringt, ihren nützlichen Wellencha-



Im Versuchsaufbau leiten Linsen das Laserlicht zum Atom. Über ...

rakter zu entfalten. Atomare Materiewellen können sich nämlich ähnlich wie Licht zu Interferenzmustern – sich überlappende Wellen – verbinden. In diesen Wellenmustern liegt ein ungeheures, bisher nicht genutztes Potenzial. Sie können extrem sensible Sensoren für Kräfte, Beschleunigungen und Rotationen sein. Ein Atomchip birgt daher eine bisher nie erreichte Genauigkeit. Auch absolut genaue Messungen der Erdoberfläche wären damit zu leisten. Irgendwann könnte auf diese Weise eine neue Form des GPS-Systems entstehen.

Doch diese mikroskopisch kleinen Atomteilchen müssen, bildlich gesprochen, erst per Eisschock dazu gebracht werden, ihre Superkräfte zu entfalten. Dafür müssen sie in ihrer Geschwindigkeit sehr weit heruntergebremst werden, nur so kühlen sie fast bis auf den absoluten Nullpunkt ab und ihr Wellencharakter kann zum Vorschein kommen. Faszinierenderweise funktioniert rot verstimmt Laserlicht wie eine Art Bremsblock für Atome. Diese werden dann sehr langsam und damit auch ultrakalt – und für kurze Zeit erscheint das ersehnte Wellenmuster, von dem sich die Wissenschaft so viel erhofft.

Ein wichtiges Ziel von Fortághs Arbeitsgruppe ist es, die Position und die Form dieser winzigen atomaren Wolke auf dem Mikrochip präzise zu kontrollieren. Wer das schafft, hat ein neues atomoptisches Messinstrument geschaffen. Eine Revolution. Doch dafür müssen die Forscher die Mini-Atomwolken sozusagen erst einfangen. Sie stellen deshalb den Atomen tatsächlich eine Falle – mit Magnetfeldern auf dem Mikrochip. Die Forschungsgruppe nennt das Konzept „magnetische Mikrofallen“. Diese Mikrofallen halten die atomare Wolke also in Position. Und das müssen sie auch:



... viele bunte Stekkabel in Fortághs Labor gelangen die Impulse ...

Würde sie sich verflüchtigen oder unkontrolliert herumschwirren, wäre sie als Messinstrument nicht zu gebrauchen. Nur durch eine gezielte Manipulation der atomaren Wolke auf dem Mikrochip ist sie für neue Technologien nutzbar. „Aufregend“, sagt der gebürtige Ungar lächelnd. „So viel Potenzial liegt in der Grundlagenforschung.“

### Alles hat seinen Platz

Im Labor, hinter einer schweren Tür, befinden sich Computer, unzählige Verdrahtungen und eine Versuchsanordnung mit Hunderten Linsen, die das Laserlicht in Richtung Atome leiten. Eine kleine, unvorsichtige Verschiebung einer einzigen Linse würde das Experiment um Stunden, gar Tage zurückwerfen. Jedes optische Glas hat in diesem scheinbaren Durcheinander einen festen Platz. „Einige dieser Apparate haben wir selbst konstruiert, weil sie so nirgendwo zu kaufen sind“, erklärt der Wissenschaftler. Drei Studenten arbeiten mit, führen Messungen durch, bewerten Eigenschaften von Atomwolken, die für Laien wie kleine Verschmutzungen auf dem Computerbildschirm erscheinen. „Manchmal stehen wir vor dem Bildschirm und sehen etwas, was noch nie irgendjemand vor uns gesehen hat“, sagt Fortágh. Er sieht dabei so glücklich aus wie ein Kind, das ein neues Eis probieren durfte.

Doch die Forschung ist bei Weitem kein tägliches Eisschlecken. Früh morgens beginnt Fortághs Tag an der Uni – und wenn ein Versuch gestartet wird, „dann dauert der, solange er eben dauert“. Physiker verbringen so manche Nacht in der Uni, lassen ihre Labore nicht aus den Augen, selbst wenn es bis zum Morgengrauen dauert. Nicht jeder Wissenschaftler, berichtet Fortágh,



... zu Geräten, welche die optischen Mess-Signale erfassen.

habe den Mut, endlich sein Experiment zu starten. Mitunter spielen sich kleine Dramen in den Laboren ab. Da tüfteln und positionieren die Forscher an ihren Experimenten, drehen hier noch eine Schraube und testen dort noch eine Verdrahtung. Aber den Startknopf, den drücken sie nie. „Es gibt einige, die bleiben immer im Aufbaustadium stecken.“ Es sei, als würde man ein tolles Flugzeug bauen, aber nie einsteigen, um es wirklich im Kampf gegen die Elemente zu testen. „Das Einsteigen zur richtigen Zeit, auch das macht gute Wissenschaftler aus.“ Ein Wissenschaftler müsse sich trauen, sich der Realität stellen. Realität heißt auch, Erwartungen der Kollegen zu erfüllen, Fachartikel zu veröffentlichen, den Konkurrenzdruck auszuhalten, immer auf dem neuesten Stand zu sein. Und eben den Startknopf zu drücken.

### **Vielseitig interessiert**

Um Abzuschalten geht József Fortágh gerne joggen, dreht eine Runde durch den botanischen Garten und endet danach meist in der Tübinger Innenstadt, wo er so gut wie immer auf irgendeinen Bekannten trifft. „Das ist das Tolle hier.“ Fortágh liebt die Natur und überhaupt, so berichtet er, faszinierte ihn schon vieles in seinem Leben. Die Physik war es lange Zeit nicht. Als Jugendlicher beschäftigte er sich mit allem Möglichen: Er lernte Trompete spielen, fotografieren, befasste sich mit Heilpflanzen, mit den Gesteinen und bastelte in der Holzwerkstatt seines Großvaters. Seine Eltern waren Ingenieure, das „Konstruktionsgen“ ist also in der Familie geblieben. „Wenn mich etwas zum Denken anregt, dann kann ich daran enormen Spaß entwickeln.“ In seiner Jugend waren Biologie und Chemie für ihn lange Zeit viel zugänglicher als

Physik. Ein Schüleraustausch mit der Partnerstadt Münnerstadt in Bayern brachte den ungarischen Gymnasiasten nach Deutschland. Dort lernte er die deutsche Sprache und durch einen faszinierenden Lehrer die Physik kennen. Später in Budapest, als er sich für Physik eingeschrieben hatte, verdiente er mit Deutschunterricht das Geld für sein Studium. „Die Zeit war nicht einfach, es war nach der Wende, keiner wusste so recht wohin.“ Aber Fortágh wusste: „Wer etwas erreichen will, der muss fleißig sein.“ Er kniete sich in seine Arbeit, studierte in Budapest und in München, kam schließlich zu Professor Zimmermann nach Tübingen. „Ich erlebe hier eine sehr produktive Zeit“, sagt József Fortágh. Sein Forschertraum? „Eine neue Quantentechnologie zu entwickeln, mit der man so präzise messen kann, dass man zum Beispiel die Erdoberfläche völlig sicher nach Bodenschätzen absuchen kann.“ Bis dahin, so viel steht fest, werden noch einige Atome ihre kalte Seite zeigen müssen.

