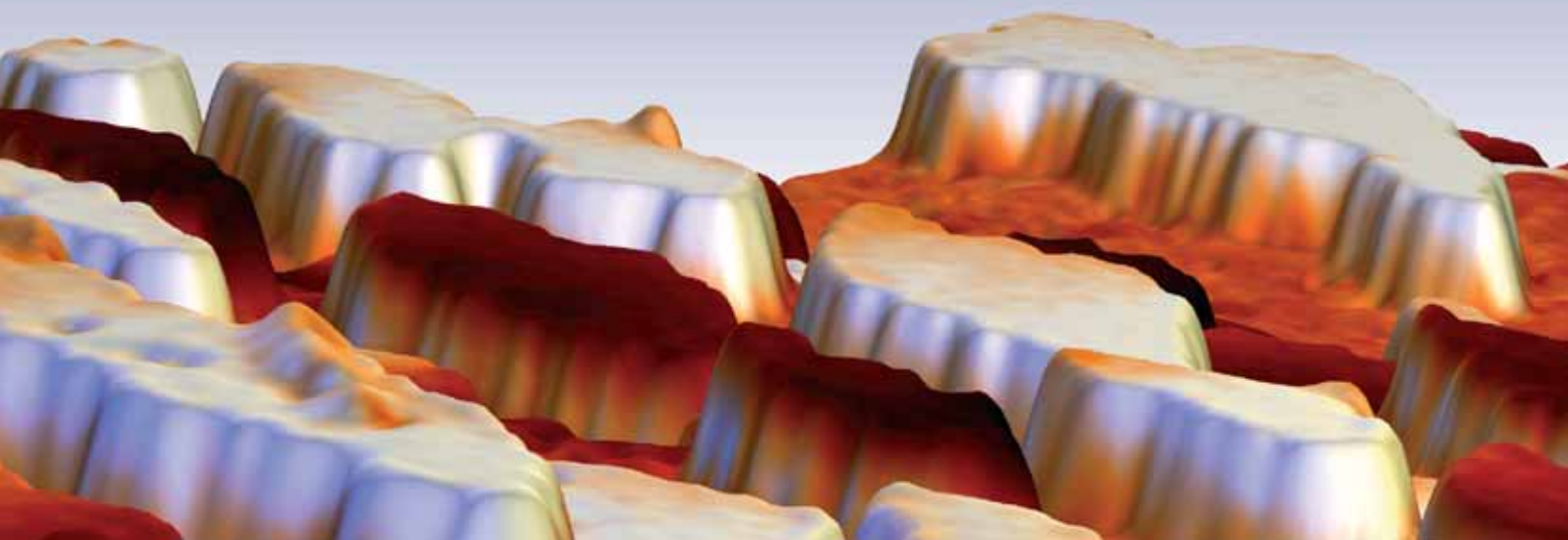
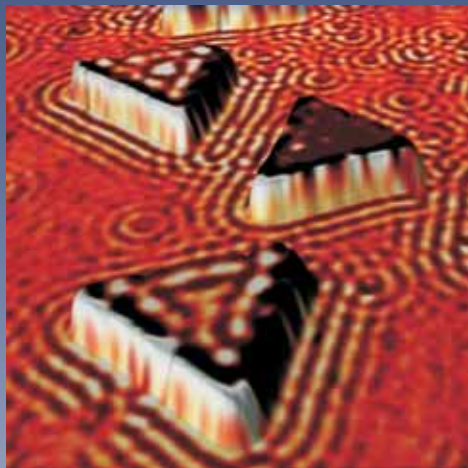


# Nanotechnologie in der Metropolregion Hamburg





- 2 Vorwort von Prof. Dr. Roland Wiesendanger
- 3 Grußwort von Staatsrat Dr. Roland Salchow

## Regionale Infrastruktur

- 4 Kompetenzzentrum HanseNanoTec
- 5 Innovationsstiftung Hamburg
- 6 MAZ Level One
- 7 Hamburger Sparkasse
- 8 IPC Innovations- und Patent-Centrum

## Physikalische Technologien

- 10 FG Rasterelektromethoden | Prof. Dr. Roland Wiesendanger
- 11 FG Technische Aspekte multimodaler Systeme | Prof. Dr. Jianwei Zhang
- 12 FG Nanometrologie | Prof. Dr.-Ing. habil. Hendrik Rothe
- 13 FG Mikroskopische Aspekte der Spinelektronik | Junior-Prof. Dr. Stefan Heinze
- 14 FG Ober- und Grenzflächenphysik | Prof. Dr. Hans Peter Oepen
- 15 FG Epitaktische Nanostrukturen | Prof. Dr. Wolfgang Hansen
- 16 FG Pulver- und Nanotechnologie | Dr. Thomas Klassen
- 17 Incoatec GmbH | Beschichtungstechnologie und Röntgenoptiken
- 18 cplusw GmbH | Infrastruktur für die Nanotechnologie

## Chemische Technologien

- 20 FG Nanochemie | Prof. Dr. Horst Weller
- 21 FG Physikalische und Makromolekulare Chemie | Prof. Dr. Stephan Förster
- 22 FG Selbstordnende Monoschichten | PD Dr. Andreas Terfort
- 23 FG Katalyse | Prof. Dr. Walter Kaminsky
- 24 FG Kunststoffe und Verbundwerkstoffe | Prof. Dr.-Ing. Karl Schulte
- 25 HanseChemie | Nanokomposite
- 26 Ormecon AG | Organische Nano-Metalle
- 27 Nanosolutions GmbH | Nanopartikel

## Biotechnologie / Medizintechnik

- 29 FG Zytoskelett | Prof. Dr. Eckhard Mandelkow
- 30 FG Molekulare Tumordiagnostik | Prof. Dr. Christoph Wagener
- 31 FG Molekulare Bildgebung | Prof. Dr. Gerhard Adam
- 32 Philips Medical Systems | Molekulare Bildgebung
- 33 Evotec Technologies GmbH | Gerätesysteme für die präklinische Pharmaforschung
- 34 Eppendorf Polymere GmbH | Funktionalisierte Kunststoffe
- 35 DMG Dental Material Gesellschaft mbH | Dentalmaterialien
- 36 Beiersdorf AG | Nanolipidemulsionen

- 37 Impressum



# Vorwort

Der Nanokosmos - die Welt der Atome und Moleküle - ist für unsere menschlichen Sinne scheinbar unzugänglich. Scheinbar...

Das gesamte Leben auf diesem Planeten mit allen technischen Errungenschaften basiert auf Prozessen und Wechselwirkungen, welche zwischen einzelnen Atomen und Molekülen stattfinden. Diese Prozesse haben also sehr wohl direkte Auswirkungen auf unsere makroskopische Welt: Die Photosynthese der Pflanzen setzt die Energie der Sonne in Sauerstoff und Glukose um, was die Basis des Lebens ist, molekulare Motoren sind verantwortlich für die Muskelbewegungen Ihres Arms, mit dem Sie diese Broschüre halten, und Ihre Augen setzen das von der Broschüre reflektierte Licht in neuronale Informationen um, aus welchen das Gehirn die Buchstaben erkennt.

Die Nanotechnologie - die Fähigkeit, Materialien, Strukturen und Systeme auf molekularer Skala zu analysieren und zu modifizieren - ist einerseits die Schlüsseltechnologie für ein besseres Verständnis der Wechselwirkungen zwischen den Atomen und Molekülen und ermöglicht andererseits die gezielte Nutzung von nanoskaligen Effekten für technische Anwendungen. Beispiele hierfür sind schmutzabweisende Oberflächen, deren Wirkung in einer Nanostrukturierung begründet liegt, fluoreszierende Materialien, deren Farbe über die Partikelgröße einstellbar ist oder Nanokomposite, welche gegenwärtig die Werkstofftechnologie auf Grund ihrer verbesserten physikalischen und chemischen Eigenschaften revolutionieren. Einige dieser Technologien finden Sie schon in heutigen Produkten und Verfahren wieder, andere radikal neue Ansätze der Synthese von nanostrukturierten Materialien sowie von Nanoelektronik-Bauelementen aus einzelnen atomaren und molekularen Bausteinen befinden sich im Laborstadium und werden in den nächsten beiden Jahrzehnten den Weg in die Industrie finden. Für diesen Wachstumszweig ist Hamburg hervorragend aufgestellt.

In der Metropolregion gibt es schon jetzt eine Vielzahl von Forschungsgruppen und Firmen, die im Bereich der Nanotechnologie tätig sind. Die vorliegende Broschüre gibt Ihnen einen Überblick der wichtigsten Akteure in diesem Bereich und der Bandbreite nanowissenschaftlicher und nanotechnologischer Forschungsaktivitäten. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit werden Sie in der Broschüre vermutlich auf viele Ihnen bisher nicht bekannte Bereiche der Nanotechnologie stoßen.

Mein besonderer Dank gilt der Behörde für Wissenschaft und Gesundheit (BWG) der Freien und Hansestadt Hamburg, die den systematischen Auf- und Ausbau der Nanowissenschaften und Nanotechnologie in Hamburg in den vergangenen fünfzehn Jahren ermöglicht und kontinuierlich gefördert hat.

Ebenso möchte ich an dieser Stelle dem Bundesministerium für Bildung und Forschung, der BWG, der Behörde für Wirtschaft und Arbeit, der Universität Hamburg sowie der Beiersdorf AG für die finanzielle Unterstützung des Kompetenzzentrums HanseNanoTec danken.

Schließlich danke ich allen Forschergruppen und Unternehmen der Metropolregion Hamburg, die zu dieser Broschüre beigetragen haben.

Prof. Dr. Roland Wiesendanger

Leiter des Kompetenzzentrums HanseNanoTec  
Universität Hamburg

# Grußwort



Nanotechnologie - Zukunftspotentiale aus und für Norddeutschland

Liebe Leserin, lieber Leser,

HanseNanoTec, das Hamburger Netzwerk für Nanotechnologie, hat diese Broschüre mit einem interessanten Überblick über wesentliche Felder der nanotechnologischen Forschung und Anwendung erstellt. Der Senat begrüßt eine solche Darstellung der Aktivitäten im Bereich Nanotechnologie. Man erkennt: Eine der „Schlüsseltechnologien“ des 21. Jahrhunderts ist hier nicht nur wissenschaftlich hervorragend aufgestellt, sondern befindet sich auch bereits in der Anwendung. Eine Vielzahl von Produkten in Laboren, aber auch im Haushalt oder im Verkehr, wäre bereits jetzt ohne „Nano-Komponenten“ nicht vorstellbar. Die Nanotechnologie hat damit in Hamburg einen wichtigen Anteil an der Sicherung wissenschaftlicher Exzellenz ebenso wie am Erhalt und der Schaffung hoch qualifizierter Arbeitsplätze.

Parlament und Regierung der Stadt fördern diese Zukunftspotentiale. Nanowissenschaftliche Themen als fächerübergreifende Fragestellungen im Schnittpunkt von Physik, Chemie, Biologie und Informatik sind ein Fokus der Hamburger Wissenschaftspolitik. Interdisziplinäre Forschergruppen werden an den Hamburger Hochschulen und Forschungseinrichtungen nicht zuletzt durch den Einsatz staatlicher Mittel gezielt gefördert, Infrastrukturmaßnahmen im zweistelligen Millionenbereich wurden getätigt bzw. liegen dem Senat zur Entscheidung vor. Im Rahmen des Leitbildes „Metropole Hamburg - Wachsende Stadt“ ist der Ausbau der Nanotechnologie zu einem internationalen Kompetenzcluster geplant, das positive Auswirkungen auf Wachstum und Beschäftigung in der Region hat.

Nachweise für den Erfolg dieser Bemühungen finden sich nicht nur in der vorliegenden Veröffentlichung, sondern auch in externen Gutachten und wissenschaftlichen Statistiken, die der Region in wesentlichen Teilgebieten der Nanotechnologie internationale Spitzenplätze attestieren. Für die Zukunft ist es das erklärte Ziel Hamburgs, die Potentiale am Standort gemeinsam mit Wissenschaftlern und Firmen noch besser zu nutzen und weiterzuentwickeln und das Erreichte einer größeren Öffentlichkeit zugänglich zu machen.

Die vom Kompetenzzentrum HanseNanoTec erstellte Übersicht kann hierzu einen wertvollen Beitrag leisten, bei dessen Lektüre ich Ihnen viel Spaß wünsche.

Dr. Roland Salchow

Staatsrat der Behörde für Wissenschaft und Gesundheit  
(Bereich Wissenschaft)  
Freie und Hansestadt Hamburg





## HanseNanoTec

### Das Kompetenzzentrum für Nanotechnologie in Hamburg

04

#### Kernkompetenzen:

Technologietransfer

Technologieförderung

Nanotechnologie-Kontaktbörse

Nanotechnologie-Öffentlichkeitsarbeit

Der interdisziplinäre Charakter der Nanotechnologie erfordert in Forschung und Entwicklung eine starke und effiziente Vernetzung von Wissenschaftlern der verschiedensten Fachrichtungen. Außerdem ist gerade auf dem Feld der Nanotechnologie die Zusammenarbeit von Hochschulen mit der Industrie von großer Bedeutung, da so die Ergebnisse der Grundlagenforschung sehr schnell in Anwendungen und Produkte einfließen können.

Das Kompetenzzentrum HanseNanoTec ist ein Netzwerk für alle Forscher, Unternehmer, Finanzdienstleister und Förderorganisationen der Region Hamburg, die im Themenfeld Nanotechnologie arbeiten. Das Ziel ist, den Nanotechnologie-Standort Hamburg stetig weiterzuentwickeln und weit über die Grenzen der Region hinaus sichtbar zu machen.

Hamburg ist ein bedeutender Standort der deutschen Nanotechnologie. Hier gibt es zahlreiche weltweit anerkannte Forschergruppen aus Physik, Chemie, Biologie, Medizin und Informatik, die sich mit Nanotechnologie von der Grundlagenforschung bis zur Produktentwicklung beschäftigen.

Durch die enge Vernetzung der Nanotechnologie-Akteure in der Metropolregion Hamburg wird sich diese Region zu einem noch attraktiveren Standort für innovative und interdisziplinäre Nanotechnologie entwickeln.

Das HanseNanoTec macht sich zur Aufgabe, die diversen Hamburger Kompetenzen auf dem Feld der Nanotechnologie zu bündeln sowie Kooperationen mit bundesweiten und internationalen Partnern zu initiieren und zu unterstützen. Die enge Verflechtung interdisziplinärer Forschungsgruppen sowie die Kooperation von Wissenschaft und Industrie führen zu Synergie-Effekten und effizienter Nutzung des vorhandenen Know-hows.

#### Technologietransfer:

- › Vernetzung und Förderung des Nanotechnologie-Standortes Hamburg
- › Organisation und Durchführung von Kongressen, Workshops und anderen Veranstaltungen zur Nanotechnologie

- › Initiierung und Koordination von Forschungsprojekten mit in- und ausländischen Partnern
- › Angebot von Machbarkeitsstudien für die Mitglieder des HanseNanoTec
- › Unterstützung von Unternehmensgründern auf dem Feld der Nanotechnologie
- › Kontaktbörse für Anfragen an die Hamburger Nanotechnologie-Akteure
- › Unterstützung der Gründungsphase des „Interdisziplinären Nanowissenschafts-Centrums Hamburg“ (INCH)



Abb. 2: Die Nanotechnologie-Ausstellung des HanseNanoTec zeigt, dass Nanotechnologie keine abstrakte Grundlagenwissenschaft ist und es schon heute in fast allen Lebensbereichen Produkte der Nanotechnologie gibt: in der Informationstechnologie, im Automobilbau, im Haushalt, aber auch in der Kosmetik und in der Medizin.

#### Öffentlichkeitsarbeit:

- › Kontakt zur Presse und Öffentlichkeit
- › Vermittlung von Experten
- › Erstellung von Texten, Multimedia- und E-Learning-Material zu unterschiedlichen Forschungsfeldern der Nanotechnologie
- › Nanotechnologieausstellung – Nanotechnologie zum Anfassen für Schüler und interessierte Laien
- › Projekt „Nanotechnologie in Schulen“
- › Ausbau und Betreuung der Internetseiten
- › Auf- und Ausbau eines Medienarchivs mit Bildern und Computeranimationen

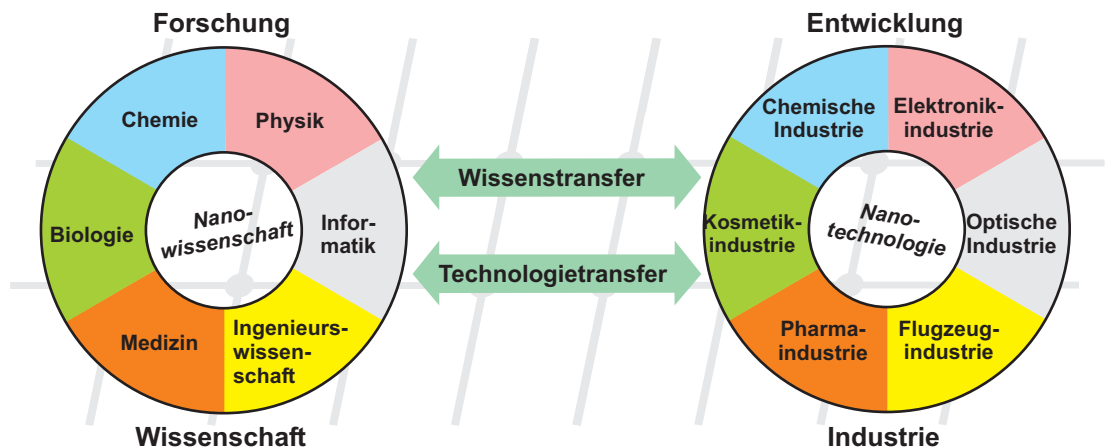


Abb. 1: Vernetzung des Nanotechnologie-Standorts Hamburg

**Kontakt:**  
 Dipl.-Chem. Heiko Fuchs  
 Universität Hamburg  
 Kompetenzzentrum  
 HanseNanoTec  
 Jungiusstr. 11  
 20355 Hamburg  
 Tel.: (040) 4 28 38 - 6959  
 hfuchs@physnet.uni-hamburg.de  
 www.hansenanotec.de

**Fördern, beraten, unterstützen:** Im Mittelpunkt stehen für die Innovationsstiftung Hamburg immer die technologieorientierten und innovativen Unternehmen des Hamburger Mittelstandes. Innovationsbereitschaft erhöhen, Forschung und Entwicklung fördern, Technologietransfer unterstützen, das sind die zentralen Aufgaben der Stiftung.

**Zweck der Innovationsstiftung ist es, den Wirtschaftsstandort Hamburg zu stärken und neue Arbeitsplätze zu schaffen. Ihr Anspruch ist es, ein fachkompetenter und verlässlicher Partner für alle innovativen mittelständischen Unternehmen in Hamburg zu sein.**

Kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) schaffen überdurchschnittlich viele Arbeitsplätze. In besonderem Maße gilt das für innovative, technologieorientierte KMU und Existenzgründer.

Die Innovationsstiftung fördert Forschungs- und Entwicklungsprojekte (F&E) von kleinen und mittelständischen Unternehmen sowie Existenzgründern in Hamburg. Die typische Förderhöhe beträgt 300.000 Euro, die Förderquote im Schnitt 40 Prozent. Über die Förderung entscheidet ein Vergabeausschuss, der aus vier externen Fachleuten und dem Vorstand der Stiftung gebildet wird.