### **Kontakt**

**Prof. Dr. József Fortágh**  
Eberhard-Karls-Universität Tübingen

Forschungsschwerpunkt: Molekulare Nanostrukturen und Quantengase – Nanotechnologie am Quantenlimit

Mehr Info:

[www.pit.physik.uni-tuebingen.de/fortagh](http://www.pit.physik.uni-tuebingen.de/fortagh)

# Kurzporträts



## Prof. Dr. Cedrik Meier

**Geboren:** 1974 in Dortmund

**Fachgebiet:** Physik

**Position:** Professor für Experimentalphysik, Universität Paderborn (2008)

**Förderung:** NanoFutur 2006-2010

**Thema:** NanoPhOx – Nanophotonik mit Oxiden

Im Nachwuchsprojekt NanoPhOx stehen zwei hochaktuelle Forschungsthemen im Vordergrund: photonische Kristalle und das Material Zinkoxid. Photonische Kristalle bieten die Möglichkeit, die Wechselwirkung von Licht mit dem umgebenden Material zu kontrollieren. So ist es beispielsweise möglich, Licht auf einem Halbleiterchip auf engstem Raum zu führen, abzubremesen, oder einzusperren. Auf diese Weise kann die Wechselwirkung zwischen Licht und Halbleiter erheblich verstärkt werden, sodass neuartige Bauelemente möglich werden. Beispiele hierfür sind etwa neue Nanolaser, die mit verschwindender Laserschwelle arbeiten, oder auch nichtklassische Lichtquellen, sogenannte Einzelphotonenquellen, die in der Quanteninformatik eine große Rolle spielen.

Mehr Info: [www.nanophox.net](http://www.nanophox.net)



## Prof. Dr. Kornelius Nielsch

**Geboren:** 1973 in Hamburg

**Fachgebiet:** Physik

**Position:** Professur für Experimentelle Physik, Institut für Angewandte Physik der Universität Hamburg (2007); ehemals MPI für Mikrostrukturphysik, Halle

**Förderung:** NanoFutur 2003-2008

**Thema:** Maßgeschneiderte multifunktionale Nanostäbe und Nanoröhren

Das Nachwuchsforscherprojekt befasst sich mit der Entwicklung und Anwendung von geordneten Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Membranen als Templatsystem für eindimensionale Nanoobjekte. Durch Füllen oder Beschichten von Porenstrukturen gelingt es, Nanostäbe bzw. Nanoröhren herzustellen. Wir arbeiten an drei Anwendungsgebieten mit dem Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Templatsystem: Zum einen hochpräzise magnetische Nanoobjekte, welche als Speichermedien oder in der magnetischen Sensorik eingesetzt werden können, zweitens die Entwicklung von thermoelektrischen Nanostrukturen und hocheffizienten Peltier-Kühlelementen sowie drittens die konforme Beschichtung von Membranstrukturen für chemische Reaktionen und Syntheseprozesse.

Mehr Info: [www.nanomikado.de](http://www.nanomikado.de)



## Prof. Dr. Filipp Oesterhelt

**Geboren:** 1969 in München

**Fachgebiet:** Biophysik

**Position:** Juniorprofessor für Nanoanalytik, Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

**Förderung:** NanoFutur 2004-2009

**Thema:** Neue Methoden zur kontrollierten molekularen Strukturbildung auf Oberflächen

Eine Methode wird entwickelt, mit der sich auf verschiedenen Oberflächen Strukturen aus einzelnen Biomolekülen aufbauen lassen. Das Verfahren nutzt die Möglichkeit des Rasterkraftmikroskops, einzelne nanometergroße Objekte gezielt zu adressieren und durch Ausüben von definierten Kräften zu manipulieren. Einzelne Partikel werden über biomolekulare Bindung mit der Spitze des Kraftmikroskops aufgenommen und an einer beliebigen Stelle nanometergenau positioniert. Herausforderungen waren die spezifische Funktionalisierung der Oberflächen und der Nanopartikel und die reproduzierbare Positionierung. Mit der etablierten Methode können künftig Strukturen für die molekulare Elektronik und Biosensorik erzeugt werden.

Mehr Info: [www.mpc.uni-duesseldorf.de/nanoanalytik/index.htm](http://www.mpc.uni-duesseldorf.de/nanoanalytik/index.htm)



### Dr. Dominik Schaniel

**Geboren:** 1974 in Chur, Schweiz

**Fachgebiet:** Physik

**Position:** Gruppenleiter, I. Physikalisches Institut, Universität zu Köln

**Förderung:** NanoFutur 2006-2010

**Thema:** Molekulare nanoporöse Hybridmaterialien für die nichtlineare Photonik

**Ehrungen:** Max-von-Laue-Preis der Deutschen Gesellschaft für Kristallographie (2007)

Die Arbeitsgruppe untersucht in nanostrukturierte Netzwerke eingebettete Moleküle und Nanopartikel. Diese Nanohybride werden modifiziert, um neue optische Funktionalitäten zu generieren. Ziel des Projekts ist es, die funktionellen Eigenschaften von Farbstoffmolekülen und photoschaltbaren Molekülen, wie die Emissionsbandbreite oder die Schaltgeschwindigkeit, durch Einbettung in nanoporöse Trägermaterialien zu verändern und bezüglich der gewünschten Anwendung zu optimieren. Farbstoffe emittieren Licht über einen großen Spektralbereich und eignen sich daher für durchstimmbare Laser. In photochromen Molekülen lassen sich durch Lichtbestrahlung ultraschnelle Absorptions- und Brechwertänderungen induzieren, die diese Materialien für rein optische Datenmanipulation prädestinieren. Anwendungen zielen auf optische Bauelemente für Farbstofflaser, Kurzzeitdatenspeicher und schnelle Datenübertragung.

**Mehr Info:** [www.ph1.uni-koeln.de/node/212](http://www.ph1.uni-koeln.de/node/212)



### Prof. Dr. Oliver G. Schmidt

**Geboren:** 1971 in Kiel

**Fachgebiet:** Physik

**Position:** Direktor am Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung Dresden, gleichzeitig Professor für Materialsysteme der Nanoelektronik an der TU Chemnitz

**Förderung:** NanoFutur 2003-2008

**Thema:** MANAKO – Maßgeschneiderte Nanokomponenten: Herstellung und Funktionalisierung

**Ehrungen:** Otto-Hahn-Medaille, Max-Planck-Gesellschaft (2000); Philip Morris Forschungspreis, Philip Morris Stiftung (2002), Carus-Medaille, Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina (2005); Editorial Board Member of „Journal of Physics D: Applied Physics“ (2007)

Wir haben eine universelle Methode entwickelt, um Mikro- und Nanoröhren aus nahezu beliebigen Materialien und Materialkombinationen herzustellen. Dazu werden verspannte Schichten auf einer Polymerschicht abgeschieden und durch ein Lösungsmittel abgelöst. Durch die Entspannung rollen sich die Schichten zu Röhrchen mit definierter Länge und Durchmesser auf einem Substrat auf und können als optische Ringresonatoren, magneto-fluide Sensoren und als Mikrojets eingesetzt werden. Des Weiteren konnten Zellen gezielt und kontrolliert in biokompatiblen Röhrenstrukturen angezüchtet und kultiviert werden. Si/SiO<sub>x</sub>-Mikroröhren wurden als optofluidische Komponenten eingesetzt, um Glucose in extremer Verdünnung (Femtoliterskala) zu detektieren. Die aus aufgerollten Schichtsystemen hergestellten Mikrojets wurden durch den Einbau von magnetischen Materialien durch ein äußeres Magnetfeld gesteuert.