Der Transfer von Wissen und Technologie ist für mittelständische Unternehmen eine wesentliche

Voraussetzung, um innovative Produkte zu entwickeln. Gleichzeitig fehlt gerade den KMU häufig die Möglichkeit, sich über neue Forschungsergebnisse zu informieren. Deshalb engagiert sich die Stiftung auch bei der Förderung des Technologietransfers.

Seit Anfang 2005 ist die Innovationsstiftung auch Projektträger für das F&E-Förderprogramm der Behörde für Wirtschaft und Arbeit sowie das LifeScience-Förderprogramm der Behörde für Wissenschaft und Gesundheit.

Die Innovationsstiftung wurde 1996 als unabhängige öffentlich-rechtliche Stiftung gegründet und von der Stadt Hamburg mit eigenem Stiftungskapital ausgestattet.

Wichtigste Grundlage ist das von der Hamburgischen Bürgerschaft beschlossene "Gesetz über die Errichtung der Innovationsstiftung Hamburg". Die Satzung der Stiftung wurde vom Senat verordnet. Über Satzungsänderungen beschließt das Kuratorium der Innovationsstiftung.

Ein wichtiger Meilenstein war die Notifizierung der Förderrichtlinie durch die Europäische Kommission im März 1998, weil die Stiftung von nun an Forschungs- und Entwicklungsprojekte von Hamburger Unternehmen auch mit mehr als 100.000 Euro fördern durfte.

Die Innovationsstiftung erfüllt ihre Aufgaben aus den Erträgen des Stiftungskapitals. 1997 hatte die Stadt Hamburg die Stiftung mit einem Vermögen von 51,1 Millionen Euro (100 Millionen DM) ausgestattet. Da die Satzung der Innovationsstiftung bestimmt, das Vermögen grundsätzlich in seinem Bestand zu erhalten, fließt ein Teil der Erträge in eine Kapitalerhaltungsrücklage, die den durch Preissteigerung bedingten Wertverlust ausgleicht. Ende 2003 betrug das Stiftungskapital inklusive dieser Rücklage 57 Millionen Euro.

Um das Kapital nicht in seinem Bestand zu gefährden, ist die Anlagestrategie der Stiftung sehr konservativ. Die Spezialfonds der Stiftung enthalten hauptsächlich festverzinsliche Wertpapiere.

45 Forschungs- und Entwicklungsprojekte von Hamburger KMU hat die Stiftung bisher gefördert. Mehr als 500 Arbeitsplätze sind durch Projekte der Innovationsstiftung in Hamburg entstanden.



## Innovationsstiftung Hamburg

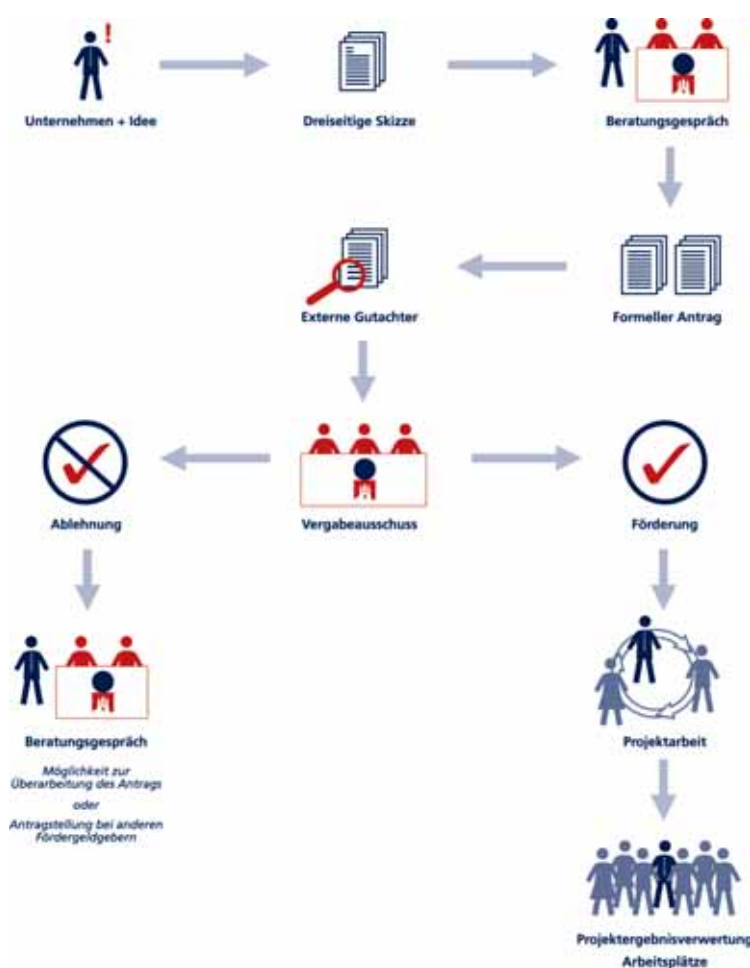


Abb. 1: "Von der Idee zur Förderung"

### Kernkompetenzen:

- Förderung der Innovationsbereitschaft und -fähigkeit von KMU
- Förderung von Forschung und Entwicklung in KMU
- Förderung des Technologietransfers
- Politikberatung bei Forschung, Entwicklung und Technologie

### Kontakt:

Dr. Harald Eifert  
Vorstand  
Innovationsstiftung Hamburg  
Habichtstraße 41  
22305 Hamburg

Tel.: (040) 822 20 78-10  
eifert@innovationsstiftung.de  
www.innovationsstiftung.de



**MAZ level one GmbH**  
**Von der Geschäftsidee**  
**zum Markterfolg**  
**Wachstumskapital**  
**für sehr junge**  
**Technologieunternehmen**

06

#### Kernkompetenzen:

Finanzierung und Betreuung  
 sehr junger Technologie-  
 unternehmen  
 Seed Venture Capital  
 Hochschul-Spin-offs  
 Hitec-Existenzgründungen

**Kontakt:**  
 Dr. Heiko Milde  
 MAZ level one GmbH  
 Harburger Schloßstraße 6-12  
 21079 Hamburg

Tel.: (040) 766 29 - 2551  
 milde@mazlevelone.com  
 www.mazlevelone.com

Die Nanotechnologie entwickelt sich mit Riesenschritten. Immer öfter finden sich winzige Nanopartikel nicht nur im Forschungslabor, sondern sie bilden die Basis für erfolgreiche innovative Produkte und Dienstleistungen in unterschiedlichen Bereichen wie z. B. Medizintechnik, Lifescience und Informationstechnologie. Entsprechend haben Nanotechnologie-Start-ups beste Chancen - wenn ihnen jemand kompetent unter die Arme greift.

Als Spezialist für die Finanzierung und Betreuung sehr junger Technologieunternehmen engagiert sich die MAZ level one GmbH bereits in der Gründungsphase oder kurz danach, um aussichtsreichen innovativen Geschäftsideen einen optimalen Start zu ermöglichen. Hierfür ist MAZ level one mit dem Management des GründerFONDS der Freien und Hansestadt Hamburg betraut.

Als reiner Seed Investor setzt MAZ level one auf Geschäftsideen aus den Bereichen Informationstechnologie, Natur- und Ingenieurwissenschaften. Mikrosystemtechnik, Mikroelektronik und Nanotechnologie bilden einen besonderen Schwerpunkt. Ob sich ein Unternehmen in der Vorgründungsphase befindet oder schon gegründet ist, spielt dabei keine Rolle. Wesentlich ist, dass die Geschäftsidee auf einer technologischen Innovation basiert, die schützbar Alleinstellungsmerkmale aufweist, aus denen ein signifikanter Kundennutzen direkt hervorgeht. Zudem sollte ein Wachstumsmarkt von mindestens 100 Mio. € adressiert werden, der nicht wesentlich weiter als drei Jahre entfernt ist.

Jede Geschäftsidee ist nur so gut wie ihre Macher. Deswegen verlangt MAZ level one von seinen Gründerteams hervorragende fachliche Qualifikation und höchste Motivation sowie Teamgeist und die Bereitschaft, Erfolg mit anderen zu teilen. Auch kaufmännisch unerfahrene Gründer sind MAZ level one willkommen, da diese Defizite anfangs ausgeglichen werden können.



Abb. 1: Das Team der MAZ level one GmbH (v.l.): Dr. Michael Lübbehusen (GF), Thomas Piehl, Sören Denker (GF), Dr. Heiko Milde



Abb. 2: Die MAZ level one GmbH im Channel Hamburg in Hamburg-Harburg

MAZ level one investiert bis zu 500.000 € Venture Capital (VC) in ein junges Technologieunternehmen. Ziel ist es, das Start-up so aufzustellen, dass die Chancen auf eine Weiterfinanzierung oder die Akquisition eines starken strategischen Partners optimal sind. Hierfür bietet MAZ level one weit mehr als nur VC-Finanzierung: aktive Unterstützung bei Gründungsprozessen und bei der Akquisition von Personal und Fördermitteln gehört genauso zur hands-on Betreuung wie die Übernahme des Controllings, das Bereitstellen einer full-service Büroinfrastruktur, die Beratung in Strategiefragen und das Knüpfen von Kontakten zu potentiellen Partnern und Kunden.

Junge Unternehmen aus dem Bereich der Nanotechnologie haben in der Regel besondere Bedürfnisse bezüglich Ausstattung und Infrastruktur. Um diesen Anforderungen gerecht werden zu können, arbeitet MAZ level one mit verschiedenen kompetenten Gründerzentren zusammen. Aktuell befinden sich im MAZ Portfolio sechs kleine aber feine Hitec-Unternehmen.



Aus „technologischen Zwergen“ können in Zukunft ökonomische Riesen werden. Es ist zu erwarten, dass sich die Nanotechnologie zu einer Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts entwickelt und nahezu alle Wirtschaftsbereiche erfassen wird. Deshalb nimmt sich die Haspa bereits heute dieses wichtigen Zukunftsthemas an.

Das Wachstum von Nanotechnologieunternehmen muss aktiv begleitet werden. Die Haspa stellt geeignete Finanzierungsinstrumente zur Verfügung und bietet allen Kunden eine umfassende Beratung.

Die Haspa will schon heute Firmenkunden und Anleger auf die Chancen der Nanotechnologie aufmerksam machen. Mit Vortragsveranstaltungen geben wir Einblicke in die faszinierende Welt der Nanowissenschaft und wollen Begeisterung für Spitzenforschung in Hamburg wecken. So zeigen wir Chancen für gemeinsame Forschungsprojekte mit mittelständischen Unternehmen und zukünftige Anlageperspektiven auf.

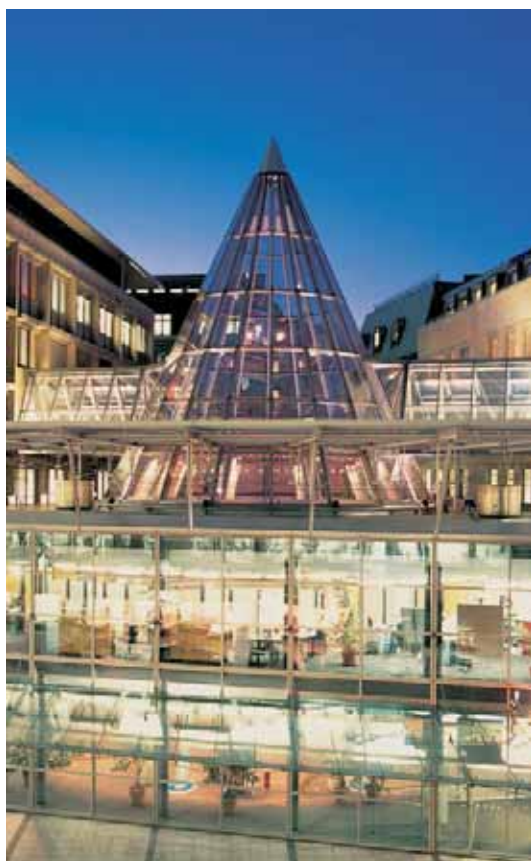
Das Beispiel New Economy hat deutlich gezeigt, dass frühzeitige Information über die Zukunftsperspektiven neuer Technologien sehr wichtig sind. Deshalb beschäftigt sich die Haspa intensiv mit dieser Schlüsseltechnologie und hat frühzeitig begonnen, Know-how im Bereich Nanotechnologie aufzubauen.



Die Haspa bietet mit rund 250 Filialen und Kunden-Centern kompletten Service rund ums Thema Geld und eine ganzheitliche Betreuung aller Kundengruppen in der Metropolregion Hamburg. Entscheidungen werden direkt vor Ort getroffen. Mit 8 Regionalbereichen, 7 Firmenkunden-Centern und einem dichten Filialnetz ist die Haspa flächendeckend in Hamburg vertreten.

Im Bereich der Existenzgründungsberatung und -finanzierung ist die Haspa Marktführer. Erfolgreiche Existenzgründer sind die Firmenkunden von morgen: Die Spezialisten des StartUp-Centers unterstützen bei der Erstellung von Geschäftsplänen, analysieren Geschäftsideen hinsichtlich ihrer Realisierbarkeit und stellen individuelle Finanzierungspläne unter Einbindung öffentlicher Fördermittel auf.

Die breite Dienstleistungspalette der Haspa bietet weit mehr als den klassischen Kredit. Zu den Finanzierungsinstrumenten gehören auch Leasing, Factoring und Eigenkapitalbeteiligungen der Haspa Beteiligungsgesellschaft für den Mittelstand mbH, kurz Haspa BGM. Als branchenunabhängiger Eigenkapitalgeber investiert die Haspa BGM in mittelständische Unternehmen mit Wachstumspotenzial und finanziert Unternehmensnachfolgen im norddeutschen Raum. Individuell an die Bedürfnisse der einzelnen Unternehmen angepasst, erstellt die Haspa BGM maßgeschneiderte Finanzierungskonzepte und geht stille oder offene Beteiligungen ein, die ausschließlich in Form von Minderheiten erfolgen. Dabei geht ihr Engagement weit über die bloße Bereitstellung von Beteiligungskapital hinaus. Die Beteiligungsmanager der Haspa BGM verfügen über langjährige operative Erfahrungen und stehen ihren Kunden in allen Fragen rund um die Unternehmensführung und Finanzierungsstrategie beratend zur Seite und begleiten das Unternehmen aktiv bei der weiteren Entwicklung.



Haspa-Zentrale Ecke Adolphsplatz/Großer Burstah

**Haspa**  
Hamburger Sparkasse

**Hamburger Sparkasse**

07

#### Kernkompetenzen:

Netzwerk-Partner für Nanotechnologieunternehmen in der Metropolregion Hamburg

Beratung von Existenzgründern

Unternehmensfinanzierung

Vermittlung von Beteiligungskapital

#### Kontakt:

Dr. Claus Roggatz  
Hamburger Sparkasse  
Corporate Finance  
Rödingsmarkt 27  
20459 Hamburg

Tel: (040) 3579 3151  
Claus.Roggatz@haspa.de  
www.haspa.de



## IPC Innovations- und Patent-Centrum Handelskammer Hamburg

Die Handelskammer Hamburg vertritt als kundenorientierter Dienstleister der Unternehmen, als kritischer Partner der Politik und als unabhängiger Anwalt des Marktes die Interessen ihrer rund 125.000 Mitgliedsunternehmen. Das IPC Innovations- und Patent-Centrum der Handelskammer Hamburg verfolgt das Ziel, ein innovationsfreundliches Klima in Hamburg zu schaffen. Wir helfen Ihnen beim Innovationsprozess und unterstützen und optimieren Ihr Innovations- und Patentmanagement. Darüber hinaus setzen wir uns für den Wissenstransfer zwischen wissenschaftlichen Einrichtungen und Unternehmen ein.

Gerade kleine und mittlere Unternehmen sind durch den Mut zum Risiko und ihre Flexibilität überaus innovationsfähig und stellen ein bedeutendes Standbein unserer Wirtschaft dar. Um diese Unternehmen frühzeitig auf neue technologische Entwicklungen aufmerksam zu machen, organisieren wir Veranstaltungen zu diversen Themen, in denen beispielsweise aktuelle Entwicklungen in der Nanotechnologie, den Life Sciences oder bei der Nutzung des umweltfreundlichen Energieträgers Wasserstoff vorgestellt werden. Darüber hinaus führen wir eine Vielzahl von Veranstaltungen zum Innovations- und Patentmanagement durch.

Aufwendungen für Forschungs- und Entwicklungsarbeiten werden durch die Anmeldung von gewerblichen Schutzrechten abgesichert. Das Innovations- und Patent-Centrum ist eine offizielle Annahmestelle des Deutschen Patent- und Markenamts (DPMA).

Fachzeitschriften veröffentlichen wissenschaftliche Erkenntnisse nur selektiv. Das technische

Wissen wird dagegen fast vollständig in der Patentliteratur publiziert. Die Handelskammer Hamburg stellt der Wirtschaft, aber darüber hinaus auch den Hochschulen, Erfindern und Patentanwälten diese Informationen zur Verfügung. Zusätzlich zu den technischen Schutzrechten (Patenten und Gebrauchsmustern) können Sie mit fachkundiger Unterstützung im Lesesaal des IPC auch nach Marken- und Design-Schutzrechten (Geschmacksmustern) recherchieren.

Darüber hinaus führen wir im Auftrag Recherchen in Patenten und Gebrauchsmustern sowie in Marken und Geschmacksmustern durch.

Die Anzahl der Patent- und Gebrauchsmusteranmeldungen wächst jedes Jahr um ca. 1,5 Mio. Um diese Informationsflut sinnvoll nutzen zu können, bedarf es einer effektiven Vorauswahl. Unser IPC-Technologie- und Wettbewerbsmonitoring liefert Ihnen aktuell und preiswert die benötigten Informationen, damit Sie jederzeit über den Stand der Technik und die Aktivitäten Ihrer Wettbewerber auf dem Laufenden sind.

Patente können Ihre Kapitalsituation bedeutend verbessern. Sie werden neuerdings von einigen Kreditinstituten als Sicherheiten für Finanzierungen akzeptiert und können so die Kreditkonditionen verbessern. Wir bewerten Patente mit dem von internationalen Wirtschaftsprüfern testierten Verfahren der Hamburger IP BEWERTUNGSAG.

Das Innovations- und Patent-Centrum ist in regionale, nationale (deutsche Industrie- und Handelskammern (DIHK), TechnologieAllianz e.V., Arbeitsgemeinschaft Deutscher Patentinformationszentren e. V. sowie INSTI-Netzwerk) und internationale Netzwerke (deutsche Außenhandelskammern (AHK) und PATLIB) eingebunden. Diese Vernet-

zung ermöglicht es uns einerseits, Technologieangebote von Hochschulen an die Wirtschaft zu vermitteln und andererseits bei Anfragen aus der Wirtschaft den Kontakt zu Forschungsinstituten herzustellen.



Das Gebäude der Handelskammer Hamburg.

### Kernkompetenzen:

Förderung des Technologietransfers

Recherchen und Überwachung gewerblicher Schutzrechte

Technologie- und Patentbewertung

Patentportfoliomanagement

Innovationsmanagement

### Kontakt:

Dr.-Ing. Michael Kuckartz  
stellv. Geschäftsführer  
IPC Innovations- und Patent-Centrum  
Handelskammer Hamburg  
Adolphsplatz 1  
20457 Hamburg

Tel.: (040) 36 138 - 249  
Michael.Kuckartz@hk24.de  
www.hk24.de/ipc



# Physikalische Technologien







**Prof. Dr.  
Roland Wiesendanger**  
FG Rastersondormethoden  
Universität Hamburg

### Kernkompetenzen:

Rastersondenmikroskopie  
Entwicklung von  
Rastersondenmikroskopen  
Nanostrukturphysik  
Nanomagnetismus  
Nanomanipulation

### Kontakt:

Prof. Dr. Roland Wiesendanger  
Universität Hamburg  
Institut für Angewandte Physik  
Jungiusstr. 11  
20355 Hamburg

Tel.: (040) 4 28 38 - 52 44  
wiesendanger@  
physnet.uni-hamburg.de  
www.nanoscience.de

Die Fortschritte auf dem Gebiet der Nanotechnologie basieren auf der Entwicklung geeigneter Werkzeuge, welche eine gezielte Analyse und Manipulation von Nanostrukturen ermöglichen. Den Durchbruch in diesem Bereich markiert das im Jahr 1982 erfundene Rastertunnelmikroskop. Dieses Gerät bildet Nanostrukturen bis in den atomaren Bereich ab und ermöglicht gleichzeitig die gezielte Verschiebung von Atomen und Molekülen. Damit lassen sich Prototypen von kleinsten funktionalen Systemen realisieren. Die Weiterentwicklung dieser Schlüsseltechnologie wird auch in Zukunft maßgebend sein für das Tempo, mit dem neues Wissen über Nanostrukturen gewonnen und neue Anwendungen identifiziert werden.

Mit dem Rastertunnelmikroskop begann die Entwicklung einer ganzen Reihe von Rastersondenmikroskopen, welche allesamt auf dem gleichen Grundprinzip funktionieren: einer zeilenweisen Abtastung der Probenoberfläche mit einem mikroskopisch kleinen Sensor. Der Sensor misst eine charakteristische Wechselwirkung, welche vom Abstand zwischen dem Sensor und der Probe abhängt. Aus der bekannten Position des Sensors und der damit gemessenen Signalstärke lässt sich im Computer ein Abbild der Oberflächentopographie gewinnen. Durch die Wahl des geeigneten Sensors lassen sich neben der Topographie eine Vielzahl von Probeneigenschaften hochaufgelöst messen, z. B. die elektronische Struktur, Magnetisierung, Kapazität, Elastizität u.s.w.

Die Forschungsgruppe Rastersondormethoden untersucht die physikalischen Effekte nanostrukturierter Materialien, deren Zugang erst durch die Rastersondenmikroskopie möglich wurde. Im Fokus der Forschung stehen magnetische und elektronische Eigenschaften von verschiedensten Materialien wie z. B. Metallen, Halbleitern, Isolatoren, Supraleitern, magnetischen Nanostrukturen, organischen Filmen oder biologischen Proben.

Die Forschungsarbeiten zu magnetischen und elektronischen Eigenschaften von Nanostrukturen sind von besonderem industriellen Interesse im

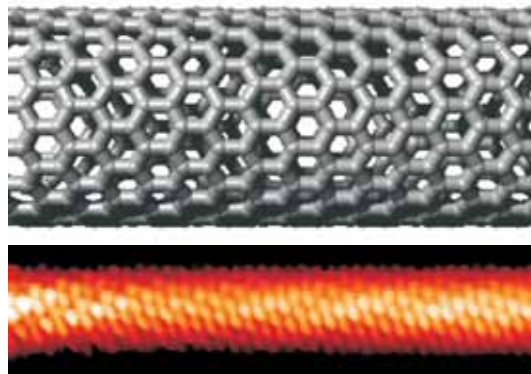


Abb. 2: Modell und atomar aufgelöste Rastertunnelmikroskopie-Abbildung einer Kohlenstoff-Nanoröhre.

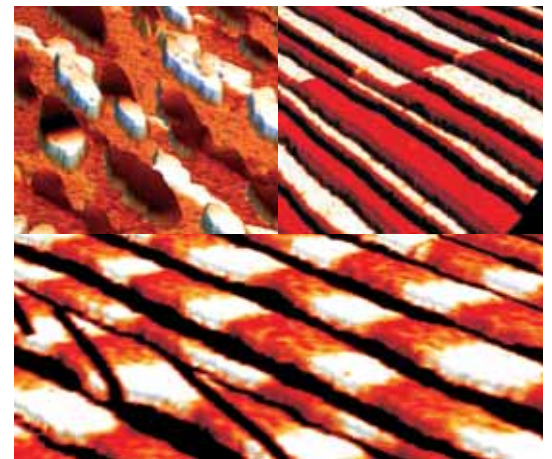


Abb. 1: Nanoskalige magnetische Eiseninseln und -drähte auf einer gestuften Wolfram-Oberfläche. Die Magnetisierungsrichtung ist farbkodiert und wurde mit spinsensitiver Rastertunnelmikroskopie bestimmt.

Hinblick auf die Entwicklung von neuen magnetischen Speichermedien mit vielfach höherer Speicherdichte und den langfristigen Übergang von der Mikro- zur Nanoelektronik. In der Forschungsgruppe werden z. B. die elektronischen Eigenschaften von Kohlenstoff-Nanoröhren untersucht. Diese Röhren mit einem Durchmesser im Nanometerbereich können sowohl halbleitend als auch metallisch sein. Aus ihnen könnten die "Nanotransistoren" der Zukunft aufgebaut werden.

Einen weiteren Forschungsschwerpunkt bildet die Weiterentwicklung von Rastersondenmikroskopen und der eingesetzten Messmethoden. Die Forschungsgruppe ist international führend im Bau von Mikroskopen, die in eine Ultrahochvakuum-, Tieftemperatur- und Hochmagnetfeldumgebung integriert sind. Der herausragendste Erfolg ist die Entwicklung der spinsensitiven Rastertunnelmikroskopie. Dies ist die weltweit höchstauflösendste Methode zur Messung der Probenmagnetisierung, mit der es gelingt, Magnetisierungsunterschiede einzelner Atome abzubilden. Für diese Leistung wurde im Jahre 2003 der Philip Morris Forschungspreis an Prof. Dr. Roland Wiesendanger und Dr. Matthias Bode verliehen.

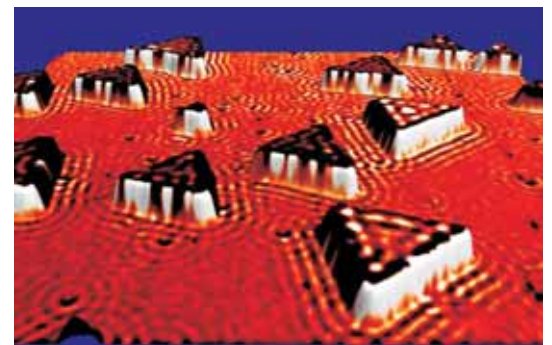


Abb. 3: Kobaltinseln mit einer Höhe von zwei atomaren Lagen auf einer Kupferoberfläche. Die wellenartigen Muster sind Interferenzen der Elektronenwellen im Kupfer, welche an den Kobaltinseln und anderen Defekten im Kristall gestreut werden.



Viele Forschungsgruppen auf der Welt beschäftigen sich mit der gezielten Manipulation von Objekten im nanoskaligen Bereich - der Nanomanipulation. Ziel der Gruppe um Prof. Dr. Jianwei Zhang ist die Entwicklung von Algorithmen und Software für die automatisierte Manipulation von Nanostrukturen auf molekularer bzw. atomarer Ebene, was insbesondere für die Vorbereitung wissenschaftlicher Experimente von großer Bedeutung ist. Die Automatisierung führt zu einer enormen Zeitersparnis, bzw. ermöglicht überhaupt erst Experimente, die z.B. eine große Zahl von Einzelmanipulationen auf atomarer Ebene voraussetzen.

Die schnelle und präzise Nanomanipulation wird eine der Schlüsselfähigkeiten der Nanotechnologie der Zukunft darstellen. Dies gilt um so mehr für eine weitgehend bis völlig automatisierte Manipulation von Nanosystemen. Zwar wurde bereits wenige Jahre nach der ersten erfolgreichen Inbetriebnahme eines Rastertunnelmikroskops die Möglichkeit aufgezeigt, mit diesem Gerät Nanostrukturen bis in den atomaren Bereich nicht nur abzubilden, sondern diese mit Hilfe des Mikroskops auch zu manipulieren. Das von Don Eigler 1989 im IBM-Labor Almaden aus Xenon-Atomen auf einer Nickeloberfläche nachgebildete IBM-Logo demonstrierte seinerzeit eindrucksvoll die Möglichkeiten der Manipulation auf atomarer Ebene. Seitdem hat die Entwicklung neuerer, besserer Rastersondenmikroskope rasante Fortschritte gemacht. Im Gegensatz dazu werden Manipulationen an Nanostrukturen wie vor fast 20 Jahren immer noch fast ausschließlich manuell durchgeführt. Der Wissenschaftler kontrolliert jede einzelne für eine Manipulation erforderliche Bewegung der Mikroskopsonde manuell. Bei einer Vielzahl einzelner Atom-für-Atom Manipulationen, z.B. in Vorbereitung eines wissenschaftlichen Experiments, ist dies eine zeitaufwendige, ermüdende und sehr fehleranfällige Vorgehensweise. Auf diese Weise lassen sich lediglich kleinere Teststrukturen/Prototypen herstellen, da der Prozess



Abb. 1: Arbeitsplatz für Nanomanipulationen. Dieses System stellt eine Schnittstelle zur Übertragung von Manipulationsaufgaben in die Nanowelt dar. Manipulationen können per Hand oder vollautomatisiert ausgeführt werden.

nicht nur sehr zeitaufwendig ist, sondern selbst kleinere Fehler bei der manuellen Pfadplanung häufig in Sackgassen enden und die Präparation vollständig neu angesetzt werden muss.

Bis heute gibt es auch international nur wenige Ansätze, den Prozess der manuellen Nanomanipulation durch komfortable Benutzerschnittstellen und spezielle Ein-/Ausgabegeräte zu unterstützen. Das NanoManipulator-Projekt der University of North Carolina kann hier als einer der wenigen erfolgversprechenden Ansätze genannt werden.



Abb. 2: Ein kommerzielles Rastersondenmikroskop wird für die reale Durchführung von Nanomanipulationen verwendet.

Für die Erstellung komplexer Nanostrukturen Atom für Atom, z. B. in Vorbereitung eines physikalischen Experiments, ist der rein manuelle Ansatz zum Scheitern verurteilt. Derartige Strukturen lassen sich nur durch eine teilweise bzw. vollständige Automatisierung der Nanomanipulation handhaben.

Die Forschungsarbeiten im Bereich der Nanomanipulation haben das Ziel, unter Ausnutzung der Erfahrungen in der Robotik und der manuellen Nanomanipulation ein derartiges Werkzeug zu entwickeln. Dieses Werkzeug wird die weitere Erforschung von Nanostrukturen deutlich beschleunigen, bzw. im Falle komplexer Strukturen überhaupt erst ermöglichen.



Abb. 3: Für extrem präzise Nanomanipulationen (z. B. Manipulationen einzelner Atome) wird ein mit flüssigem Helium gekühltes Rastersondenmikroskop aus der Arbeitsgruppe von Prof. Wiesendanger am Institut für Angewandte Physik verwendet. Das Mikroskop kann sowohl vor Ort als auch ferngesteuert vom Fachbereich Informatik betrieben werden.

**Prof. Dr. Jianwei Zhang**  
**FG Technische Aspekte**  
**multimodaler Systeme**  
**Universität Hamburg**

### Kernkompetenzen:

- Robotik
- Multimodale Mensch-Maschine Schnittstellen
- Navigation und Lokalisation
- Automatisierung der Nanomanipulation

### Kontakt:

Prof. Dr. Jianwei Zhang  
Universität Hamburg  
Fachbereich Informatik  
Vogt-Kölln-Str. 30  
22527 Hamburg

Tel.: (040) 4 28 83 - 24 31  
zhang@  
informatik.uni-hamburg.de  
tech-www.informatik.  
uni-hamburg.de



**Prof. Dr.-Ing. Hendrik Rothe**  
**FG Nanometrologie**  
**Helmut-Schmidt-Universität**  
**Hamburg**  
**Universität der Bundeswehr**

In dieser Forschungsgruppe soll ein Verfahren entwickelt und erprobt werden, mit einer Nanometer-Koordinaten-Messvorrichtung nanometergenaue Messungen an unterschiedlichen Stellen auf der Oberfläche einer Probe durchzuführen. Dabei werden zum einen Messstrategien für diesen hochgenauen Bereich entwickelt, zum anderen werden die Bedien- und Messabläufe automatisiert.

Für industrielle Anwendungen ist eine hochgenaue, automatische und schnelle Messung in einem Produktionsumfeld gefragt, in dem Mikrochips oder kleinste medizinische Geräte hergestellt und anschließend vermessen werden. Gerade in der Qualitätssicherung von bearbeiteten Oberflächen ist diese Anwendung für die Erfassung von Höhenprofilen und Rauheiten interessant.

Bei der Herstellung kleinster Bauteile (z. B. in der Chipindustrie, Medizintechnik, Oberflächentechnik) führt der Weg immer weiter in Richtung Verkleinerung einzelner Strukturelemente. Die Größe von Transistoren auf einem Wafer beträgt zum Teil nur noch wenige zehn Nanometer. Um solche Strukturgrößen einer Qualitätssicherung unterziehen zu können, werden Messgeräte mit der entsprechenden Auflösung benötigt. Gleichzeitig müssen Messgeräte in einen automatischen Produktionsablauf integriert werden können um dort schnelle, gezielte Messungen durchzuführen.

Die Ausdehnung von Objekten (und somit der erforderliche Messbereich von Messgeräten) entwickelt sich allerdings nicht in die gleiche Richtung, sondern bleibt wie gehabt oder wird sogar noch größer. Bei einer quadratischen Probe von einem Millimeter Kantenlänge und einer zu messenden Gitterstruktur von 10 Nanometern Abstand zwischen den Gitterpunkten ergeben sich  $10^{10}$  Messpunkte. Eine komplette Messung würde viel Zeit und Speicherplatz verbrauchen, was einer effektiven, kostengünstigen Messung widerspricht.



Abb. 1: Nanometer-Koordinaten-Messvorrichtung.

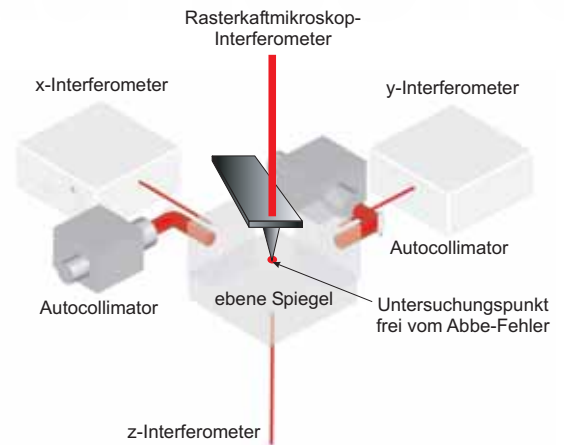


Abb. 2: Prinzipskizze einer Nanometer-Koordinaten-Messvorrichtung.

Schon bei der Planung einer Messung muss daher berücksichtigt werden, nur die wirklich relevanten Stellen der Probe anzufahren und zu vermessen.

Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, arbeiten wir an der Helmut Schmidt Universität an einer Nanometer-Koordinaten-Messvorrichtung (siehe Abb. 1). Sie besteht in der Basis aus einem Messtisch der Firma SIOS, der nanometergenau in drei Koordinaten positioniert werden kann. Auf dieser Basis ist ein Rasterkraftmikroskop (AFM) der Firma SIS als Messinstrument befestigt. Beim Messvorgang befindet sich eine Probe auf der sogenannten Spiegelecke des Tisches. Die Probenoberfläche wird durch das AFM abgetastet, wobei sich der Abtastpunkt im virtuellen Schnittpunkt der Strahlen von drei Laserinterferometern befindet (siehe Abb. 2). Dadurch wird eine nanometergenaue Kontrolle der Position der Spiegelecke möglich.

Zur Zeit arbeiten wir an der Automatisierung der Nanometer-Koordinaten-Messvorrichtung in Anlehnung an Verfahren der konventionellen Koordinatenmesstechnik. Konkret wird eine Nutzerschnittstelle entwickelt, die dem Bediener die Eingabe von Parametern möglichst einfach macht und nach Einlegen der Probe die angeforderte Messung selbständig steuert.

Der Bediener soll künftig bei der Messplanung unterstützt werden, indem ihm die Möglichkeit zur Auswahl von zu vermessenden Stellen auf der Probenoberfläche angeboten wird.

Weiterhin soll durch eine automatische Auswahl von Geschwindigkeitswerten eine schnelle, optimale Bewegung des Tisches und des AFMs erreicht werden.

Um solche Messgeräte in Zukunft in einen gesamten Produktionsprozess einbinden zu können, ist ein weiterer möglicher Entwicklungsschritt die Integration einer Schnittstelle, die das Einlesen von Soll-Daten einer Probe (z. B. als CAD-Modell) ermöglicht.

### Kernkompetenzen:

- Automatisierung
- Koordinatenmesstechnik
- Messplanung
- Messtechnik
- Nanopositioniervorrichtung
- Oberflächenmessung

### Kontakt:

Dipl.-Ing. Roland Winkler  
 Helmut-Schmidt-Universität  
 Hamburg  
 Universität der Bundeswehr  
 Holstenhofweg 85  
 22043 Hamburg

Tel.: (0441) 7703240  
 rolandwinkler@gmx.de  
 www.nanometrologie.de



Der Bedarf an immer schnelleren Computerchips und immer kleineren Speichermedien hat dazu geführt, dass die kleinsten Strukturen in heutigen Halbleiterbauelementen schon unterhalb von 100 Nanometern ( $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ) liegen und einzelne magnetische Bits nur noch eine Fläche von  $4000 \text{ nm}^2$  haben. Diese Miniatürisierung lässt sich voraussichtlich nur noch für die nächsten 10 Jahre durch eine weitere Herunterskalierung von bestehenden Bauelementen fortführen. Danach ist die Integration von neuen Materialklassen wie Nano-drähten, Nanoröhrchen oder sogar einzelnen Molekülen nötig, oder völlig neue Konzepte wie Spintransistoren oder Spinfilter müssen realisiert werden, die zusätzlich zur Ladung auch noch den Spin der Elektronen ausnutzen. Die Nano- und Spinelektronik ist heute daher ein extrem aktives Forschungsfeld für akademische wie industrielle Gruppen. Neben experimentellen Untersuchungen an neuen Materialien, Strukturen und Bauelementen ist die Entwicklung von theoretischen Modellen entscheidend, um das technologische Potential früh abschätzen zu können, die Konzepte zu optimieren und neue Ideen zu entwickeln.

In dieser Forschungsgruppe entwickeln wir theoretische Ansätze und Modelle zur Beschreibung neuartiger Materialien und Bauelemente, die für zukünftige Anwendungen in der Nano- oder Spinelektronik interessant sind. Neben dem Studium von (parametrisierten) Modellen, die die entscheidenden physikalischen Mechanismen beinhalten, aber materialunspezifisch sind, ist auch das Verständnis der Eigenschaften von neuen Materialien wichtig.

Insbesondere möchten wir die strukturellen, elektronischen, chemischen und magnetischen Eigenschaften von neuen Materialklassen (z. B. Nano-drähten oder Nanoröhrchen, siehe Abb. 1) oder nanostrukturierten Festkörpern (z. B. atomare magnetische Ketten auf Oberflächen) auf der Grundlage ihrer elektronischen Struktur verstehen. Wir benutzen dazu Verfahren der theoretischen Festkörperphysik wie die Dichtefunktionaltheorie (Nobelpreis 1998 für Kohn und Pople) unter Verwendung von Rechnungen auf High-Performance Computing (HPC) Clustern und auf (parallelen) Supercomputern. Mit Hilfe dieser Rechnungen können wir die elektronische Struktur von komplexen Systemen mit hoher Genauigkeit und ab-initio, d.h. ohne die Verwendung von Parametern, ermitteln.