**Mehr Info:** [www.ifw-dresden.de/institutes/iin](http://www.ifw-dresden.de/institutes/iin)



## Auf der Spur nach dem Licht der Zukunft

**Hoch im Norden Deutschlands, da wo sich die Ostsee in die Kieler Bucht drängt, hat Martina Gerken (35 Jahre) an der Christian-Albrechts-Universität der Glühlampe den finalen Kampf angesagt.**

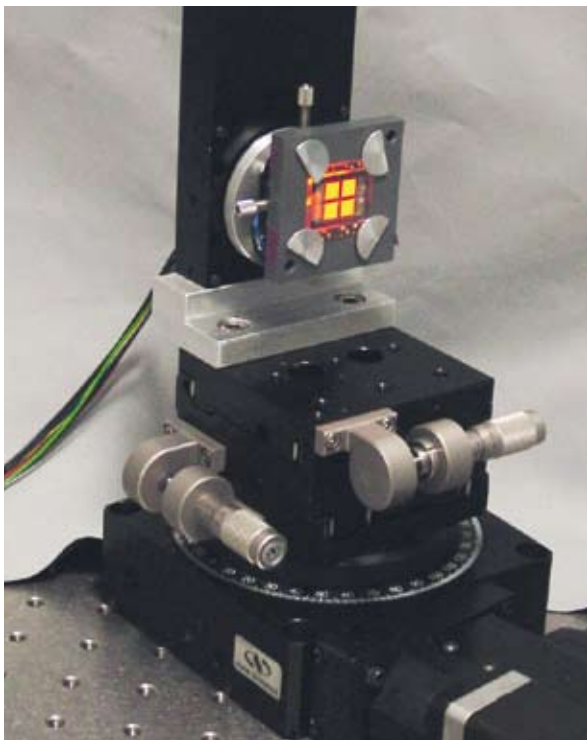
Die promovierte Ingenieurin arbeitet mit Hochdruck an der totalen Abschaffung des traditionellen Leuchtkörpers. Die Wissenschaftlerin forscht mit ihrem Team in Kiel an der Verbesserung der Strahlkraft von Leuchtdioden. „Irgendwann“, hofft die Professorin, „werden auch in der Küche nur noch Leuchtdioden strahlen.“

Prof. Dr. Martina Gerken, mit einem sanften Lächeln im Gesicht, ist eine Expertin, wenn es um Fragen der Erleuchtung geht – zumindest auf elektrischer Ebene. Und auf diesem Sektor ist seit einiger Zeit vieles in Bewegung geraten. Sogenannte LEDs (Licht emittierende Dioden) bieten ein großes Potenzial bei der Suche nach alternativen Lichtquellen. Mit effektiven Leuchtdioden ließen sich nämlich nicht nur sehr viel Energie, sondern auch immense Kosten einsparen. Denn gängige Glühlampen wandeln immer noch einen großen Teil des Stromes in ungenutzte Wärme um. Glühlampen gehen zudem schnell kaputt, leuchten im Schnitt nur 2.000 Stunden und brauchen einen Hohlkörper zum Strahlen. Leuchtdioden dagegen sind äußerst sparsam im Energieverbrauch, sie strahlen im Schnitt 50.000 Stunden, kommen ohne großen Hohlkörper aus und halten Erschütterungen stand. Und dennoch sind diese modernen Lichtquellen bisher noch nicht effektiv genug für die großflächige Verwendung im Alltag. Denn LEDs und auch sogenannte OLEDs (Leuchtdioden auf der Basis organischer Halbleiter) können noch nicht genug Licht pro Fläche produzieren. „Ihr Output ist zu schwach“, sagt die Wissenschaftlerin. „Das ist ein zentrales Problem.“ Zudem kann eine LED das weiße Licht nur unzureichend produzieren. Deshalb werden LEDs bisher am häufigsten als Signalleuchten eingesetzt. Die kleinen, meist roten oder grünen Lämpchen leuchten an Radioweckern, an Stereoanlagen und zunehmend auch in Verkehrsampeln oder in Heckleuchten an Autos. OLEDs hingegen sind aus mehreren orga-

nischen Schichten aufgebaut und gelten als die neue Generation der Leuchtdioden. Sie kann man sich als dünne biegsame Licht erzeugende Schicht auf einer Oberfläche vorstellen. Besonders häufig werden sie für Displays verwendet.

Im Haushalt sind beide Lichtquellen noch eher selten zu finden. Genau das möchte Martina Gerken mit ihrem Forscherteam an der Universität ändern. Ihre wichtigsten Helfer dabei sind – neben ihren wissenschaftlichen Mitarbeitern – kleine Nanoteilchen. Diese winzig kleinen Partikel faszinieren derzeit viele Forschergruppen. „Nanopartikel können aufgrund ihrer Winzigkeit Oberflächen verändern, sie optisch streuend oder leitfähiger machen“, sagt die Ingenieurin. In Deutschland forschen zurzeit vier renommierte Wissenschaftlerteams an der Verbesserung der Leuchtdiodentechnik. Es ist quasi ein Rennen um die Patente für das Licht der Zukunft. Auch die Industrie ist an den Ergebnissen interessiert. Martina Gerken kooperiert bei ihren Forschungen mit der Firma Osram. So ist sichergestellt, dass die neuesten Entwicklungen schnell in Serie produziert werden können.

Die junge Professorin hat für ihren Forschungsansatz mit dem Titel „Nanostrukturierte optoelektronische Bauelemente“ 1,6 Millionen Euro vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) bekommen. Das Geld stammt aus der Nachwuchsförderung NanoFutur. Die Summe bietet der Wissenschaftlerin „sehr viel Forschungsfreiheit, auch abseits von industriellen Interessen“, wie sie sagt. Martina Gerken kann langfristig planen, kann Doktoranden anstellen, kann Versuchsgeräte dazukaufen, den Dingen freien Lauf lassen. „Ohne Geld gibt es keine freie Forschung“, sagt die Professorin. Und ohne Forschung gibt es keinen Fortschritt. Deshalb befasst sich das Forschungsteam um Martina Gerken fast täglich mit der Frage: „Welche nanostrukturierten Materialien haben die beste Fähigkeit, die Effizienz der Leuchtdioden drastisch zu steigern?“ Nach derzeitigen Erkenntnissen kann die Lichtausbeute einer herkömmlichen LED – technisch gesprochen die Auskoppelleffizienz – durch eine Nanostruktur auf der Oberfläche um bis zu 400 Prozent verbessert werden. Aber welche kleinsteilige Oberflächenstruktur ist hier tatsächlich am leistungsfähigsten? Welche Beschichtung hat das Potenzial, das optische Signal am intensivsten weiterzuleiten?



An diesem Messplatz werden OLEDs analysiert.