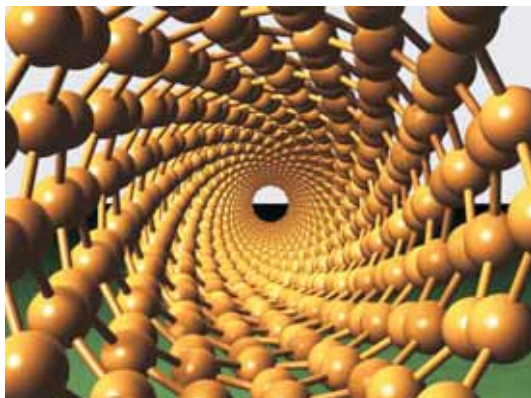


Abb. 1: Struktur eines (7,1) einwandigen Kohlenstoffnanoröhrchens entlang seiner Achse.

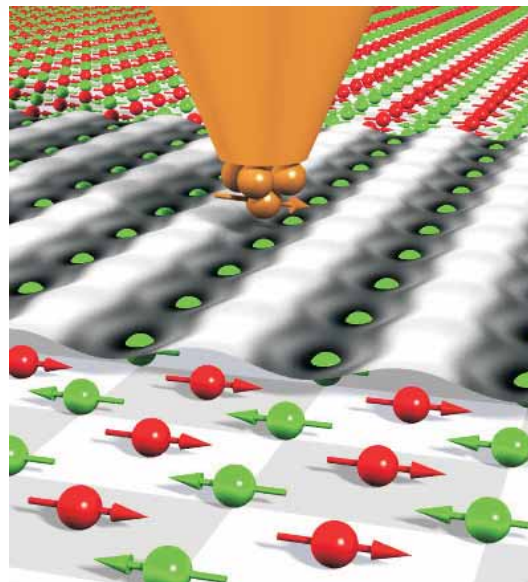


Abb. 2: Darstellung der atomaren Auflösung einer magnetischen Struktur mittels spinpolarisierter Rastertunnelmikroskopie.

Das ermöglicht es uns nicht nur, überraschende experimentelle Ergebnisse zu erklären, sondern erlaubt es auch, erfolgversprechende Materialsysteme auszuwählen und Vorhersagen über zukünftige Experimente zu machen.

Wir entwickeln und verwenden auch Modelle zur Interpretation von Experimenten mittels Rastertunnelmikroskopie (RTM). Diese Technik stellt ein extrem wertvolles Instrument zur Erforschung der Eigenschaften von Nanostrukturen dar, aber Bilder oder Daten, die mittels RTM gewonnen wurden, sind nicht immer direkt interpretierbar. Die Vermischung von elektronischen, strukturellen, chemischen und magnetischen Informationen im Tunnelstrom erfordert sehr häufig komplementäre Berechnungen der elektronischen Eigenschaften des untersuchten Systems oder die Modellierung des Tunnelprozesses. Wir beschäftigen uns besonders mit der Theorie der erst in den letzten Jahren entwickelten spin-polarisierten RTM, die eine Charakterisierung magnetischer Eigenschaften bis auf die atomare Längenskala erlaubt (siehe Abb. 2).

Für sehr viele technologische Anwendungen ist die Kontrolle des Transports von Elektronen durch ein nanostrukturiertes Bauelement entscheidend. Auf der Nanometerskala können sich jedoch konventionelle Bauelemente wie ein Transistor aufgrund von Quanteneffekten wie dem streufreien (ballistischen) Transport anders verhalten als in den heutigen mikroskopischen Prozessoren. Zur Erforschung von neuartigen nanoelektronischen Bauelementen wie z. B. Transistoren aus Kohlenstoffnanoröhrchen (s. Abb. 1) entwickeln wir semiklassische und quantenmechanische Modelle zur Berechnung ihrer Transporteigenschaften. Aufgrund der für ab-initio Methoden immer noch gigantischen Anzahl von Atomen in nanoskaligen Bauelementen wird die elektronische Struktur in einer parametrisierten Form berücksichtigt. Für einzelne Moleküle zwischen metallischen Elektroden (das ultimativ miniaturisierte Bauelement) ist es dagegen bereits heute möglich, eine selbstkonsistente Berechnung der elektronischen Eigenschaften und des elektrischen Stromflusses durchzuführen.

**Juniorprof. Dr. Stefan Heinze**

**FG Mikroskopische Aspekte der Spinelektronik  
Universität Hamburg**

**Kernkompetenzen:**

Dichtefunktionaltheorie

Magnetismus von Nanostrukturen

Theorie der Rastertunnelmikroskopie

Transport in nanoelektronischen Bauelementen

**Kontakt:**

Juniorprof. Dr. Stefan Heinze  
Universität Hamburg  
Institut für Angewandte Physik  
Jungiusstr. 11  
20355 Hamburg

Tel.: (040) 4 28 38 - 7624  
heinze@physnet.uni-hamburg.de  
www.physnet.uni-hamburg.de/iap/group\_s



**Prof. Dr. H. P. Oepen**

**FG Grenz- und Oberflächenphysik  
Universität Hamburg**

„Magnetism goes Nano“, dieser Titel einer Ferienschule charakterisiert knapp und präzise den Trend der Forschung auf dem Gebiet des Magnetismus. Um die magnetischen Speicherdichten deutlich zu erhöhen, müssen neue Wege beschritten werden. Die Konzepte basieren darauf, dass die neuen Speicher aus vielen Nanomagneten aufgebaut sind, wobei ein Bit einer einzelnen Nanostruktur zugeordnet wird. Dadurch vermeidet man, dass Domänen und Domänenwände entstehen. Letztere beschränken in kontinuierlichen Medien die maximal erreichbare Speicherdichte. Zukünftig soll der Magnetisierungszustand von mehrlagigen Nanostrukturen mittels Widerstandsmessungen ausgelesen werden. Dieses neueste Speicherkonzept mit hohem technologischem Potential ist als **magnetic random access memory (MRAM)** bekannt.

Die neuen Konzepte für magnetische Speichermedien, die auf nanoskaligen Magneten beruhen, setzen heute die Maßstäbe in den Forschungs- und Entwicklungslabors. Es bedarf Herstellungsmethoden und Analyseverfahren mit entsprechender lateraler Auflösung, um Forschung auf diesem Arbeitsfeld betreiben zu können.

Die Forschergruppe Grenz- und Oberflächenphysik beschäftigt sich mit der Herstellung und Untersuchung von Nanomagneten, basierend auf ultradünnen Schichtsystemen. Ultradünne Filme und/oder Vielschichten bieten die Möglichkeit, über Wachstumsmanipulation magnetische Eigenschaften in weitem Rahmen zu bestimmen.

Zur Herstellung und Analyse werden spezielle lateral hochauflösende Techniken in der Forschergruppe entwickelt und benutzt. In den letzten Jahren wurde ein neues Mikroskop zur hochauflösenden Abbildung magnetischer Strukturen aufgebaut. Dieses besteht aus einem Rasterelektronenmikroskop (SEM), das mit einer Spinpolarisationsanalyse kombiniert ist (auch SEMPA genannt). Damit können mit einer lateralen Auflösung von  $< 10$  nm magnetische Feinstrukturen in Ferromagneten abgebildet werden. Der Vorteil dieser Technik liegt darin, dass die lokale Magnetisierung der Probe direkt abgebil-

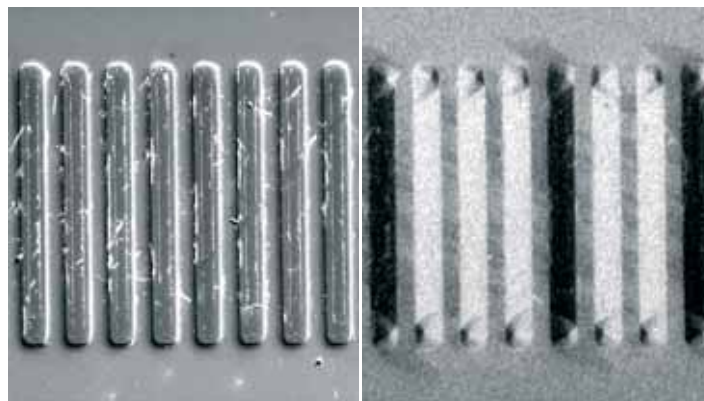


Abb. 1: SEM- und SEMPA-Aufnahme von Permalloy-Strukturen auf  $\text{SiO}_2$ . Das linke Bild entspricht einer konventionellen Rasterelektronenmikroskopie-Aufnahme. Das rechte Bild zeigt die Magnetisierungsverteilung des gleichen Probenausschnitts. Weiss/schwarz bedeutet, dass die Magnetisierung nach oben/unten zeigt. Die Breite der Strukturen beträgt  $2 \mu\text{m}$ .



Abb. 2: SEMPA-Aufnahme des Domänenmusters in einer Co-Struktur auf  $\text{SiO}_2$ . Die Probe wurde mittels Elektronenstrahlolithographie hergestellt. Zur Abbildung wurden ca. 10 Monolagen Eisen aufgedampft. Die kürzere Seite der Co-Struktur ist  $10 \mu\text{m}$  lang.

det wird. In den letzten Jahren wurden präparative Prozesse entwickelt, die es heute möglich machen, die Methode zur Analyse von beliebigen Ferromagneten verwenden zu können.

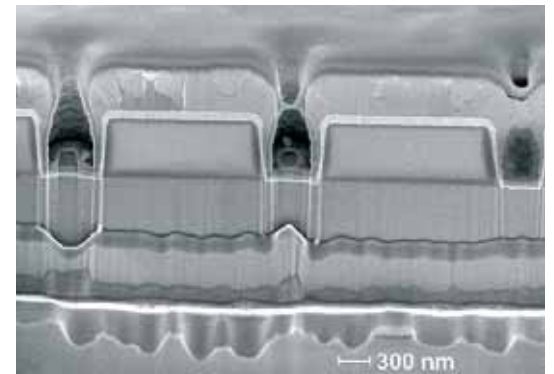


Abb. 3: SEM-Aufnahme eines Querschnitts durch eine integrierte Schaltung. Der Schnitt wurde mittels FIB erzeugt. (© Orsay Physics, www.orsayphysics.com)

Das Mikroskop ist zusätzlich mit einem Auger-Analysator ausgerüstet, der eine chemische Analyse mit hoher lateraler Auflösung erlaubt. Diese als Scanning Auger Microscopy (SAM) bekannte Technik erfasst jedoch ausschließlich die Bereiche nahe der Oberfläche (Informationstiefe von wenigen Atomlagen).

Die Strukturierung auf einer Skala von wenigen 10 Nanometern erfolgt mittels eines hochfokussierten Ionenstrahls (Focused Ion Beam, FIB). Durch Beschuss mit Ionen kann mit diesem Gerät lokal Material abgetragen werden. Strukturen und Formen werden ähnlich wie beim Fräsen in Oberflächen oder Filme eingätzt. Die Stärke bzw. die Tiefe des Materialabtrags wird durch die Ionendosis festgelegt und erlaubt damit in gewissen Grenzen eine dreidimensionale Strukturierung.

Die Kombination dieser Herstellungstechnik mit den oben beschriebenen Analysemethoden gestattet eine kontrollierte Bearbeitung unterschiedlichster Materialien und Materialkombinationen.

### Kernkompetenzen:

Oberflächenphysik

Magnetismus

Elektronenmikroskopie

Elektronenspektroskopie

Nanostrukturphysik

### Kontakt:

Prof. Dr. H. P. Oepen  
Universität Hamburg  
Institut für Angewandte Physik  
Jungiusstr. 11  
20355 Hamburg

Tel.: (040) 4 28 38 - 2030  
oepen@physik.uni-hamburg.de  
www.physnet.  
uni-hamburg.de/iap/group\_g/



Die aktuelle Informations- und Datenverarbeitungstechnologie basiert auf Halbleitern. Diese Materialklasse zeichnet sich dadurch aus, dass durch gezielt eingebrachte Fremdatome, die sogenannte Dotierung, die elektrischen und durch die Wahl der Zusammensetzung auch die optischen Eigenschaften in einem weiten Bereich maßgeschneidert werden können. Die Halbleiterepitaxie bietet die Möglichkeit, Vielschichtstrukturen aus nur wenige Nanometer dünnen Halbleiterschichten unterschiedlicher Dotierung und Zusammensetzung zu komponieren. Derartige Schichtstrukturen, sogenannte Heterostrukturen, erweitern die Möglichkeiten der Abstimmung und Optimierung für spezielle Anwendungen, wie zum Beispiel für optische Bauelemente und für Bauelemente mit sehr hohen Grenzfrequenzen bzw. geringem Leistungsbedarf. In der Arbeitsgruppe werden derartige Heterostrukturen hergestellt und ihre elektronischen Eigenschaften studiert.

Das in der Arbeitsgruppe verwendete Verfahren zur Deposition von einkristallinen Heteroschichten ist die Molekularstrahlepitaxie (MBE). In diesem Verfahren werden bei extrem niedrigem Hintergrunddruck im Bereich von  $10^{-12}$  mbar Molekularstrahlstrahlen auf ein beheiztes Substrat gerichtet. Unter sehr genau kontrollierten Bedingungen wachsen einkristalline Halbleiterschichten auf dem Substrat, deren Zusammensetzung und Dicke mit atomarer Präzision anhand des relativen Drucks im Molekularstrahl eingestellt werden können. Dieses Verfahren bietet beste Kontrollmöglichkeiten über die Schichtqualität während des Schichtwachstums durch Elektronenbeugung oder optische Methoden. Weiterhin können mit diesem Verfahren die reinsten Schichten hergestellt werden, wie sie zum Beispiel in der Grundlagenforschung benötigt werden.

In den beiden Wachstumskammern der Forschungsgruppe werden ausschließlich Verbindungshalbleiter der III-V Materialklasse auf GaAs oder InP Substraten hergestellt, weil diese Materialklasse insbesondere für optische Bauelemente und in der Grundlagenforschung herausragende Bedeutung hat. Der zentrale Aspekt der Forschungsaktivitäten ist die Herstellung und Untersuchung von Halbleiternanostrukturen, deren elektronische Eigenschaften wesentlich von Quanten-

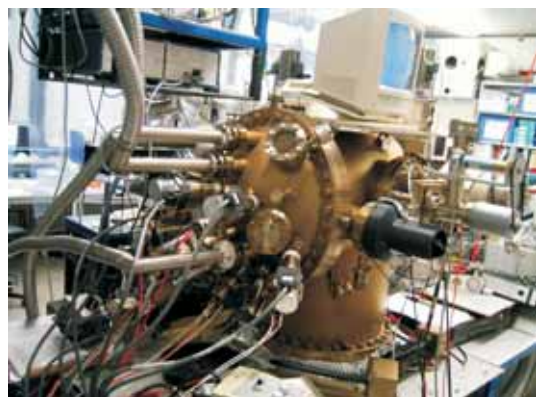


Abb. 1: MBE-Wachstumskammer am Institut für Angewandte Physik, Ansicht des Zellenflansches.

effekten bestimmt werden. Relativ einfach ist dabei die Kontrolle der nur wenige Nanometer betragenden Dicke von Heteroschichten. Elektronen in derart dünnen Halbleiterschichten sind Quanteneffekten unterworfen, die sehr gut bekannt und bereits z. B. in Halbleiterlasern ausgenutzt werden. In der Arbeitsgruppe werden derzeit Verfahren erforscht,

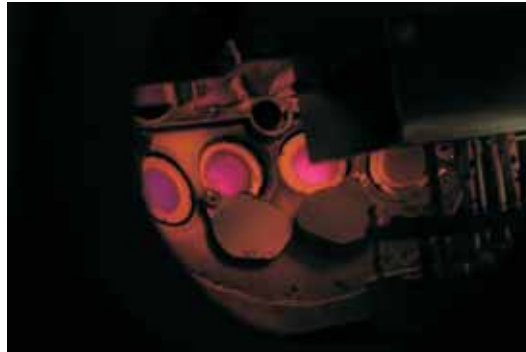


Abb. 2: Blick auf die Verdampferzellen in der Wachstumskammer.

die Schichten in der Schichtebene weiter zu strukturieren. Die Strukturierung von Schichten zu wenige Nanometer breiten Streifen oder Kästen, sogenannten Quantendrähten oder Quantenpunkten, eröffnet weitere Freiheitsgrade für die Kontrolle maßgeschneiderter Bauelementeigenschaften. Für die Strukturierung in der Schichtebene können bewährte Methoden der Halbleitertechnologie unter Verwendung von lithographischen Masken eingesetzt werden. In der Arbeitsgruppe werden aber auch neuartige Verfahren erforscht, die mit der Molekularstrahlepitaxie kompatibel sind. So werden z. B. durch Ausnutzen "natürlicher", selbstorganisierter Wachstumsmechanismen Quantenpunkte mit exzellenten optischen Eigenschaften hergestellt.

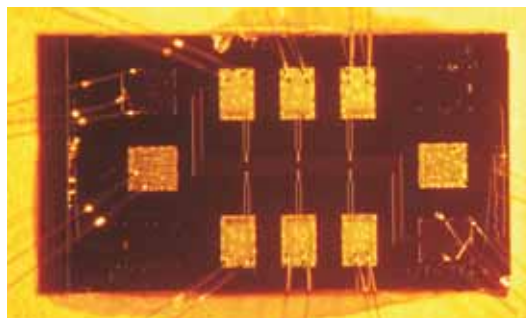


Abb. 3: Hallstreifen zur Messung der elektrischen Eigenschaften einer Heterostrukturprobe.

Im Fall von Quantenpunkten kann man z. B. ein Periodensystem künstlicher "Atome" schaffen. Die Eigenschaften derartiger Quantenstrukturen sind für die Grundlagenforschung von großem Interesse, da sie als Modellsysteme für die Erforschung dimensionsabhängiger Eigenschaften dienen. Die elektronischen Eigenschaften der Quantenstrukturen werden von uns mit diversen Methoden wie zum Beispiel temperaturabhängigen Magnetwiderstands- und Hallmessungen, Kapazitäts-Spannungsprofilung und transiente Kapazitäts-spektroskopie untersucht.

#### Kernkompetenzen:

Halbleiterphysik  
UHV-Technologie  
Nanostrukturphysik  
Molekularstrahlepitaxie  
Halbleitercharakterisierung

#### Kontakt:

Prof. Dr. Wolfgang Hansen  
Universität Hamburg  
Institut für Angewandte Physik  
Jungiusstr. 11  
20355 Hamburg

Tel.: (040) 4 28 38 - 3267  
hansen@physnet.uni-hamburg.de  
www.physnet.uni-hamburg.de/  
institute/IAP/Group\_W



Ziel einer zukunftsweisenden Werkstofftechnologie ist es, Werkstoffe mit maßgeschneidertem Eigenschaftsprofil für die spezielle technische Anwendung zu entwickeln. Die Eigenschaften der Werkstoffe können dabei sowohl durch deren chemische Zusammensetzung als auch durch die aus der Prozessführung resultierende Mikrostruktur beeinflusst werden. Insbesondere spielen Grenzflächen zwischen verschiedenen Komponenten sowie Kristallitgrenzflächen, in denen die Periodizität der atomaren Ordnung unterbrochen ist, eine wesentliche Rolle. Werkstoffe mit Mikrostrukturen im Bereich einiger 10 nm zeigen aufgrund des hohen Anteils an Grenzflächen ein vollkommen neues Eigenschaftsspektrum, durch das interessante neue Anwendungsfelder eröffnet werden. GKSS hat sich zum Ziel gesetzt, diese neue Werkstoffklasse in technischem Maßstab herzustellen und ihre anwendungsrelevanten Eigenschaften zu charakterisieren.



Abb. 1: Hochenergiemahlen zur Herstellung nanokristalliner Werkstoffe in technischem Maßstab.

So zeichnen sich nanostrukturierte Metallhydride durch eine große chemische Reaktivität aus, die zur Speicherung von Wasserstoff für den Automobilantrieb von morgen genutzt werden kann. Metallhydride bieten den Vorteil einer hohen volumenbezogenen Speicherdichte, die noch um 60 % über der von Flüssigwasserstoff bei 20 K liegt. Leichtmetalllegierungen werden wegen ihrer hohen gewichtsbezogenen Speicherkapazität favorisiert. Hier konnte durch die nanokristalline Mikrostruktur ein technologischer Durchbruch hinsichtlich der Reaktionskinetik der Wasserstoffaufnahme und -abgabe erzielt werden. Während zur Beladung einer konventionellen Legierung mehrere Stunden erforderlich waren, kann das nanokristalline Material in wenigen Minuten be- oder entladen werden.

Mit der gemeinsamen Weiterentwicklung dieser Energiespeicher auf internationaler Ebene wird ein Beitrag zur Lösung der globalen Energie- und Umweltprobleme geleistet. Die Vision eines abgasfreien und geräuscharmen Fahrzeugs ist damit bereits ein Stück näher gerückt.

Weiterhin besitzen nanostrukturierte Materialien eine außergewöhnliche Härte und Festigkeit bei Raumtemperatur, da eine plastische Verformung der nanoskaligen Kristallite kaum mehr möglich ist. Die extremen mechanischen Eigenschaften



Abb. 2: Optisches Element für den Freie-Elektronen-Laser (FEL) am DESY (Hamburg): 45 nm dicke Kohlenstoffbeschichtung auf planem, 300 mm langem Siliziumeinkristall (T-Profil).

ermöglichen eine Steigerung der Verschleiß- und Abriebfestigkeit, die für die Beschichtung von überdurchschnittlich beanspruchten Oberflächen dringend benötigt werden. Entsprechende Schichten aus Metall-Keramik-Verbundwerkstoffen können durch thermisches Spritzen aufgebracht werden und erreichen bei sehr feinen oder sehr groben Abrasivpartikeln höhere Verschleißbeständigkeiten und geringere Rauigkeiten. Zudem zeichnen sie sich durch eine höhere Schadenstoleranz aus und sind somit auch bei höheren Lasten einsetzbar.

Ein weiteres Beispiel für funktionale Anwendungen von nanostrukturierten Werkstoffen sind Vielfachschichten aus jeweils einem röntgentransparenten und einem röntgenreflektierenden Material, die das Beugungsverhalten von Kristallen imitieren können. Durch präzise Variation von Schichtdicken und Substratkrümmungen lassen sich röntgenoptische Elemente herstellen. Nanostrukturierte Einzel- und Vielfachschichten werden beispielsweise am Freie-Elektronen-Laser (FEL) und in Strahlrohren von Synchrotronringen eingesetzt. Bei GKSS werden bis zu 500 nm lange Beschichtungen mittels neuartiger PVD-Techniken hergestellt, die sich durch hohe Reflektivitäten, geringe Rauigkeiten und hohe Homogenitäten auszeichnen. Als Totalreflexionsspiegel im relevanten Energiebereich von 50 bis 200 eV und bei einem Einfallswinkel von 2° können ca. 45 nm dicke Kohlenstofffilme den FEL-Strahl mit einer Reflektivität von mehr als 90% ablenken. So ermöglichen die GKSS-Filme die Führung, die Ausrichtung sowie die Monochromatisierung des FEL-Strahls für Experimente zur Untersuchung grundlegender Effekte und neuartiger Werkstoffe.

Die erfolgreiche Technologieentwicklung zeigt, dass nanostrukturierte Werkstoffe in großtechnischem Maßstab wirtschaftlich herstellbar sind und dass damit die Einsatzpotentiale dieser neuartigen Funktions- und Strukturmaterialien für die industrielle Anwendung genutzt werden können.

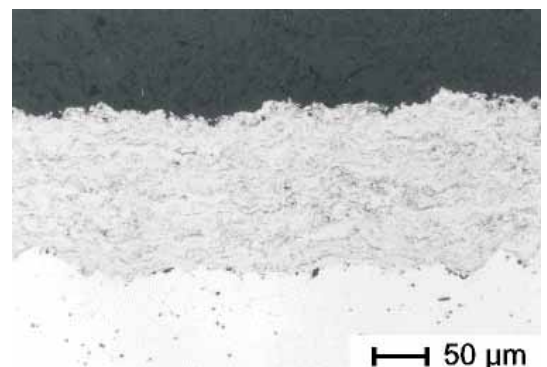


Abb. 3: Querschnitt einer Schicht, die durch thermisches Spritzen von nanostrukturierten Verbundwerkstoffen hergestellt wurde.

**Dr.-Ing. Thomas Klassen**  
**FG Pulver- und Nanotechnologie**  
**GKSS Forschungszentrum**

**Kernkompetenzen:**

- Optimierung des Eigenschaftsprofils nanostrukturierter Werkstoffe
- Hochenergiemahlen
- Hochpräzise PVD-Beschichtungen
- Wasserstoffspeicher
- Röntgenspiegel

**Kontakt:**  
 Dr.-Ing. Thomas Klassen  
 Abteilung Pulver- und Nanotechnologie  
 GKSS Forschungszentrum  
 Geesthacht GmbH  
 Max-Planck-Straße 1  
 21502 Geesthacht

Tel. (04152) 87 - 2542  
 thomas.klassen@gkss.de  
 www.gkss.de



Röntgenoptiken, die aus vielen nur wenige Nanometer dünnen Schichten bestehen, ermöglichen im Labor Röntgenlicht einer Qualität, wie es sie vor einigen Jahren nur an großen Synchrotronquellen wie dem DESY in Hamburg gab. Die Optiken formen Röntgenstrahlung für Verfahren wie Proteinkristallographie und Röntgenfluoreszenzspektrometrie.

In der Proteinkristallographie wird die dreidimensionale Struktur von Proteinen entschlüsselt – ein Zukunftszweig im Bereich „Life Science“, der die Bekämpfung von Krankheiten mit gezielten Medikamenten ermöglichen soll. An Spektrometriegeräten für die Umweltanalytik führen die Optiken zu sinkenden Nachweisgrenzen – ein wichtiger Punkt, da Grenzwerte für viele schädliche Substanzen stetig verringert werden.

Bei Incoatec (Innovative coating technologies) kommen modernste Beschichtungstechnologien zum Einsatz, um ultrapräzise dünne Filme anzufertigen. In den „Sputteranlagen“ wird ein Plasma des gewünschten Materials erzeugt, das sich auf dem zu beschichtenden Körper, dem „Substrat“, niederschlägt. Substrate mit bis zu 15 cm Durchmesser oder 50 cm Länge können beschichtet werden, mit Präzisionen im Bereich von bis zu 0.1% für homogene Schichten. Komplizierte Schichtdickenverläufe können über eine Bewegung des Substrats computergesteuert eingestellt werden.



Abb. 1: Plasma in einer Sputteranlage für Präzisionsbeschichtung. Die Quelle misst 30 x 9 cm<sup>2</sup>.

Für Incoatecs Hauptprodukte, die Röntgenspiegel, muss das Substrat eine für den jeweiligen Zweck ausgewählte Form besitzen. Optiken für parallele Strahlen haben eine parabolische Form, fokussierende Optiken sind dagegen elliptisch. Optiken, die den Strahl in zwei Richtungen formen, müssen darüber hinaus aus zwei Einzeloptiken bestehen oder ein Paraboloid oder ein Ellipsoid beinhalten. Die Formen müssen extrem präzise für die jeweilige Anwendung hergestellt werden. Für eine Parallelstrahloptik, die typischerweise 6x2 cm<sup>2</sup> groß ist, wird auf dieser Fläche die Form auf ca. ±100 nm genau eingestellt, dies entspricht z. B. nur einer Abweichung von 1 cm auf 6 km Länge. Und dazu muss die Oberfläche mit max. 0.3 nm Rauigkeit extrem glatt sein, damit die Beschichtung mit den wenigen Nanometer dünnen Filmen funktioniert.

Die Röntgenoptiken bestehen aus einer Form, die mit zwei Einzelschichten, die sich bis zu mehrere hundert Male wiederholen, beschichtet wird. Diese Schichten müssen auf der gesamten Fläche einen vorausgerechneten Schichtdickenverlauf aufweisen.

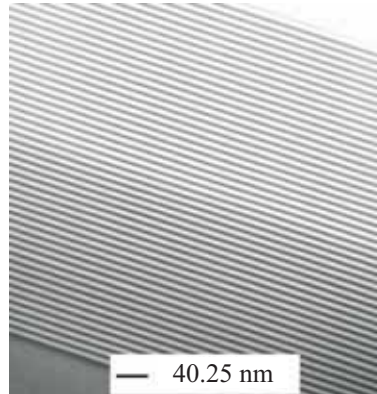


Abb. 2: Transmissionselektronenmikroskopie-Aufnahme einer Röntgenoptik im Querschnitt (Prof. Jäger, Universität Kiel)..

Für den klassischen Montelspiegel, der in der Proteinkristallographie eingesetzt wird und dort die Röntgenstrahlung in zwei Dimensionen auf einen Punkt fokussiert, variiert die Schichtdicke über seine 6 cm Länge von 3.07 nm bis 3.72 nm. Die Präzision muss dabei im Bereich von 0.1 nm liegen. Dies ist vergleichbar mit einer Präzision von 1mm auf 600 km.

Diese fokussierende Montel-Optik besteht aus zwei elliptischen Spiegeln, die 90° zueinander montiert werden. Strahlen, die beide Spiegel treffen, werden in einen Punkt fokussiert und erreichen dort extrem hohe Strahlflüsse von bis zu 10<sup>9</sup> Photonen/sec. Dies ermöglicht die 3-dimensionale Kristallstrukturbestimmung von wenigen 10 nm großen Einkristallzellen mit einer Auflösung von unter 0.2 nm. Sogar zweimal höhere Strahlflüsse ermöglicht die SBM („single-bounce-mirror“) Optik, die ein Ellipsoid darstellt, das jeden Strahl von einer Punktquelle wieder in einen Punkt fokussiert.



Abb. 3: Fokussierende Röntgenoptiken für Einkristalldiffraktometrie: (a) Montel, (b) SBM.



## INCOATEC GmbH

### Kernkompetenzen:

- Physikalische Beschichtungstechnologie
- Dünnschichttechnik
- Röntgenoptik
- Röntgenanalytik

### Kontakt:

Dr. Jörg Wiesmann  
Geschäftsführung  
Incoatec GmbH  
Max-Planck-Str. 2  
21502 Geesthacht

Tel.: (04152) 88 93 81  
info@incoatec.de  
www.incoatec.de

Ein wichtiger Bestandteil der Nanotechnologie sind Analyse- und Messverfahren, die die häufig unsichtbaren Produkte aus diesem breiten Feld überhaupt erst charakterisierbar oder erforschbar machen. Diese Werkzeuge transformieren den Nanometer in eine dem Menschen zugängliche Welt. Umgekehrt finden Ereignisse, die in unserer Welt kaum stören, ihren Weg leider ungefiltert in die Nanoanalytik. Wenn der Radiosender mehr Messsignal erzeugt, als die aktiven Zentren einer isolierten Herzmuskelzelle, wenn die Schwingungen innerhalb eines Kraftmikroskops größer werden als die zu untersuchenden Nanopartikel oder der Elektronenstrahl beim Nanostrukturieren durch das Magnetfeld der benachbarten Straßenbahn verbogen wird, muss die Infrastruktur angepasst werden.

Mit dem Hintergrund einer mehrjährigen Beschäftigung in der Forschungsgruppe Rastersondenmethoden an der Universität Hamburg hat sich *cplusw* auf die Schaffung der geeigneten Rahmenbedingungen für Anwendungen der Nanoanalytik spezialisiert.



Abb. 1: Transmissionselektronenmikroskop auf pneumatischen Isolatoren in Unterflurtechnik

Zunehmende Automatisierung in den Laboratorien lässt die Schwingungsbelastung wachsen. Mit Hilfe hochwirksamer pneumatischer Isolatoren kann dieses Problem effektiv gelöst werden.

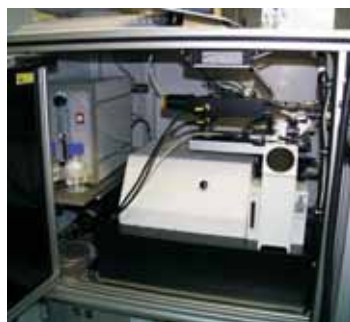


Abb. 2: Fluoreszenzspektroskopie: molekulare Genauigkeit mit integrierten Dämpfern

Wo wenig Platz vorhanden ist, können aktive Dämpfer eine Alternative sein, die darüber hinaus auch bei ganz tiefen Frequenzen Störungen auslöschten können.



Abb. 3: Lichtdichter Faradaykäfig mit integrierter Schwingungsdämpfung

Manche Anwendungen reagieren auf elektromagnetische Störungen, die sich mit einem Faradayschen Käfig unterdrücken lassen.



Abb. 4: Schwingungsfreier Labortisch

Elektronenstrahlverfahren reagieren gar auf magnetische Wechselfelder, die durch eine aktive Magnetfeldkompensation unterdrückt werden können. Neue Verfahren bringen neue Anforderungen. Mit den beispielhaft genannten Produktbereichen und weiteren Dienstleistungen von der Gebäudetechnik bis zum Sondermaschinenbau schafft *cplusw* das darauf abgestimmte **n-vironment**.



Abb. 5: Schwingungsmessung: Ist der Baugrund für die "Nano-Fab" geeignet?

### Kernkompetenzen:

- Schwingungsdämpfung
- Störgrößenkompensation
- Sondermaschinenbau
- Beratung

### Kontakt:

Christian Wobbe  
cplusw GmbH  
Meiendorfer Str. 205  
22145 Hamburg

Tel.: (040) 67 99 82 - 20  
Fax: (040) 67 99 82 - 22  
nano@cplusw.de  
www.cplusw.de



# Chemische Technologien





**Prof. Dr. Horst Weller**

**FG Nanochemie**

**Universität Hamburg**

20

**Kernkompetenzen:**

Nanopartikel

Nanokomposite

Elektronenmikroskopie

Biolabeling

Selbstorganisation

**Kontakt**

Prof. Dr. Horst Weller  
 Universität Hamburg  
 Institut für Physikalische Chemie  
 Grindelallee 117  
 20146 Hamburg

Tel.: (040) 42838-3449  
 weller@chemie.uni-hamburg.de  
 www.chemie.uni-hamburg.de/pc/Weller/

Nanopartikel stellen in vielerlei Hinsicht eine neue Klasse von Materialien dar, weil ihre physikalischen und chemischen Eigenschaften durch Einstellung der Größe und durch Oberflächenmodifikation weitgehend den jeweiligen Erfordernissen angepasst werden können. Als eine der weltweit ersten Gruppen auf dem Gebiet der chemischen Nanotechnologie arbeiten wir heute sowohl an grundlagenorientierten Themen zu größenabhängigen magnetischen, optischen, elektrischen, katalytischen und strukturellen Eigenschaften der Teilchen als auch an deren Anwendung in elektrolumineszenten und photovoltaischen Bauteilen, in Speichermedien, Kompositmaterialien und als Marker für diagnostische und therapeutische Zwecke in Biologie und Medizin.

Nanopartikel zahlreicher anorganischer Materialien lassen sich heute durch nasschemische Syntheseverfahren herstellen und wie „normale“ Chemikalien verwenden. In vielen Fällen sind die Präparationsverfahren so weit entwickelt, dass Proben mit einstellbaren und sehr einheitlichen Größen hergestellt werden können. Einen Eindruck von der Qualität solcher Proben liefert die elektronenmikroskopische Aufnahme (TEM) in Abb. 1, die CdSe Nanopartikel bei unterschiedlicher Vergrößerung zeigt. Man erkennt in der Übersicht, wie sich die sehr einheitlichen Teilchen regelmäßig auf dem TEM-Trägerfilm anordnen. Bei höherer Vergrößerung zeigen sich sogar deutlich die Kristallnetzebenen (Einsatz in Abb. 1). Ein mittlerweile klassisches Beispiel für die Größenabhängigkeit der Materialeigenschaften von Nanopartikeln ist der Größenquantisierungseffekt bei Halbleiterpartikeln, aufgrund dessen die Farbe der Teilchen in einem weiten Bereich variiert werden kann. Sehr deutlich erkennt man dies an der Fluoreszenz der CdSe Proben in Abb. 2. Chemisch gesehen haben wir es bei allen Proben mit der gleichen Substanz zu tun, lediglich der Partikeldurchmesser nimmt von ca. 2.5 nm (blau) zu 6 nm (rot) zu. Bei richtiger Herstellung gelingt es, diese Nanoteilchen, auch „Quantum Dots“ genannt, wesentlich photostabiler zu machen als es für herkömmliche organische Farbstoffe möglich ist. Dies bildet die Grundlage für zahlreiche

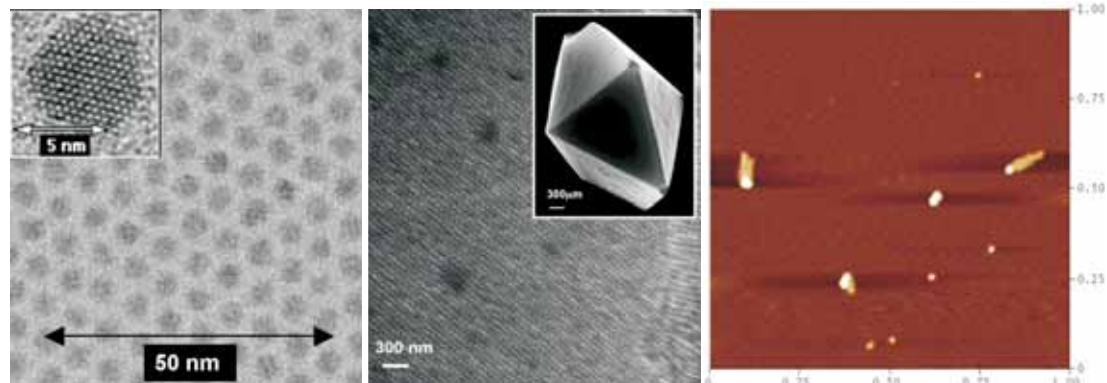


Abb. 2: Fluoreszenz von CdSe-Nanopartikellösungen. Die mittlere Größe der Partikel nimmt von 2.5 nm (blau) bis 6 nm (rot) kontinuierlich zu.

Anwendungen im Bereich der Optoelektronik (LEDs, Laser und photovoltaische Zellen) und der Fluoreszenzmarkierung biologisch relevanter Moleküle.

Besonders interessant sind auch die Selbstorganisationsprozesse von Nanopartikeln. So lassen sich zwei- und dreidimensionale kristalline Strukturen aus Nanoteilchen herstellen und damit die atomare Kristallographie auf die Nanoskala übertragen (Abb. 3). Bedenkt man, dass die typischen Festkörpereigenschaften konventioneller Materialien erst durch die regelmäßige Anordnung der Atome im kristallinen Gitter entstehen, so lässt sich erahnen, dass sich das Verhalten von Nanopartikelkristallen durch Variation von Größe und Material der einzelnen Bausteine in bisher ungeahnter Weise maßschneidern lassen sollte.