Die Forschergruppe vergleicht hierfür drei Beschichtungsmethoden. Mit der ersten Methode werden streuende Nanopartikel in die LED-Struktur eingebracht, mit der zweiten Methode werden periodisch strukturierte photonische Kristallstrukturen in der LED benutzt und mit der dritten Methode setzen die Wissenschaftler plasmonische Effekte in Metallen ein. Das Potenzial der unterschiedlichen Ansätze wird durch eine umfassende rechnergestützte Modellierung der nanostrukturierten Bauelemente erreicht.

### Auf Spurensuche

Dabei steht die Wissenschaftlerin gerade selbst eher selten im Labor. Die Spitzenforscherin ist im Sommer ein zweites Mal Mutter geworden. Als Martina Gerken selbst klein war und noch in Ganderkesee, einem beschaulichen Ort zwischen Bremen und Oldenburg, durch den Tag hüpfte, wählte sie zum Spielen lieber den Fischertechnik-Kasten als die Barbiepuppe. In der Schule belegte sie später die Leistungskurse Physik und Mathe. „Ich mag konkrete Lösungen für konkrete Probleme“, sagt die junge Forscherin. Mittlerweile lebt sie in Kiel. Hier lehrt und forscht sie am Institut für Elektrotechnik und Informationstech-



Im Handschuhkasten werden organische Bauelemente hergestellt.

nik. Die Erfahrungen in der Lehre waren dabei ebenso wichtig wie die Forschung selbst. „Meine erste Vorlesung, die ich gehalten habe, war ein wenig ernüchternd“, sagt sie in der Rückschau. „Bei der anschließenden Prüfung erkannte ich leider, dass nicht viel Stoff bei den Studierenden hängen geblieben war.“ Sie ging auf Spurensuche und entdeckte das Geheimnis einer guten Lehre: „Motivation, Anschaulichkeit, Praxis.“ Mittlerweile weiß die Jungprofessorin: „Es ist fast wichtiger, wie man lehrt als was man lehrt.“ Dann klappt es auch mit den Studenten.

Bei ihr selbst hat es offensichtlich immer sehr gut geklappt: Ein Abitur mit Traumnote, Elektrotechnikstudium in Karlsruhe, Diplom „mit Auszeichnung“, Forschungsaufenthalte und Promotion an der Stanford University in Kalifornien/USA, Postdoktoranden-Eliteförderung der Landesstiftung Baden-Württemberg. Das ist nur ein kleiner Ausschnitt eines beachtlichen Lebenslaufes. Vielleicht ist aber der Vater einer Austauschschülerin in Kalifornien daran schuld, dass Martina Gerken eine Spitzenforscherin geworden ist. Während der Schulzeit verbrachte die Wissenschaftlerin einige Zeit bei einer Gastfamilie in Modesto. Der Vater der amerikanischen Familie arbeitete während ihres



Aufenthaltes an einer optischen Messtechnik, um Schilder gerade an Flaschen kleben zu können. Dieses konkrete Problem, diese fassbare Aufgabe – genau das faszinierte Martina Gerken besonders. Die Suche nach Lösungen für alltägliche Probleme, das war und ist ihr Antrieb. „In meinem Beruf gibt es immer etwas Neues“, schwärmt sie. Ingenieure lieben Praktisches, Handfestes, etwas, das man vorzeigen kann.

### Blutanalyse im Kleinstformat

Vorzeigen lässt sich auch Gerkens weiteres Forschungsprojekt an der Technischen Fakultät der Kieler Universität. So versucht die Wissenschaftlerin mit sogenannten Lab-on-a-Chip-Systemen die optische Messtechnik in der Medizin zu verkleinern. Zum Beispiel für Blutanalysegeräte.

Noch ist diese Labortechnik, die Ergebnisse aus dem Blut über optische Signale erhält, geradezu riesig und nicht transportabel. Deshalb werden die Blutproben der Patienten oft in ein Großlabor geschickt, wo derartige Maschinen stehen. Martina Gerken arbeitet mit ihrem Team an einer Verkleinerung dieser Technik, auch hier nutzt sie das Potenzial der Leuchtdioden. Mit einem entsprechenden

Labor auf einem kleinen Chip, nichts anderes bedeutet das Lab-on-a-Chip-System, könnte das Analyseverfahren direkt in der Nähe des Patienten erfolgen. Die Laboreinheit hätte der Arzt sozusagen in der Tasche dabei. Es gibt zwar bereits kleine Blutanalysegeräte, die allerdings messen die Werte des Blutes auf chemischer Reaktionsbasis. So können zum Beispiel Diabetespatienten ihren Blutzuckerwert mit einem kleinen „Taschenlabor“ bestimmen lassen. Martina Gerken und ihr Nanoforschungsteam möchten nun einen Chip entwickeln, der das Blut per optischer Erfassung in Kleinstformat analysieren kann. Statt durch eine chemische Reaktion würde das Blut per Lichtstrahl untersucht – schnell und preiswert.

Eine Herausforderung ist es, die Messempfindlichkeit der Minianalyseeinheit optimal herzustellen. Im Prinzip funktioniert das Labor auf folgendem Wege: Ein Lichtstrahl wird über einen Wellenleiter auf einem Mikrochip zur Flüssigkeit (Blut) geschickt. Als Lichtquelle können Leuchtdioden dienen. Wenn das Licht auf das Blut trifft, wird es in veränderter Form reflektiert. Ein Detektor zeigt die veränderten Lichtwerte an und macht so Aussagen über bestimmte Werte des Blutbildes möglich. „Damit hätte ein Arzt eine sehr schnelle Analyseeinheit zur Verfügung und müsste das Blut nicht in einem Großlabor auswerten lassen“, sagt die Wissenschaftlerin. Sie hofft, dass dies in ein paar Jahren zur normalen medizinischen Ausstattung gehören wird. Vielleicht werden dann ihre Kinder bereits davon profitieren können – von den Lichtquellen der Zukunft.

### Kontakt

Prof. Dr. Martina Gerken  
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Forschungsschwerpunkt: Nanostrukturierte optoelektronische Bauelemente

Mehr Info:  
[www.isp.tf.uni-kiel.de](http://www.isp.tf.uni-kiel.de)

# Kurzporträts



## Dr. Dmitry Shchukin

**Geboren:** 1976 in Minsk, Weißrussland

**Fachgebiet:** Chemie

**Position:** Gruppenleiter, Max-Planck-Institut für Kolloid- und Grenzflächenforschung, Golm

**Förderung:** NanoFutur 2007-2011

**Thema:** Nanoskalige Hohlstrukturen mit eingebetteten Gastmolekülen für neue aktive Korrosionsschutzsysteme

Ziel des Projekts ist die Entwicklung einer neuen Generation von selbstheilenden Antikorrosionsbeschichtungen. Diese werden Nanocontainer enthalten, die mit organischen und anorganischen Inhibitoren gefüllt sind und die Fähigkeit zur kontrollierten Freisetzung dieser Inhibitoren besitzen. Die bisher üblichen Chromatbeschichtungen sind seit 2007 aufgrund der toxischen Effekte des Cr6+ in Europa verboten. Daher hat die Entwicklung von chromatfreien umweltfreundlichen aktiven Antikorrosionssystemen höchste Priorität für viele Industriezweige. Die hohlen Nanostrukturen mit Polyelektrolythüllen bieten sich hauptsächlich wegen ihrer kontrollierbaren Ausschüttungseigenschaften als Lösung an.