Ein junges und vielversprechendes Forschungsgebiet ist aus der Verknüpfung von Nanopartikeln mit biologischen Molekülen entstanden (Abb. 4). Hierbei lässt sich in einzigartiger Weise die Funktionalität der Nanopartikel mit den selbstorganisierenden Eigenschaften von Biomolekülen kombinieren. So gelingt es heute, Rezeptormoleküle, die nach dem Schlüssel-Schloss-Prinzip molekulare Erkennungsfähigkeiten haben, an die Oberfläche von Nanopartikeln chemisch anzubinden. Auf diese Weise wollen wir „intelligente“ Kontrastmittel für die medizinische Bildgebung entwickeln und in Kooperation mit anderen Nanoforschungsgruppen, Biochemikern und Medizinern neuartige „drug delivery“-Systeme herstellen, die den medizinischen Wirkstoff gezielt an die Stellen im Körper bringen und freisetzen, wo er gebraucht wird.



**Links** (Abb. 1): Elektronenmikroskopische Aufnahme von CdSe-Nanopartikeln. Im Einsatz erkennt man bei höherer Vergrößerung die Kristallnetzebenen. **Mitte** (Abb. 3): Kristall aus CoPt<sub>3</sub>-Nanopartikeln (kleines Bild). Die einzelnen Teilchen sind als kleine Kugeln zu erkennen und bilden facettierte Oberflächen aus (großes Bild). **Rechts** (Abb. 4): Rasterkraftmikroskopische Aufnahme von CdTe-Nanopartikeln, an deren Oberfläche kurze DNA-Stränge chemisch angeknüpft wurden.







**PD Dr. Andreas Terfort**

**FG Selbstordnende  
Monoschichten**

**Universität Hamburg**

Die Oberfläche eines Gegenstands bestimmt meist die erste Wahrnehmung. Die Oberfläche ist aber nicht nur eine einfache Phasengrenze, welche die Form und die Färbung dieses Gegenstandes definiert, sondern sie bestimmt auch viele Eigenschaften des betreffenden Gegenstandes, die erst durch genauere Untersuchungen sichtbar werden. Typische Oberflächeneigenschaften sind zum Beispiel die Textur, die Benetzbarkeit oder die Korrosionsbeständigkeit. Viele dieser "oberflächlichen" Eigenschaften werden nur durch die allerersten Atom- oder Molekülschichten hervorgerufen, so dass eine Manipulation dieser Eigenschaften bereits durch extrem dünne Beschichtungen möglich wird. Die kleinste in ihren Eigenschaften manipulierbare Einheit ist das Molekül, so dass monomolekulare Schichten mit einer typischen Dicke von 1 bis 2 nm bereits eine sehr breite Variation der Oberflächeneigenschaften gestatten.

Die Herstellung und Handhabung solcher monomolekularen Schichten wurde vor allem durch die Einführung der Prinzipien der Selbstorganisation von breitem Interesse: bedingt durch maßgeschneiderte chemische Funktionalitäten ordnen sich die von uns verwendeten Moleküle spontan (zum Beispiel aus einer Lösung) hochgeordnet zu den Oberflächenschichten mit den gewünschten Eigenschaften an. Dieses Verfahren benötigt keinerlei aufwendige Apparaturen und auch keine speziellen Geometrien der zu beschichtenden Körper: diese selbstanordnenden Monoschichten (SAM, engl.: self-assembled monolayers) bilden sich schnell und zuverlässig und vor allem selbstterminierend. Dies heißt, dass die Schichten tatsächlich immer und überall genau eine Molekülschicht dick sind, was natürlich den Materialverbrauch minimiert (beispielsweise könnte man mit einem Becherglas voll diesen Materials mehr als vier Fußballfelder beschichten). Unsere Gruppe hat sich auf die Herstellung von SAMs mit maßgeschneiderten Eigenschaften für eine ganze Reihe von Anwendungen spezialisiert. Der erste Schritt

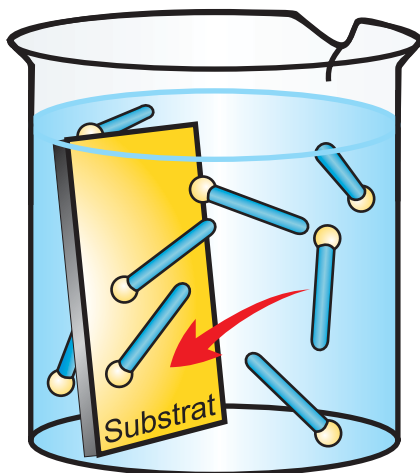


Abb. 1: Die spontane Bildung einer selbstordnenden Monoschicht

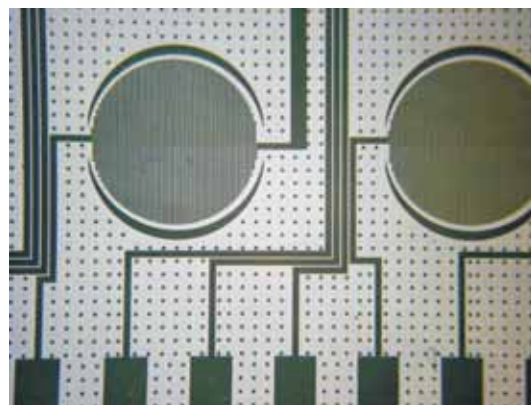
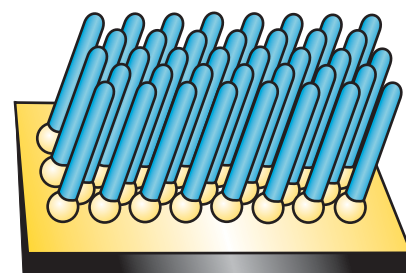


Abb. 2: Miniaturisierter Bio-Sensor

bei der Entwicklung einer neuen Beschichtung besteht in der Herstellung eines geeigneten Moleküls, das nicht nur die gewünschten Eigenschaften der späteren Beschichtung in sich trägt, sondern auch eine Verankerungsstelle besitzt, mit der es sich an die zu beschichtende Oberfläche anheften kann. Die daraus hergestellten Nanoschichten werden dann gründlich durch eine ganze Reihe von Methoden hinsichtlich ihrer Eigenschaften und Struktur charakterisiert. Zum Beispiel nutzen wir die Rastermikroskopiemethoden, die auch in der Gruppe von Prof. Wiesendanger verwendet werden, um die Ordnung der Moleküle sichtbar zu machen. Synchrotronuntersuchungen, vor allem am Hamburger Synchrotronlaboratorium HASY-LAB, erlauben weitere Rückschlüsse auf die Eigenschaften der neugebildeten Oberflächen. Wenn statt geschlossener, einheitlicher Schichten eher solche mit einer lateralen Strukturierung benötigt werden, verwenden wir verschiedene Verfahren, die eine ortsselektive Deposition der Nanoschichten gestatten. Mithilfe dieser Techniken verfolgen wir aktiv den Aufbau kleinster funktioneller Einheiten, wie zum Beispiel miniaturisierter (Bio-)Sensoren oder kleinster Transistoren. Die Forschungsleistungen unserer Arbeitsgruppe wurden kürzlich mit dem Carl-Duisberg-Preis der Gesellschaft Deutscher Chemiker sowie dem Helmut und Hannelore Greve Förderpreis der Joachim Jungius-Gesellschaft gewürdigt.



### Kernkompetenzen:

Selbstordnende Monoschichten

Organische Oberflächen

Biosensoren

Organometallische Katalyse

### Kontakt:

PD Dr. Andreas Terfort  
Universität Hamburg  
Institut für Anorganische und  
Angewandte Chemie  
Martin-Luther-King-Platz 6  
20146 Hamburg

Tel.: (040) 4 28 38 - 61 02  
aterfort@chemie.uni-hamburg.de  
www.chemie.uni-hamburg.de/ac/AKs/Terfort/

**Polyolefine gehören zu den mengenmäßig am stärksten wachsenden Materialklassen. Im Jahr 2005 wird die Produktion von Polyolefinen die Menge von 100 Millionen Tonnen erreichen. Dies wird möglich durch immer angepasste Strukturen bis in den Nanobereich und neuen Verarbeitungsverfahren. Einen steigenden Anteil bei der Herstellung haben Metallocen/MAO-Katalysatoren, die in unserer Hamburger Arbeitsgruppe entdeckt wurden, und die sich zu einem intensiv bearbeiteten Forschungs- und Innovationsgebiet ausgeweitet haben. Im Vergleich zu herkömmlichen Ziegler-Katalysatoren ermöglichen die Metallocene die Herstellung maßgeschneiderter Kunststoffe. Sie weisen in der Regel nur ein aktives Zentrum auf und liefern daher engverteilte Polymere. Durch Variation der Liganden am Titan- oder Zirkonatom können ganz unterschiedliche Mikrostrukturen und bei Copolymeren Sequenzabfolgen erhalten werden.**

Neben den klassischen isotaktischen und syndiotaktischen Polypropylenen lassen sich mit Metallocen-Katalysatoren auch Stereoblock-Polymere synthetisieren. Diese weisen isotaktische Blocklängen von 2 bis 20 nm Länge auf. Beim Kristallisieren bilden sich so Lamellen, die entsprechende Dicken im Nanobereich aufweisen und zu einer höheren Flexibilität von daraus hergestellten Folien führen, die außerdem transparent sind. Es erschließen sich daraus neue Anwendungsfelder. Ebenso können in eine flexible, ataktische Polypropylenkette Comonomere (Oligoethene mit 10-30 Kohlenstoff-Atomen) einpolymerisiert werden, die miteinander kristallisieren und Nanokristalle mit ganz neuen Polymereigenschaften liefern.

Da die Metallocen-Katalysatorkomponenten in Kohlenwasserstoffen löslich sind, können sie auf Oberflächen von Partikeln wie z. B. anorganischen Oxiden, Schichtsilikaten, Carbonaten, Metallen,

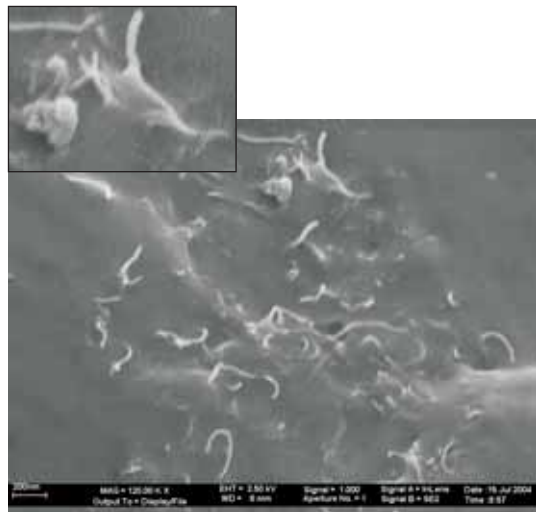


Abb. 1: Kohlenstoffnanoröhren, eingebettet in syndiotaktisches Polypropylen.

Stärke oder Fasern aufgezogen werden. Durch Polymerisation können diese Füllstoffe dann gleichmäßig in die Polymermatrix eingearbeitet werden.

Werden als Füllstoffe Nanopartikel oder Fasern verwendet, lassen sich neue Polyolefin-Nanokomposite herstellen. Zum Beispiel kann auf Silikatkugeln (50 - 250 nm) der Katalysator aufgezogen werden und dann die Dicke der Polymer-schicht bis herunter zu 20 nm durch die Polymerisationszeit und durch den Druck der Monomergase Ethen oder Propen eingestellt werden.



Abb. 2: Kohlenstoffnanofasern, einpolymerisiert in syndiotaktisches Polypropylen.

Es lassen sich hohe Füllgrade von mehr als 80 Gew.% erzielen, wobei sich als Matrix je nach Struktur der Metallocene sowohl isotaktische als auch syndiotaktische Polymere herstellen lassen. Die physikalischen und mechanischen Eigenschaften solcher Materialien sind noch weitgehend unbekannt. Dies gilt auch für mit Kohlenstoffnanofasern gefüllte Polymere. Erste Untersuchungen haben gezeigt, dass sich sowohl Kohlenstoffnanofasern als auch Kohlenstoffnanoröhren gut in eine Polypropylenmatrix durch in situ Polymerisation einarbeiten lassen. So mit Nanofasern gefüllte Polypropylene weisen höhere Zugfestigkeiten und größere Kristallisationsgeschwindigkeiten auf - Eigenschaften, die die Verarbeitung und Anwendung deutlich verbessern.

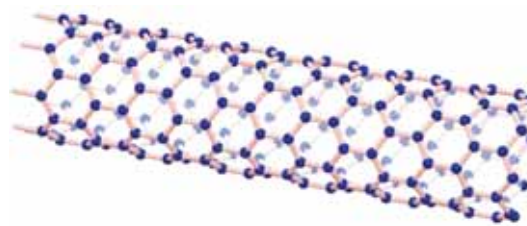


Abb. 3: Schematische Darstellung der Struktur einer Kohlenstoffnanoröhre. Die Kohlenstoffatome bilden eine wabenartige Struktur mit Sechsecken und jeweils drei Bindungspartnern. Röhren mit ideal hexagonaler Struktur haben in der Regel eine einheitliche Dicke und sind linear. Der Durchmesser der Röhren liegt zwischen 1-50 nm. Bisher wurden Längen bis zu 20 cm erreicht.

**Prof. Dr. Walter Kaminsky**  
**FG Katalyse**  
**Universität Hamburg**

### Kernkompetenzen:

- Katalytische Olefinpolymerisation
- Nanokomposite durch in situ Polymerisation
- Nanostrukturierte Polyolefine
- Polymeranalyse

**Kontakt:**  
 Prof. Dr. Walter Kaminsky  
 Universität Hamburg  
 Institut für Technische und  
 Makromolekulare Chemie  
 Bundesstr. 45  
 20146 Hamburg  
 Tel.: (040) 4 28 38 - 3162  
 kaminsky@chemie.uni-  
 hamburg.de  
 www.chemie.uni-  
 hamburg.de/tmc/kaminsky



**Prof. Dr.-Ing. Karl Schulte**

**FG Kunststoffe und Verbundwerkstoffe**

**Technische Universität Hamburg-Harburg**

24

#### Kernkompetenzen:

- Polymere Werkstoffe
- Verbundwerkstoffe
- Nanokomposite

#### Kontakt:

Prof. Dr.-Ing. Karl Schulte  
Technische Universität  
Hamburg-Harburg  
Arbeitsbereich Kunststoffe und  
Verbundwerkstoffe  
Denickestr. 15  
21073 Hamburg

Tel.: (040) 4 28 78 - 3138  
schulte@tuhh.de  
www.tuhh.de/kvweb

Die Nanotechnologie gibt auch der Werkstoff-technologie neue Impulse. Werden in Polymerwerkstoffen Partikel im Nanometerbereich eingelagert, so können Nanokomposite gezielt hergestellt werden, die mechanische und physikalische Eigenschaftsverbesserungen gegenüber den reinen Kunststoffen aufweisen und deren Potential entscheidend erweitern. An der Technischen Universität Hamburg-Harburg sind im Arbeitsbereich Kunststoffe und Verbundwerkstoffe solche neuen Werkstoffe Gegenstand aktueller Forschungsprojekte.

Nanokomposite sind Verbundwerkstoffe, bei denen Nanoteilchen in eine Matrix, dem Polymer, eingebettet sind. Anders als bei herkömmlichen Verbundwerkstoffen mit Faserverstärkung, deren Durchmesser im Mikrometerbereich liegt, sind diese Teilchen nicht nur 1000 mal kleiner, sondern es vergrößert sich die mit Kunststoff zu benetzende Oberfläche drastisch, von ca.  $0.3 \text{ m}^2$  auf über  $1000 \text{ m}^2$  pro Gramm. Dies erfordert besondere Maßnahmen um solche Nanokomposite herstellen zu können. Durch gezielte chemische Oberflächenmodifizierung lassen sich die Grenzflächeneigenschaften und damit die Dispergierbarkeit und Haftung einstellen. Der chemischen Oberflächenbehandlung kommt somit besondere Bedeutung zu, da dadurch die Eigenschaften auf eine Anwen-

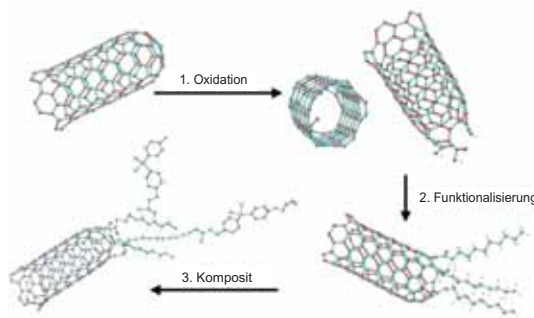


Abb. 1: Beispiel für eine Oberflächenmodifikation. Durch eine Oxidation werden Carboxylgruppen auf der Oberfläche gebildet (Schritt 1). Eine Reaktion mit einer Aminkomponente führt zu einer Funktionalisierung (Schritt 2). Die Epoxidharzmatrix wird über die Aminofunktionen an die Kohlenstoff-Nanoröhrchen angebinden (Schritt 3).

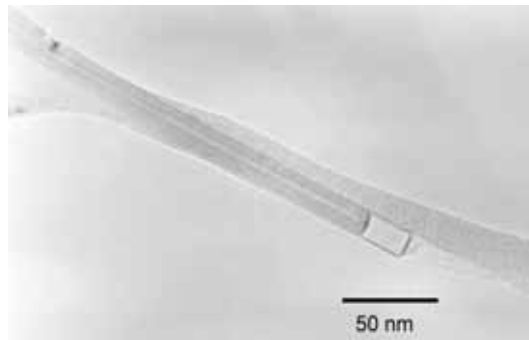


Abb. 2: Transmissionselektronenmikroskopische Aufnahme eines amino-funktionalisierten Kohlenstoff-Nanoröhrchens in einer Epoxidharzmatrix. Aufgrund der guten Haftung zwischen der äußeren Schale und dem Epoxidharz kommt es bei Belastung zu einem teleskopischen „pull-out“.

dung hin maßgeschneidert werden können.

In Abb. 1 ist die Struktur von Kohlenstoff-Nanoröhrchen und die Idee einer möglichen chemischen Oberflächenmodifizierung schematisch dargestellt. Kohlenstoff-Nanoröhrchen bestehen aus einzelnen oder mehreren ineinander geschobenen, konzentrischen Röhrchen, mit Durchmessern zwischen 1 bis 20 nm, aber Längen von ungefähr 50 bis 500 nm und länger. Abb. 2 zeigt, dass bei mechanischer Belastung und guter Haftung der Kohlenstoff-Nanoröhrchen an ein Epoxid die innenliegenden Röhrchen teleskopartig aus der äußeren Hülle gezogen werden.

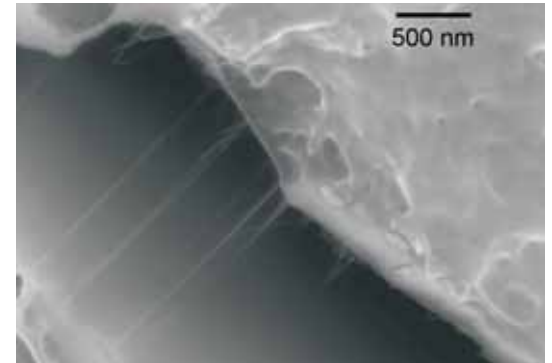


Abb. 3: Aufgrund ihres enormen Aspektverhältnisses sind Kohlenstoff-Nanoröhrchen in der Lage, Risse in der Matrix zu überbrücken.

Die verbesserte Haftung und die faserförmige Geometrie der Kohlenstoff-Nanoröhrchen ermöglicht es, feinste Risse im Kunststoff zu überbrücken, das Risswachstum zu verlangsamen und damit deren Bruchzähigkeit zu erhöhen. Abb. 3 zeigt in einer rasterelektronenmikroskopischen Aufnahme die einen Riss überbrückenden Kohlenstoff-Nanoröhrchen.

Polymere sind Isolatoren und laden sich elektrostatisch auf. In vielen Anwendungen muss diese elektrostatische Aufladung vermieden werden. Schon durch die Zugabe geringster Mengen von Kohlenstoff-Nanoröhrchen (erreicht wurde eine Perkolationsschwelle von 0.002 Volumenprozent) können elektrisch leitfähige Pfade im Polymer gebildet werden (Abb. 4).

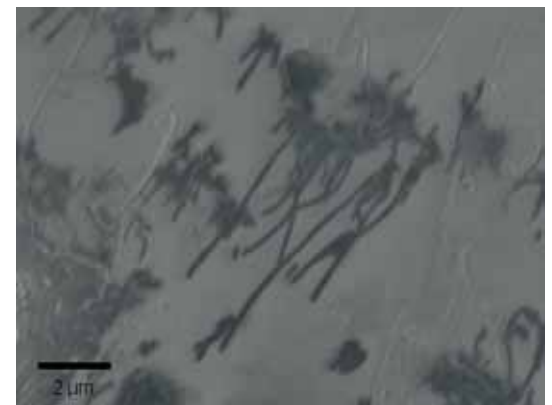


Abb. 4: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme eines Schnittdurchs eines Nanokomposits. Die Kohlenstoff-Nanoröhrchen bilden elektrisch leitfähige Pfade im Polymer.



Innovationen im Werkstoffbereich sind häufig die treibende Kraft für industrielle Produktentwicklungen. Nanokomposite von hanse chemie sind hierfür ein gutes Beispiel. Sie bewirken bisher unerreichte Verbesserungen der mechanischen und thermischen Eigenschaften eines Werkstoffes. Die Einsatzgebiete umfassen kratzfestе Beschichtungen, Hochleistungsklebstoffe, Faserverbundwerkstoffe, Rapid Prototyping und Elektro-/Elektronikvergussmassen. Diese Anwendungsbreite setzt einen flexiblen, effizienten Prozess voraus, der industrielle Mengen zu wettbewerbsfähigen Preisen ermöglicht. Die Firma hanse chemie stellt Nanokomposite bereits heute in großindustriellen Mengen her. Das Unternehmen wird seit 2002 im Rahmen eines Verbundforschungsprojektes mit der Robert Bosch GmbH vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert. Für ihre Leistungen im Bereich der chemischen Nanotechnologie wurde die hanse chemie mit dem Schmidt-Römhild Technologiepreis 2004 ausgezeichnet.

Nanokomposite sind Dispersionen aus kugelförmigen Siliziumdioxid-Nanopartikeln (10-35 nm) und verschiedenen Monomeren oder Prepolymere, die mittels eines modifizierten Sol-Gel-Prozesses aus Wasserglas hergestellt werden.

Siliziumdioxid - umgangssprachlich ist dies Sand - wird im Mikrometer-Maßstab bereits seit Jahrzehnten als verstärkender Füllstoff verwendet. In der Praxis hat der Einsatz dieses Füllstoffes seine Grenzen, da sich die Fließfähigkeit und somit die Verarbeitbarkeit des Materials mit zunehmendem Füllstoffgehalt verschlechtert. Des weiteren ist das Material trübe und der Füllstoff setzt sich ab.

Die Nanokomposite von hanse chemie lösen die genannten Probleme des Mikrofüllstoffes. Trotz sogar wesentlich höherer Füllstoffgehalte - man kann bis zu 50 Gewichtsprozent  $\text{SiO}_2$  zugeben - wird die Fließfähigkeit nicht beeinträchtigt. Trotz des hohen Füllstoffgehaltes ist die Formulierung transparent, so dass Nanokomposite nun auch für Anwendungen genutzt werden können, in denen bisher gar keine Füllstoffe einsetzbar waren (z. B. Klarlacke, Brillenbeschichtungen).

Mit Nanokompositen ergeben sich Geschäftspotenziale in verschiedensten Industrien, zum Beispiel Automobilbau, Elektrotechnik und Elektronik,



Abb. 3: Ein Viertel der Mitarbeiter von hanse chemie arbeitet in der Forschung und Entwicklung (© hanse chemie AG).

Luft- und Raumfahrt, Dental- und Medizintechnik, Sportgeräte und Windenergietechnik. Folgende zwei Beispiele aus der Automobilindustrie sollen das Potential der Nanokomposite verdeutlichen:

1. Das Bestreben der Automobilfirmen, bei der Fertigung der Rohkarosserie Schweißverbindungen durch Kleben zu ersetzen, wird durch die mechanischen Eigenschaften aktuell verfügbarer Klebstoffe begrenzt. Nanokomposite ermöglichen die Entwicklung einer neuen Generation von Strukturklebstoffen mit einer bislang unerreichbaren Kombination von mechanischer Festigkeit und Zähigkeit der Klebeverbindung, was insbesondere für das Crashverhalten der Karosseriekonstruktion von entscheidender Bedeutung ist.

2. Zur Gewichts- und damit Kraftstoffeinsparung versucht die Automobilindustrie zunehmend, Metallteile durch Kunststoffe zu ersetzen. Bei strukturell nicht belasteten Teilen (z. B. Stoßfänger) ist dies bereits weitestgehend Stand der Technik. Bei Strukturbauteilen der Rohkarosse oder auch bei großflächigen Verkleidungen ist dies jedoch bisher noch nicht der Fall. Hier werden aus Festigkeitsgründen überwiegend Faserverbundwerkstoffe verwendet, die jedoch häufig zu spröde sind und damit beim Crash zum unerwünschten Splitterbruch neigen. Mit Nanokompositen hat man aufgrund der bislang unerreicht geringen Teilchengröße und der völligen Abwesenheit von größeren Agglomeraten die Möglichkeit, modifizierte Harze für die Imprägnierung von Faserverbundwerkstoffen zu verwenden und hier sowohl die Härte und Festigkeit des fertigen Bauteils zu erhöhen als auch dessen Sprödigkeit zu verringern.

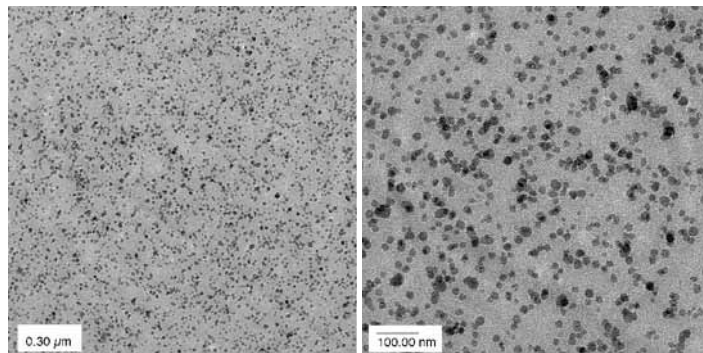


Abb. 1: Transmissionselektronenmikroskop-Aufnahmen einer gehärteten Probe Nano-pox<sup>®</sup> mit 5 %  $\text{SiO}_2$ -Nanopartikeln (© hanse chemie AG).



Abb. 2: Montageband einer Rohkarosse (© Volkswagen AG).



## hanse chemie AG

25

### Kernkompetenzen:

Modifizierung von Reaktionsharzen

Produktion von Nanomaterialien im industriellen Maßstab

Verfahrenstechnik

### Kontakt:

hanse chemie AG  
Charlottenburger Straße 9  
21502 Geesthacht

Tel.: (04152) 80 92 0  
Fax: (04152) 79 15 6  
info@hanse-chemie.com  
www.hanse-chemie.com



**ORMECON GmbH**

26

**Kernkompetenzen:**

Synthese

Dispersion

Elektrochemie

Nanoskopische Schichten

Funktionale Beschichtungen

**Kontakt:**

Dr. Bernhard Wessling  
CEO / Forschungsleiter  
Ormecon GmbH  
Ferdinand-Harten-Str. 7  
22949 Ammersbek

Tel.: (040) 60 41 06 18  
wessling@ormecon.de  
www.ormecon.de

Am Anfang stand ein Stoff, der als unlöslich und unschmelzbar galt: für die grundlegende Erforschung des Polyanilins erhielten Alan MacDiarmid und Alan Heeger im Jahre 2000 den Nobelpreis für Chemie. Seit bereits 25 Jahren forscht Dr. Bernhard Wessling mit seinem Team an nanoskopischen, organischen, leitfähigen Stoffen mit dem Erfolg, dass beispielsweise das als so problematisch geltende Polyanilin inzwischen verarbeitbar ist, erstaunliche Eigenschaften zeigt und erfolgreich in der Nanotechnologie eingesetzt wird.

Ormecon's Kernkompetenz besteht darin, die Synthese des organischen Nanometalls so zu steuern, dass die Nanopartikel gleichmäßig groß (klein) werden, möglichst hoch leitfähig sind und dispergiert werden können. Eine vielfältige Dispersionstechnologie wurde aufgebaut, mit der wässrige und organische Dispersionen, mit und ohne Bindemittel, in flüssiger, pastöser oder fester Form, als Ultradünnschicht-erzeugende Dispersion, als Lack oder als Druckpaste dem Anwender zur Verfügung gestellt werden können. Dies alles basiert auf einer inzwischen weit über 20 Jahre im Unternehmen praktizierten Grundlagenforschung, die immer den Blick auf mögliche Anwendungen hatte.

Die bisher realisierten Anwendungen des organischen Metalls basieren darauf, dass es sowohl in Form feinsten Teilchen erzeugt und in Dispersion gebracht werden kann (10 Nanometer Primärteilchengröße) als auch katalytische Fähigkeiten hat und zugleich eine akzeptable Leitfähigkeit aufweist. Die größte Anwendung konnte bisher im Leiterplattenmarkt erreicht werden; eine neuartige lötfähige Endoberfläche wurde durch Ormecon entwickelt. Hier bewirkt das Organische Nanometall einen passivierenden Schutz der Kupferflächen und eine exakte Abscheidung von Zinn auf dem Kupfer.

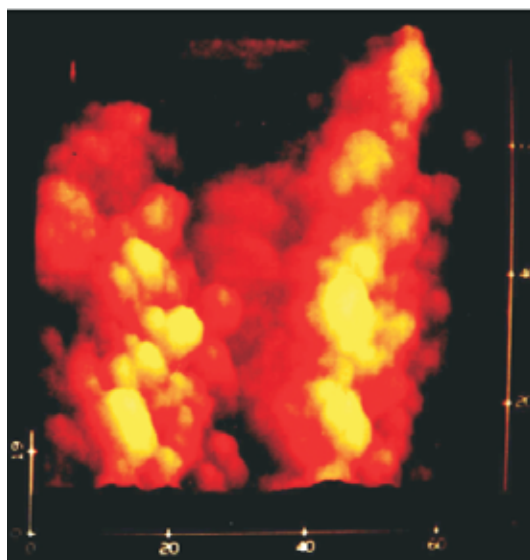


Abb. 1: Primärteilchen mit einem Durchmesser von ca. 10 nm.

Weitere Anwendungen konnten im Korrosionsschutz und in der Elektrolumineszenz erschlossen werden. Im Korrosionsschutz kommt neben der nanoskopischen Partikelgröße der Edelmetallcharakter zur Geltung und ebenso die Katalysatoreigenschaft. In der Elektrolumineszenz ermöglicht die Dispersionstechnologie die Formulierung von Siebdruckpasten, mit denen komplexe großflächige Displays oder Hintergrundbeleuchtungen hergestellt werden können.

In bereits fortgeschrittenem Entwicklungsstadium sind derzeit u.a. Technologien, mit denen extrem leistungsfähige Kondensatoren (sog. „supercapacitors“, die gegenüber dem Stand der Technik die 10fache Speicherdichte und die 10fache Leistung bieten werden), organische Leuchtdioden oder polymerelektronische Bauteile möglich werden.

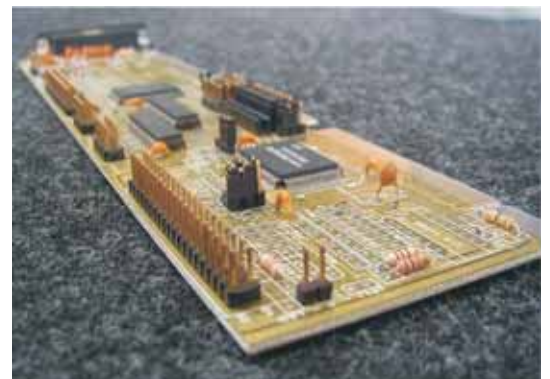


Abb. 2: Leiterplatte, welche mit einer auf organischen Metallen basierenden Beschichtung versehen ist und in einem Tauchprozess verzinkt wurde.



Abb. 3: Elektrolumineszenz-Display im Einsatz bei der AVIS-Autovermietung.



Nanotechnologische Innovation bedeutet einen enormen Fortschritt für die Qualität chemischer Werkstoffe. Waren Pigmenthersteller bisher immer darauf angewiesen, Farbstoffe mit aufwändigen Mahlverfahren gleichmäßig zu dispergieren, lassen sich heute Nanopartikel wie Instant-Kaffee einrühren. War es bisher nicht möglich, anorganische Fluoreszenzfarben in der Biotechnologie oder als Sicherheitsmarkierung im Produktschutz zu verwenden, liefert die Nanotechnologie heute Partikel mit unvergleichlicher Farbechtheit und Stabilität für diese Anwendungen.

Die Nanosolutions GmbH produziert Nanopigmente für Anwendungen in Ink-Jet-Druckern und Füllertinten. Zusätzlich bietet das Unternehmen Beratung und Auftragsherstellung für seine Kunden an.

Neueste Schätzungen der WTO gehen davon aus, dass der Anteil von gefälschten Waren am Weltmarkt ca. 13% beträgt und stetig wächst. Gefälschte Dokumente und Waren stellen eine immer größer werdende Herausforderung an Staaten, Behörden und das produzierende Gewerbe dar.

Nanosolutions produziert und entwickelt auf der Basis von Nanotechnologie Sicherheitspigmente für Ink-Jet-Anwendungen für den Produkt- und



Abb. 1: Nano-Pigmente in der Anwendung beim Produkt- und Markenschutz. Unter Tageslicht sind die Pigmente farblos. Bei Beleuchtung mit UV-Licht fluoreszieren die Nano-Pigmente. Das Druckbild wird dabei erkennbar.



Abb. 2: Ein Highlight der Nanotechnologie - Schreiben mit flüssigem Gold!

Markenschutz. Die Sicherheitspigmente werden als 5-10 nm kleine Partikel hergestellt und bestehen aus einem mit Selten Erden dotierten, variablen Kristallgitter. Durch ihre Dotierung erhalten die Nanopartikel verschiedene Eigenschaften: die fluoreszierenden Pigmente eignen sich somit vor allem für den Produkt- und Markenschutz sowie für die medizinische Diagnostik. Unter Tageslicht sind diese Pigmente farblos. Sie fluoreszieren erst unter Beleuchtung mit UV-Licht. Bei der Anwendung beim Produkt- und Markenschutz wird das Druckbild dabei erkennbar. Die Sicherheitstinten der Firma Nanosolutions lassen sich einfach mit Tintenstrahldruckern applizieren. Sie sind farbecht und lassen sich im Gegensatz zu konventionellen Markierungsformen nicht mit Mikropartikeln nachahmen. Gemeinsam mit Partnerunternehmen bietet Nanosolutions ein Sicherheitssystem mit den

entsprechenden Druckern und Lesegeräten an.

Nanosolutions ist es zudem gelungen, Gold-Nanopartikel in eine wasserbasierte Füllertinte zu dispergieren. Dabei verbindet das Produkt SIGN IT® GOLD in einzigartiger Weise Eleganz, Luxus und Funktion mit Nanotechnologie. Auf Papier geschrieben

trocknet SIGN IT® Gold zu einem Film aus 24 Karat Blattgold und verleiht Ihren Worten einen Hauch von Ewigkeit. Unter dem Motto „You never get a second chance to make a first impression...“ brachte Nanosolutions dieses exklusive Produkt zur Marktreife und bietet SIGN IT® GOLD seit Mitte des Jahres 2004 an. Schreiben mit flüssigem Gold - ein alter Traum der Menschheit geht dank Nanotechnologie in Erfüllung!

Die von Nanosolutions etablierten Herstellungsverfahren für Nanopartikel bilden einen neuen Ansatz in der Materialentwicklung. Dabei bestimmen drei Faktoren wesentlich den kommerziellen Erfolg von Nanomaterialien: Die Synthese der Nanopartikel, ihre Dispersion und das Up-Scaling in den industriellen Maßstab.



## Nanosolutions GmbH



### Kernkompetenzen:

- Nanopigmente für Ink-Jet-Anwendungen
- Produktbewertung
- Beratung

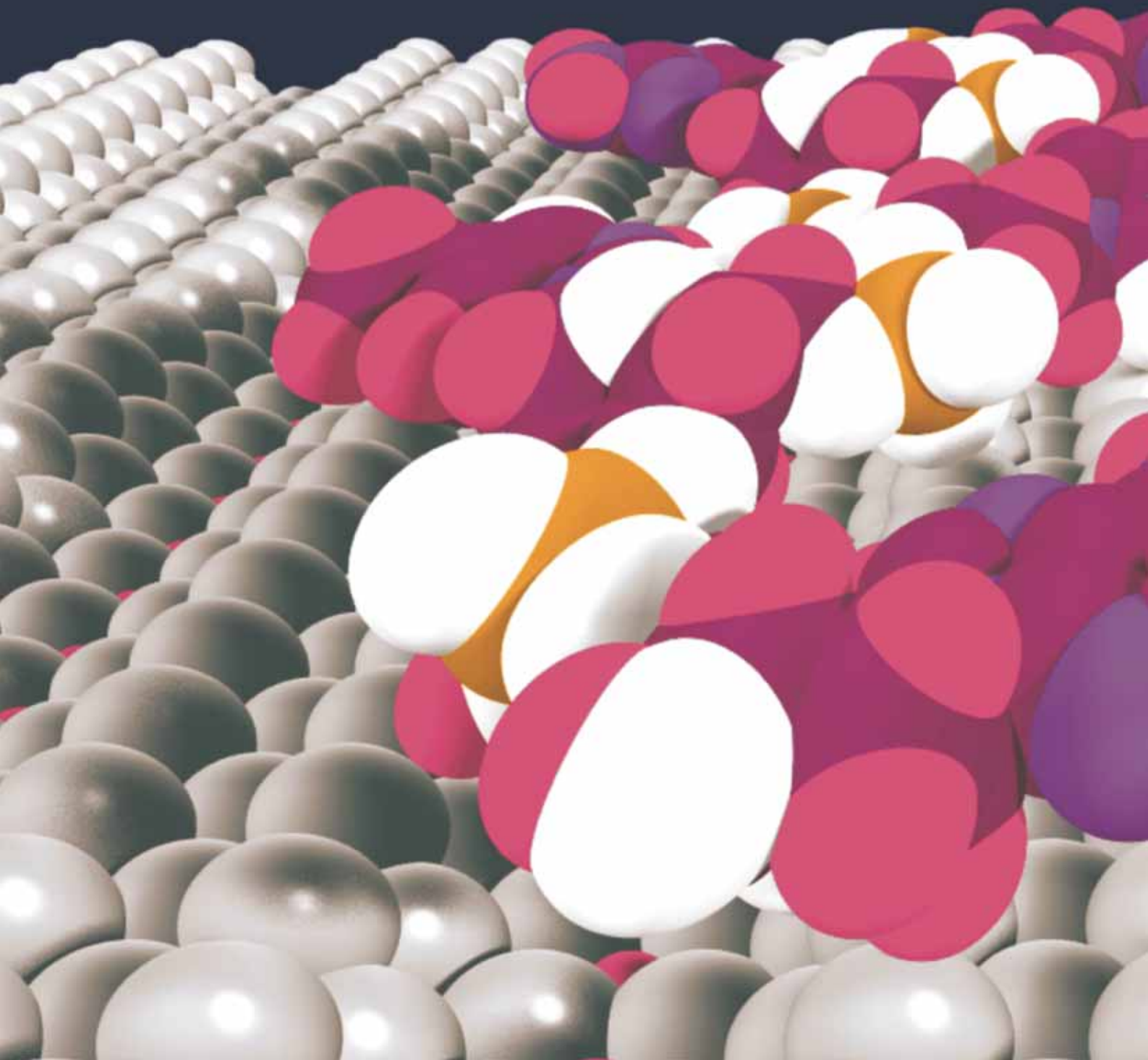
### Kontakt:

Dr. Stephan Haubold  
Geschäftsführung  
Nanosolutions GmbH  
Schnackenburgallee 149  
22525 Hamburg

Tel.: (040) 54 88 01 - 0  
info@nano-solutions.de  
www.nano-solutions.de



# Biotechnologie Medizintechnik





Max-Planck-Arbeitsgruppen für  
Strukturelle Molekularbiologie

Die Kenntnis der Struktur von Biomolekülen ist wesentliche Voraussetzung für das Verständnis von biologischen Prozessen auf molekularer und zellulärer Ebene, sowie für Anwendungen in Biotechnologie, Medizin und Pharmazie. Die beim Deutschen Elektronensynchrotron (DESY) vorhandene Synchrotronstrahlung erlaubt es wegen ihrer hohen Intensität und variablen Wellenlänge, Röntgenstrukturanalysen von Biomolekülen schnell, schonend und mit hoher Auflösung durchzuführen. Nur so gelingt es, den steigenden Bedarf an Strukturanalysen zu befriedigen und die Methoden einem internationalen Kreis von Nutzern zur Verfügung zu stellen. Dazu werden Techniken der Strahlführung, Probenbehandlung, Datenerfassung und -verarbeitung entwickelt.