**Mehr Info:** [www.mpikg.mpg.de/grenzflaechen2/arbeitsgruppen](http://www.mpikg.mpg.de/grenzflaechen2/arbeitsgruppen)



## Dr. Hao Shen

**Geboren:** 1968 in Shanghai/China

**Fachgebiet:** Experimentalphysik und Nanoanalytik

**Position:** Gruppenleiter, Institut für Anorganische Chemie, Universität zu Köln

**Förderung:** NanoFutur 2007-2011

**Thema:** MONOGAS – Design und Modifikation von Metall-Oxid-Nanodrähten für optische und gassensitive Anwendungen

Aufgrund ihrer speziellen Eigenschaften sind eindimensionale halbleitende Nanostrukturen zu einer der vielfältigsten multifunktionalen Materialklasse geworden. Im Rahmen dieses Projekts werden reproduzierbar hergestellte, hochempfindliche und miniaturisierte optische Sensoren sowie Gassensoren entwickelt. Die Nanodrähte werden für diese Anwendungen gezielt chemisch und strukturell modifiziert. Dabei werden insbesondere FET-Sensoranordnungen, die auf Nanodrähten beruhen, mit einem für den Mehrfachnachweis geeigneten Detektionssystem entwickelt. Ferner wird die bestehende Technologie der molekülbasierten Gasphasensynthese von Nanodrähten im Hinblick auf den industriellen Einsatz optimiert. Die Nanodrähte sollen auf lange Sicht als aktive Bausteine in der Nanoelektronik bzw. Nanooptoelektronik eingesetzt werden.

**Mehr Info:** [www.inm-gmbh.de/junior\\_research\\_group/research/?lang=eng](http://www.inm-gmbh.de/junior_research_group/research/?lang=eng)



## Dr. habil. Jurgen Hubert Smet

**Geboren:** 1968 in Belgien

**Fachgebiet:** Physik, Elektrotechnik, Informatik

**Position:** Gruppenleiter, Max-Planck-Institut für Festkörperforschung, Stuttgart

**Förderung:** NanoFutur 2004-2009

**Thema:** Nanomaterialien für Terahertzforschung und -technologie

**Ehrungen:** The M.I.T. – Japan Science and Technology Award (1993); Gerhard Hess-Preis der DFG (2000), Walter-Schottky-Preis der DPG (2003)

Ein vielversprechendes Ausgangsmaterial wird auf Anwendungen zur ultraschnellen Umwandlung von optischen Signalen in elektrische Signale untersucht. Dies besteht aus einem Übergitter äquidistanter Schichten von selbstorganisierten ErAs-Nano-Inseln, die mithilfe der Molekularstrahl-epitaxie in eine Halbleitermatrix eingebettet werden. Die relevanten Materialeigenschaften (z. B. Photoleitung, Antwortzeiten) werden erkundet und geeignete Materialien für die Erzeugung von gepulster, breitbandiger Terahertzstrahlung eingesetzt. Die Perspektive ist, die Terahertztechnologie mithilfe heute verfügbarer Glasfaserkomponenten auf eine benutzerfreundliche Weise für die Telekommunikation nutzbar zu machen.

**Mehr Info:** [www.fkf.mpg.de/en/fr\\_departments.html](http://www.fkf.mpg.de/en/fr_departments.html)



### **Dr. Volker Stadler**

**Geboren:** 1971 in Heidelberg

**Fachgebiet:** Chemie

**Position:** Gruppenleiter, Deutsches Krebsforschungszentrum (DKFZ), Heidelberg

**Förderung:** NanoFutur 2003-2008

**Thema:** Hochdurchsatzverfahren zur bioorganischen Katalyse

In diesem Vorhaben wurde ein integriertes System zur Hochdurchsatzsuche nach bioorganischen Katalysatoren entwickelt. Auf Basis eines neuartigen kombinatorischen Verfahrens werden Ligandenarrays auf den Elektroden eines Mikrochips synthetisiert. Dabei werden Aminosäuren als deren Bausteine in definierte Mikropartikel eingeschlossen und durch elektrische Felder auf ausgewählten Elektroden abgelagert. Dort werden die Partikel geschmolzen, um die Aminosäuren freizusetzen und die kombinatorische Synthese auszulösen. Die durch dieses Verfahren erreichte Arraydichte übertrifft den Stand der Technik um einen Faktor 1.600 und beschleunigt die Hochdurchsatzsuche erheblich. Werden Metallzentren in die Peptidstrukturen eingebaut, können katalytische Ereignisse in den Pixelelektroden nachgewiesen werden. Das Konzept wird an der photokatalytischen Freisetzung von Wasserstoff untersucht und wird zur Suche nach neuen Katalysatoren zur solaren Wasserstoffgewinnung eingesetzt. Außerdem werden Synergien für die Herstellung komplexer Peptidarrays für diagnostische und therapeutische Zwecke erwartet.

**Mehr Info:** [www.dkfz.de/en/b120\\_cbpl/index.html](http://www.dkfz.de/en/b120_cbpl/index.html)



### **PD Dr. Robert W. Stark**

**Geboren:** 1970 in München

**Fachgebiet:** Geowissenschaften

**Position:** Gruppenleiter, Ludwig-Maximilians-Universität München, Geo- und Umweltwissenschaften und Center for Nanoscience CeNS

**Förderung:** NanoFutur 2003-2008

**Thema:** Nanomanipulation biologischer und biokompatibler Materialien

Die Nachwuchsgruppe erarbeitet im Vorhaben neue Werkzeuge, Methoden und Verfahren für die Nanobiotechnologie. Dazu gehören das Rapid Prototyping von Funktionsstrukturen auf nanoskaliger Ebene und die Modifikation von Oberflächeneigenschaften wie Benetzbarkeit, Adhäsion, Reibung oder die Anpassung der spezifischen chemischen Wechselwirkung. Für die Analyse biologischer und bioverträglicher Materialien in Flüssigkeiten werden mechanische, chemische und optische Methoden der Nanomanipulation mit mikrofluidischen Systemen kombiniert. Die kontrollierte Positionierung einzelner Nanopartikel oder Moleküle ermöglicht die Erforschung neuer chemischer Reaktionen auf der Basis einer gerichteten Selbstorganisation. Anwendungsbeispiele sind die Detektion kleinster Analytmengen in der Biosensorik, die biomimetische Beschichtung von Implantatoberflächen oder die Handhabung einzelner biologischer Objekte wie Zellen oder Moleküle etwa zum Aufbau künstlicher biomolekularer Einheiten („Nanoroboter“) als Bausteine für eine künftige Nanofabrik.

**Mehr Info:** [www.nanobiomat.de](http://www.nanobiomat.de)



# Mehr Speicher auf weniger Raum

**Marc Tornow (41 Jahre) lehrt am Institut für Halbleitertechnik der TU Braunschweig Informationstechnik und Physik. Er forscht dort unter anderem an neuen Funktionsmaterialien für Mikrochips. Mehr Speicherkapazität auf weniger Raum – das ist der Trend. Und auch dafür bietet die Nanotechnologie eine Chance. Ein Gespräch mit dem Experimentalphysiker.**

**Herr Professor Tornow, Sie haben zwei Kinder im Alter von 8 und 10 Jahren. Was antworten die beiden, wenn sie gefragt werden, was der Papa macht?**

Die haben schon eine Ahnung, woran ich arbeite. Sie sagen, der Papa ist Forscher oder Wissenschaftler an der Uni und arbeitet mit Nanotechnik. Ich habe sie natürlich bereits ins Labor und auf eine Fachtagung mitgenommen. Die beiden wissen zum Beispiel, dass Nano sehr, sehr klein ist.

**Wie haben Sie Ihr Interesse an Physik entdeckt?**

Bereits als Schüler hatte ich große Freude an naturwissenschaftlichen Fragestellungen und elektronischen Experimenten. Zu Hause baute ich besonders gerne kleine Experimente auf, entwickelte zum Beispiel auch Schaltkreise. Ich fand das sehr spannend. Später in der Schule wählte ich Physik und Chemie als Leistungskurse.

**Warum haben Sie sich auf Nanotechnologie spezialisiert?**

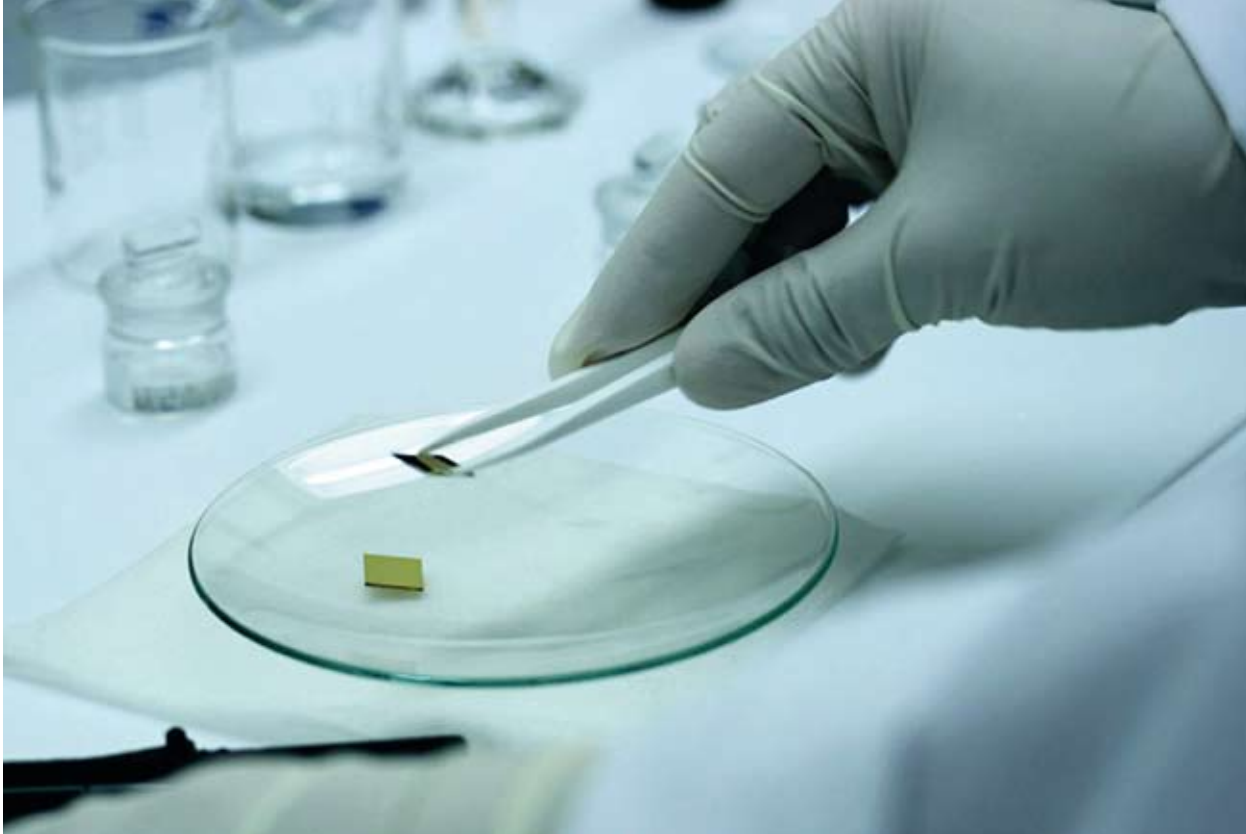
Aus meiner Sicht stellt die Nanotechnologie eines der aktuell spannendsten Forschungsgebiete dar, sowohl im Bereich der wichtigen Grundlagenforschung der Nanowissenschaften als auch in Bezug auf die daraus hervorgehenden, zahlreichen bedeutsamen Anwendungen. Ein großer Reiz entsteht dadurch, dass man mit Wissenschaftlern vieler anderer Fachrichtungen zusammenarbeitet: Physik, Chemie, Material- und Ingenieurwissenschaften spielen gleichermaßen eine große Rolle.

**Wie würden Sie einem Laien erklären, woran Sie forschen?**

Meine Hauptforschungsgebiete sind Nanoelektronik und Biosensorik. Im ersten dieser beiden Schwerpunkte befassen wir uns mit der Entwicklung neuartiger elektronischer Bauelemente auf dem Gebiet der sogenannten „molekularen Elektronik“. Hintergrund für diese Forschungsrichtung ist die stürmische Entwicklung der Mikroelektronik während der letzten Jahrzehnte. Heutige Computerchips, wie sie in jedem PC vorhanden sind, vereinen bereits mehrere Hundert Millionen Transistoren auf der Fläche eines Fingernagels und die kleinsten Strukturen sind etwa 50 Nanometer groß. Das heißt, sie sind etwa 1.000-mal kleiner als die Dicke eines Haares. Da abzusehen ist, dass sich der Trend der ständigen Verkleinerung in den nächsten Jahren fortsetzen soll, wird weltweit intensiv nach Alternativen zur herkömmlichen Siliziumtechnologie gesucht. Silizium ist ein anorganischer Halbleiter – das Material, aus dem Computerchips hergestellt werden.

**Warum muss eine Alternative her?**

Irgendwann wird die physikalische Grenze der Verkleinerung von Siliziumbauelementen erreicht sein. Dann müssen neuartige Funktionsprinzipien von Bauelementen, auch auf der Grundlage neuer Materialien, entwickelt sein. Es gibt eine Art Gesetzmäßigkeit bei den Mikrochips, das sogenannte Moore'sche Gesetz, welches von Gordon Moore, einem Mitgründer der Firma Intel, bereits in den 60er-Jahren aufgestellt wurde. Demnach verdoppelt sich die Anzahl an Transistoren zum Beispiel auf einem handelsüblichen Prozessor etwa alle zwei Jahre. Ein wichtiger Schritt für die damit verknüpfte, ständige Verkleinerung der Strukturen wäre der Einsatz von organischen Molekülen als elektronische Bauelemente. Diese sind mit Abmessungen weniger Nanometer rund eine Größenordnung kleiner als die kleinsten Abmessungen der heutigen Transistoren auf den Mikrochips. Organische Moleküle wären extrem preiswert in großer Zahl herzustellen und könnten mit neuen Funktionen ausgestattet werden. Unsere Arbeit konzentriert sich darauf, die „Anschlusskontakte“ für die Moleküle herzustellen, um deren elektronische Eigenschaften zu messen und diese schließlich als Bauelemente nutzbar zu machen. Wir entwickeln diese Kontakte auf der Grundlage von Halbleiter-



Auf einen Siliziumchip werden molekulare Schichten aufgetragen.

materialien wie Silizium, um eine schrittweise Integration der Molekularelektronik in die heutige Siliziumtechnik möglich werden zu lassen. Wir bauen also eine Art Brücke zwischen den neuen organischen Molekülen und dem Silizium.

#### Sie forschen auch an neuen Möglichkeiten, um DNA und Proteine schnell nachweisen und auswerten zu können?

Wir erforschen und entwickeln neuartige Konzepte für die Biosensorik. Dabei arbeiten wir an Systemen, mit deren Hilfe sich Biomoleküle wie Proteine oder DNA empfindlich nachweisen lassen. Bisher ist es meist so, dass DNA immer erst mit einer fluoreszierenden Markierung sichtbar gemacht werden muss. Das ist aufwendig. Proteine können zudem überhaupt nur schwer auf diese Weise nachgewiesen werden. Neue Systeme sind deshalb von sehr großer Bedeutung, zum Beispiel in der medizinischen Diagnostik. Stellen Sie sich vor, sie könnten die DNA direkt ohne eine vorherige Markierung nachweisen und auswerten. Dafür haben wir etwa Siliziumnanodrähte auf ihrer Oberfläche mit speziellen Fängermolekülen

versehen, sodass die Anbindung von DNA elektrisch nachgewiesen werden konnte. Der Nachweis beruht dabei prinzipiell auf demselben Effekt, mit dem auch Transistoren betrieben werden. Auf unserem Arbeitsgebiet dieser DNA-basierten Sensorik haben wir weiterhin ein System entwickelt, bei welchem an Goldoberflächen gebundene DNA-Stränge elektrisch zwischen einem liegenden und einem stehenden Zustand hin- und hergeschaltet werden können. Das Schaltverhalten ist dabei stark von der Anbindung zum Beispiel eines weiteren Biomoleküls an diese DNA abhängig und kann somit genauso für die hochempfindliche Biosensorik genutzt werden. Denkbar ist, dass später einmal Proteine im Blut ganz schnell und mit großer Empfindlichkeit unter Nutzung derartiger Lab-on-a-Chip-Konzepte analysiert werden. Dies würde natürlich die Diagnostik revolutionieren.

#### Was bedeutet Ihnen die Unterstützung durch das BMBF?

Die Unterstützung meiner Arbeit im Rahmen einer BMBF-Nachwuchsgruppe „Nanotechnologie“ war und ist von sehr großer Bedeutung. Sie hat einen

ganz entscheidenden Anteil daran, dass meine wissenschaftlichen Ideen auf dem Gebiet der Nanotechnologie tatsächlich realisiert werden konnten. Darüber hinaus hat die Förderung damit wesentlich zu meiner persönlichen wissenschaftlichen Karriere beigetragen. Zusammen mit der Industriebeteiligung durch die Fujitsu Labs Europe stellte das BMBF eine sehr großzügige finanzielle Basis zur Verfügung, die die unabhängige Arbeit als echte Forschergruppe über fünf Jahre ermöglichte.

#### Wie sieht ein klassischer Tag an der Uni aus?

Ich komme gegen acht Uhr ins Büro. Regelmäßig bespreche ich die laufenden Experimente mit meinen Mitarbeitern im Labor und auch mit meinem in München verbliebenen Mitarbeiter, der derzeit dort seine Doktorarbeit abschließt. Dann treffe ich mich oft zu wissenschaftlichen Besprechungen mit Kollegen und Kooperationspartnern, arbeite an Publikationen oder Erfindungsmeldungen, schreibe Anträge für Forschungsprojekte und plane die weitere Vorgehensweise in den laufenden Projekten. Aufgrund meines Umzugs von der TU München an die TU Braunschweig Ende 2006 nimmt auch der Aufbau der Labore und der Arbeitsgruppe noch immer Zeit in Anspruch. Das bedeutet, ich plane und überwache die Umbaumaßnahmen in den Labors, entscheide über die Anschaffung neuer Messgeräte und vieles mehr. Einen klassischen Feierabend habe ich nicht. Selbstverständlich nimmt auch die Lehre an der Universität eine wesentliche Stellung ein, gerade mit Spezialvorlesungen auf dem Gebiet der Nanotechnologie und Nanowissenschaften können und sollen interessierte Studierende auf unsere Arbeiten aufmerksam gemacht und als wissenschaftlicher Nachwuchs für dieses Gebiet gewonnen werden.



Die gute technische Ausstattung ist wichtig für Spitzenforschung.

#### Nennen Sie bitte drei Voraussetzungen, die ein junger Mensch braucht, um Spitzenforscher zu werden.

Ich denke, Leidenschaft für die Forschung, für das Experimentieren oder Lösen theoretischer Problemstellungen ist eine wichtige Voraussetzung. Die Arbeit sollte zugleich Hobby sein, dann fallen auch die oft sehr ungewöhnlichen Arbeitszeiten wenig ins Gewicht! Und schließlich würde ich empfehlen, genau dasjenige Gebiet auszuwählen, für welches man selber am meisten Interesse aufbringt, und sich nicht ausschließlich von Trends oder externen Ratschlägen leiten zu lassen. Schließlich müssen die Rahmenbedingungen stimmen, sodass die jungen Wissenschaftler oder Wissenschaftlerinnen ausreichend Freiheit erhalten, über einen längeren Zeitraum unabhängig und mit ausreichender finanzieller Ausstattung zu forschen. Genau dies ermöglicht in vorbildlicher Weise die Förderung durch das BMBF.

#### Was möchten Sie noch erreichen auf dem Feld der Nanoforschung? Gibt es eine Art „Forschertraum“?

Es gibt immer viele Ideen zu neuen Projekten, viel mehr als man tatsächlich bearbeiten kann, gerade wenn man sich auf den internationalen Fachkonferenzen über die neuesten Entwicklungen mit Kollegen austauscht. Das Feld der Nanotechnologie wird sich sicher für eine lange Zeit weiterhin so rasant entwickeln. Ein „Forschertraum“ wäre, dass unsere derzeitigen Arbeiten an den Grundlagen neuartiger Nanoelektronik und Biosensorik tatsächlich in der Zukunft einen Beitrag zu Anwendungen leisten könnten, welche für die wesentlichen Themen des 21. Jahrhunderts wie Gesundheit, Kommunikation, Mobilität und Energie bedeutsam sind.

#### Kontakt

Prof. Dr. Marc Tornow  
Technische Universität zu Braunschweig

Forschungsschwerpunkt: Halbleiternanostrukturen für molekulare Bioelektronik

Mehr Info:  
[www.iht.tu-bs.de/EN/bn\\_group.html](http://www.iht.tu-bs.de/EN/bn_group.html)

# Kontakte



**Kannan Balasubramanian**, Max-Planck-Institut für Festkörperforschung, Stuttgart, „Funktionalisierte Nanoröhren und Nanodrähte für die (bio-)chemische Analytik und medizinische Diagnostik (nanomedii)“, E-Mail: B.Kannan@fkf.mpg.de

**Stefan Diez**, Max-Planck-Institut für molekulare Zellbiologie und Genetik, Dresden, „Einsatz biomolekularer Motorsysteme für die Generierung und Manipulation von Nanostrukturen“, E-Mail: diez@mpi-cbg.de

**József Fortágh**, Eberhard-Karls-Universität Tübingen, „Molekulare Nanostrukturen und Quantengase – Nanotechnologie am Quantenlimit“, E-Mail: fortagh@pit.physik.uni-tuebingen.de

**Martina Gerken**, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, „Nanostrukturierte optoelektronische Bauelemente“, E-Mail: mge@tf.uni-kiel.de

**Rainer Haag**, Freie Universität Berlin, „Spaltbare Nanopartikel als intelligente Transportsysteme für biomedizinische Anwendungen – vom Labor zur Klinik“, E-Mail: haag@chemie.fu-berlin.de

**Wolfgang Harneit**, Freie Universität Berlin, „Molekulare Spinelelektronik“, E-Mail: harneit@physik.fu-berlin.de

**Frank Hauptert**, Institut für Verbundwerkstoffe GmbH, Kaiserslautern, „Nanopartikelverstärkte polymere Hochleistungskunststoffe – Technische Leistungsfähigkeit und wirtschaftliche Herstellverfahren“, E-Mail: frank.hauptert@ivw.uni-kl.de

**Rainer Hillenbrand**, Max-Planck-Institut für Biochemie, Martinsried, „Phonon-Photonik – Nanooptik mit Infrarotlicht“, E-Mail: hillenbr@biochem.mpg.de

**Hendrik Hölscher**, Universität Münster, „Quantitative Rasterkraftspektroskopie in der Nanotribologie und -biologie“, E-Mail: hendrik.hoelscher@imt.fzk.de

**Stefan Kaskel**, Technische Universität Dresden, „Nanokomposite und Hybridmaterialien“, E-Mail: stefan.kaskel@chemie.tu-dresden.de

**Mato Knez**, Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik, Halle, „Funktionelle 3D-Nanostrukturen mittels Atomic Layer Deposition“, E-Mail: mknez@mpi-halle.eu

**Guggi Kofod**, Universität Potsdam, „Weiche Nanokomposit-Aktormaterialien mit sehr hohen elektromechanischen Koeffizienten für künstliche Muskeln“, E-Mail: gkofod@uni-potsdam.de

**Ralph Krähnert**, Leibniz-Institut für Katalyse e. V. an der Universität Rostock, „Rationales Design poröser Katalysatorfilme im Nanometerbereich – DEPOKAT“, E-Mail: kraehnert@aca-berlin.de

**Felix Kratz**, Klinik für Tumorbiologie an der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, „Spaltbare Nanopartikel als intelligente Transportsysteme für biomedizinische Anwendungen – vom Labor zur Klinik“, E-Mail: felix@tumorbio.uni-freiburg.de

**Maximilian Kreiter**, Max-Planck-Institut für Polymerforschung, Mainz, „Farbstoffe in strukturierter Nanoumgebung“, E-Mail: kreiter@mpip-mainz.mpg.de

**Max Lemme**, Gesellschaft für Angewandte Mikro- und Optoelektronik – AMO GmbH, Aachen, „Alternative Werkstoffe für die Nanoelektronik: Graphen (ALEGRA)“, E-Mail: lemme@amo.de, lemme@fas.harvard.edu

**Cedrik Meier**, Universität Duisburg-Essen, „NanoPhOx – Nanophotonik mit Oxiden“, E-Mail: cedrik.meier@uni-due.de

**Kornelius Nielsch**, Universität Hamburg, „Multifunktionale Nanostäbe und Nanoröhren“, E-Mail: knielsch@physnet.uni-hamburg.de

**Filipp Oesterhelt**, Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, „Neue Methoden zur kontrollierten molekularen Strukturbildung auf Oberflächen“, E-Mail: Filipp.Oesterhelt@uni-duesseldorf.de

**Dominik Schaniel**, Universität zu Köln, „Molekulare nanoporöse Hybridmaterialien für die nichtlineare Photonik“, E-Mail: dominik.schaniel@uni-koeln.de

**Heidemarie Schmidt**, Forschungszentrum Dresden-Rossendorf e. V., Dresden, „Magnetelektronik ferromagnetischer Traps in TCO und einzelner Spintraps in Quantenpunkten“, E-Mail: heidemarie.schmidt@fzd.de

**Oliver G. Schmidt**, Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung, Dresden, „Maßgeschneiderte Nanokomponenten, Herstellung und Funktionalisierung (MANAKO)“, E-Mail: o.schmidt@ifw-dresden.de

**Dmitry Shchukin**, Max-Planck-Institut für Kolloid- und Grenzflächenforschung, Golm, „Nanoskalige Hohlstrukturen mit eingebetteten Gastmolekülen für neue aktive Korrosionsschutzsysteme“, E-Mail: Dmitry.Shchukin@mpikg.mpg.de

**Hao Shen**, Leibniz-Institut für Neue Materialien INM, Saarbrücken, „Design und Modifikation von einzelnen und angeordneten Metall-Oxid-Nanodrähten für optische und gassensitive Anwendungen (MONOGAS)“, E-Mail: hao.shen@inm-gmbh.de

**Jurgen H. Smet**, Max-Planck-Institut für Festkörperforschung, Stuttgart, „Nanomaterialien für Terahertzforschung und -technologie“, E-Mail: jhsmet@klizix.mpi-stuttgart.mpg.de

**Volker Stadler**, Deutsches Krebsforschungszentrum (DKFZ), Heidelberg, „Hochdurchsatzverfahren zur bioorganischen Katalyse“, E-Mail: V.Stadler@dkfz-heidelberg.de

**Robert W. Stark**, Ludwig-Maximilians-Universität München, „Nanomanipulation biologischer und biokompatibler Materialien“, E-Mail: stark@lrz.uni-muenchen.de

**Marc Tornow**, Technische Universität zu Braunschweig, „Halbleiternanostrukturen für molekulare Bioelektronik“, E-Mail: m.tornow@tu-bs.de

**Heiko Zimmermann**, Fraunhofer-Institut für Biomedizinische Technik (IBMT), St. Ingbert, „Kryonanobiotechnologie“, E-Mail: heiko.zimmermann@ibmt.fhg.de





Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit vom Bundesministerium für Bildung und Forschung unentgeltlich abgegeben. Sie ist nicht zum gewerblichen Vertrieb bestimmt. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerberinnen/Wahlwerbern oder Wahlhelferinnen/Wahlhelfern während eines Wahlkampfes zum Zweck der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Bundestags-, Landtags- und Kommunalwahlen sowie für Wahlen zum Europäischen Parlament.

Misbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen und an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung.

Unabhängig davon, wann, auf welchem Weg und in welcher Anzahl diese Schrift der Empfängerin/dem Empfänger zugegangen ist, darf sie auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Bundesregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