Neben der biologischen Strukturformforschung mit Hilfe der Synchrotronstrahlung werden komplementär dazu verschiedene biophysikalische, zellbiologische und molekularbiologische Methoden eingesetzt. Ein Schwerpunkt ist die Untersuchung von Motorproteinen und von Biopolymeren des Zytoskeletts (Mikrotubuli), die für Bewegung, Sta-

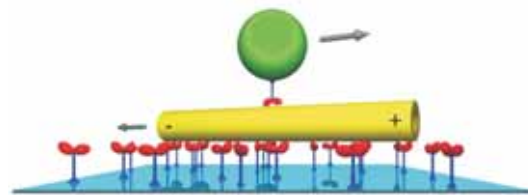


Abb. 1: Messung von Bewegungen im Nanoskalen-Bereich. Motorproteine werden an Oberflächen gebunden und sind dann imstande, Mikrotubuli über die Oberfläche zu transportieren. Umgekehrt können Mikrotubuli als Gleise den Transport von Motorproteinen und ihren Lasten (z. B. Zellkomponenten) unterstützen.

bilität, Teilung und andere Eigenschaften von Zellen verantwortlich sind. Motorproteine sind für nanotechnologische Anwendungen von grundlegendem Interesse, weil sie imstande sind, chemische Energie (in Form von energiereichen Molekülen) in mechanische Energie (in Form von Bewe-

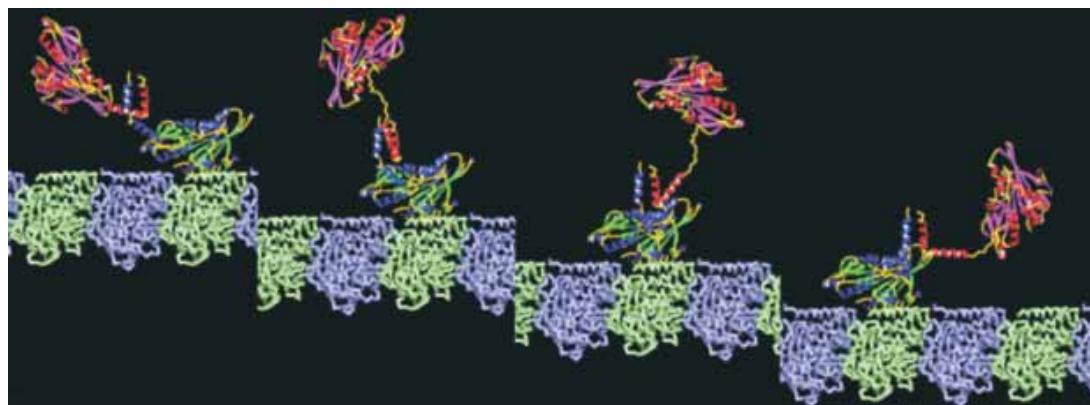


Abb. 2: Darstellung eines Motorproteins in verschiedenen Stellungen während des "Kraftzyklus". Die zwei "Köpfe" eines molekularen Motors bewegen sich auf einer Schiene von Mikrotubuli voran, indem sie ihre Struktur durch Verbrauch eines chemischen Treibstoffs (ATP) periodisch verändern. Die Struktur des Motorproteins wurde durch Röntgenkristallographie mit Synchrotronstrahlung aufgeklärt.

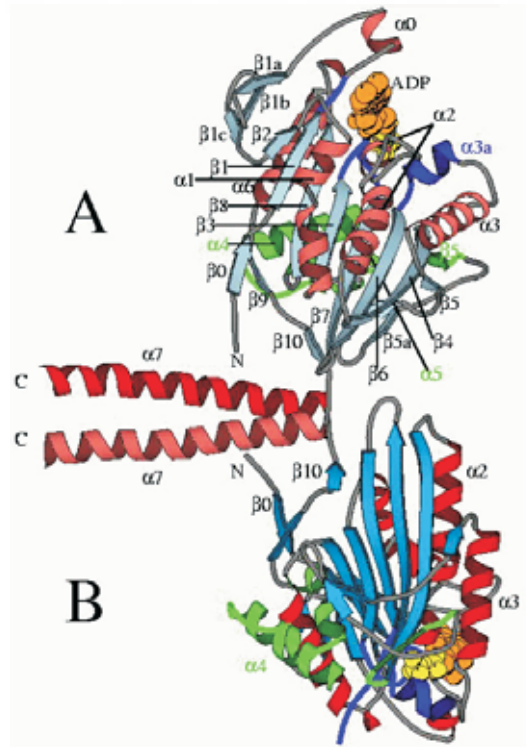


Abb. 3: Strukturmodell des Motorproteins Kinesin. Es zeigt einen doppelköpfigen Protein-Komplex, bei dem die beiden Köpfe die Funktion der "Motoren" übernehmen. Sie sind durch eine "Deichsel" miteinander verbunden (doppelte alpha-Helix, rot).

gung) umzuwandeln. So können molekulare Motoren dazu dienen, die Energie des Energieträger-Moleküles ATP in den Transport von Zellkomponenten entlang von Nervenzellen umzusetzen. Diese Eigenschaften können im Prinzip dazu dienen, Bewegungen oder Schalter im Nano-Maßstab zu verwirklichen. Andererseits dient die Kenntnis der Wechselwirkung zwischen Motoren und ihren Gleisen dazu, physiologische Prozesse aufzuklären, oder ihre pathologischen Entartungen zu bekämpfen. Beispiele sind der Einsatz von Hemmstoffen von Motoren bei der Bekämpfung der unkontrollierten Zellteilung (Krebs), oder die Mobilisierung von Transportprozessen bei neurodegenerativen Erkrankungen (Alzheimer).

**Prof. Dr.  
Eckhard Mandelkow**

**FG Zytoskelett**

**Max-Planck-Arbeitsgruppen für  
Strukturelle Molekularbiologie**

29

**Kernkompetenzen:**

Biologische Strukturformforschung  
mit Synchrotronstrahlung

Elektronenmikroskopie und  
Bildverarbeitung

Biophysikalische Methoden

Zellbiologie und Molekular-  
biologie

**Kontakt:**

Prof. Dr. Eckhard Mandelkow  
Max-Planck-Arbeitsgruppen für  
Strukturelle Molekularbiologie  
Notkestr. 85  
22607 Hamburg

Tel.: (040) 89 98 - 28 10  
mandelkow@mpasmb.desy.de  
www.mpasmb-hamburg.mpg.de





Universitätsklinikum  
Hamburg-Eppendorf

**Prof. Dr.  
Christoph Wagener**

**FG Molekulare Tumordiagnostik**

**Institut für Klinische Chemie**

**Zentrum für Klinisch-  
Theoretische Medizin**

**Universitätsklinikum  
Hamburg-Eppendorf**

30

## Kernkompetenzen:

Zell- und Molekularbiologie

In-vivo-Angiogenese-Modelle

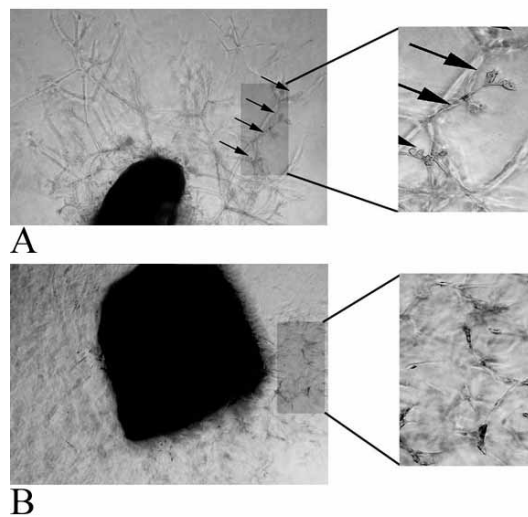
mRNA-Expressionsanalyse

Im Institut für Klinische Chemie wird die Bedeutung von Zelladhäsionsmolekülen für das Wachstum neuer Blutgefäße untersucht. In Entzündungsherde und Tumoren wachsen neue Blutgefäße ein. Die Ausbildung neuer Blutgefäße, die nach Reifung des Gefäßsystems erfolgt, wird als Angiogenese bezeichnet. In neu gebildeten Blutgefäßen werden auf der Oberfläche der Gefäßzellen (Endothelzellen) Erkennungsmoleküle gebildet, die die Interaktion der Gefäßzellen untereinander vermitteln und die Struktur der neuen Gefäße mitbestimmen. Die Zelladhäsionsmoleküle in neu gebildeten Blutgefäßen können für Therapie und Diagnostik genutzt werden.

Wenn es gelingt, die Funktion der Adhäsionsmoleküle zu hemmen, kann auch das Wachstum von Tumoren und die Ausbreitung von Entzündungsherden unterdrückt werden.

Wenn die Adhäsionsmoleküle vom Blutstrom aus zugänglich sind, können sie als Andockstellen für Nanopartikel dienen. Wenn die Nanopartikel entsprechend markiert sind, lassen sie sich mit bildgebenden Verfahren, z. B. mittels hochauflösender NMR-Tomographie, nachweisen. Mit Hilfe von Nanopartikeln, in deren Oberfläche Liganden für spezifische Bestandteile neu gebildeter Blutgefäße eingebaut sind, können auch Medikamente in Tumoren und Entzündungsherde geschleust werden. Moleküle der Blutgefäße, an die Nanopartikel andocken, werden auch als „Adressine“ bezeichnet.

Im Institut für Klinische Chemie wurde erstmals gezeigt, dass ein als CEACAM1 bezeichnetes



Die Abbildung zeigt einen „Aortic Ring Assay“, in dem Explantate von Mauseaorten in eine extrazelluläre Matrix (Matrigel) eingebettet wurden. Die Aorten wurden aus Ceacam1-defizienten Mäusen (Abb. A) sowie Ceacam1-positiven Tieren entnommen (Abb. B). Beim Auswachsen neuer endothelialer Kapillaren aus den Aortenringen zeigt sich, dass das neu entstandene endotheliale Netzwerk in Ceacam1-defizienten Mäusen weitaus weniger komplex ist (Abb. A) als das der Ceacam1-positiven Explantate (Abb. B). Dieses Experiment belegt die Bedeutung von Ceacam1 für die Angiogenese.

Zelladhäsionsmolekül das Wachstum neuer Gefäße steuert. In ausgereiften Blutgefäßen ist das Molekül nicht nachweisbar. Mit Antikörpern, die spezifisch an humanes CEACAM1 binden, konnte in Zellkulturexperimenten die Entstehung von gefäßähnlichen Strukturen gehemmt werden. Da CEACAM1 auch an der an den Blutstrom angrenzenden Seite der Endothelzellen vorkommt, kann das Molekül theoretisch auch als Adressin für Nanopartikel genutzt werden.

Im Institut für Klinische Chemie werden in Kooperation mit anderen Arbeitsgruppen der Universität Hamburg und des UKE auf dem Gebiet der Nanobiomedizin zwei Projekte verfolgt:

- ▶ In Kooperation mit Dr. Thimm aus der Arbeitsgruppe von Prof. Thiem, Institut für Organische Chemie, und der Arbeitsgruppe von Prof. Weller, Institut für Physikalische Chemie, wird mittels AFM (atomic force microscopy) untersucht, wie sich CEACAM1 in künstlichen Membranen unter physiologischen Bedingungen anordnet und wie es mit anderen Zelladhäsionsmolekülen und Rezeptoren der Zellmembran interagiert. Diese Untersuchungen tragen zum einen dazu bei, die Funktion von CEACAM1 auf molekularer Ebene zu verstehen. Zum anderen können in diesem Modell Substanzen getestet werden, die potenzielle Interaktionen mit anderen Biomolekülen und damit möglicherweise auch die Angiogenese hemmen.
- ▶ In einem zweiten Projekt soll die Eignung von CEACAM1 als Adressin für Nanopartikel untersucht werden. Die Nanopartikel werden in den Arbeitsgruppen von Prof. Weller und von Prof. Förster, Institut für Physikalische Chemie, hergestellt. Ziel des Projekts ist es, Nanopartikel für die molekulare Bildgebung, speziell die Darstellung von Tumoren durch NMR-Tomographie, zu verwenden. Die Untersuchungen werden in Kooperation mit Prof. Adam und Prof. Nolte-Ernsting aus der Klinik für Diagnostische und Interventionelle Radiologie des UKE durchgeführt. Frau Dr. Horst aus dem Institut für Klinische Chemie hat in Kooperation mit Prof. Beauchemin, McGill University, Montreal, ein transgenes Mausmodell generiert, in dem Ceacam1 unter der Kontrolle eines geeigneten Promotors spezifisch in neu gebildeten Blutgefäßen exprimiert wird. Im Vergleich zu Wildtyp-Kontrollen wird ein verstärktes Wachstum von Blutgefäßen beobachtet, das sich durch einen monoklonalen Ceacam1-Antikörper hemmen lässt. In diesem Modell soll untersucht werden, ob Ceacam1 als Adressin für Nanopartikel geeignet ist. Da uns auch ein spezifischer monoklonaler Antikörper gegen humanes CEACAM1 zur Verfügung steht, könnte die Eignung von CEACAM1 als Adressin für Nanopartikel im weiteren Verlauf auch in klinischen Untersuchungen getestet werden. Unter Anwendung der DNA-Array-Facility des Instituts für Klinische Chemie sollen in Kooperation mit Dr. Streichert weitere potenzielle Adressine identifiziert werden.

## Kontakt:

Prof. Dr. Christoph Wagener  
Universitätsklinikum  
Hamburg-Eppendorf  
Institut für Klinische Chemie  
Martinistr. 52  
20251 Hamburg

Tel.: (040) 42803-2981  
wagener@uke.uni-hamburg.de



In der diagnostischen Radiologie liefert die Nanotechnologie entscheidende Innovationen zur Entwicklung von hochsensitiven und spezifischen Kontrastmitteln für die Magnetresonanztomographie (MRT). Das Ziel ist die exakte Diagnostik von Krebserkrankungen, aber auch von Gefäß- und Stoffwechselkrankheiten mit der MRT, die detaillierte Schnittbilder des Körpers ohne Röntgenstrahlen erstellt. Besonders wichtig ist auch die MR-tomographische in-vivo Beurteilung von modernen Therapieformen, wie etwa die Stammzelltherapie. Ein großes Potenzial besitzen superparamagnetische eisenoxidhaltige Nanopartikel, die aus einem Magnetitkristall und einer Ummantelung synthetisiert werden (Abb. 1). Hier existieren mannigfaltige Variationsmöglichkeiten in der chemischen Struktur von Eisenoxid-Nanopartikeln, die in Zukunft eine große Diversifizierung für hoch spezialisierte diagnostische Anwendungen in der MRT eröffnen werden.

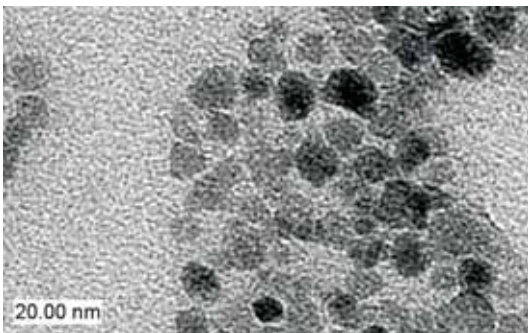
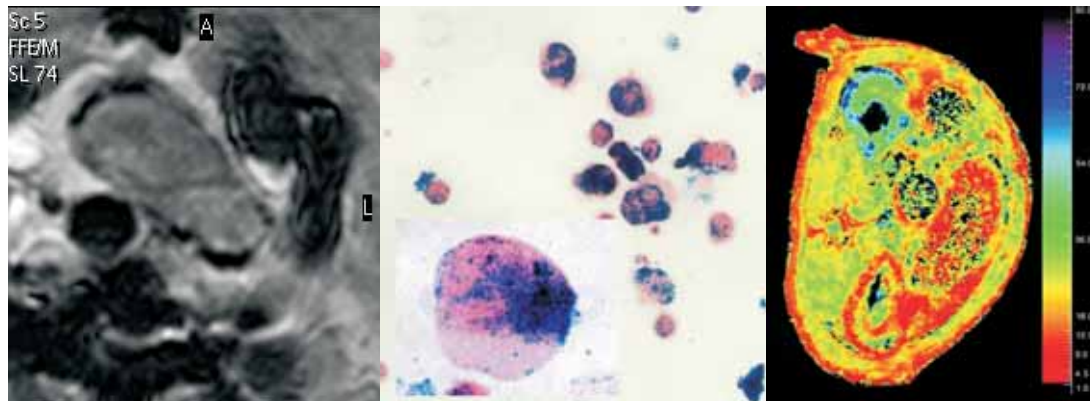


Abb. 1: Transmissionselektronenmikroskopische Aufnahme von zitratumhüllten Eisenoxid-Nanopartikeln.

Die Forschungsgruppe Molekulare Bildgebung entwickelt neue MR-tomographische Untersuchungsmethoden zur Visualisierung krankhafter Prozesse auf zellulärer und molekularer Ebene. Für diese Zwecke müssen MR-tomographische Kontrastmittel synthetisiert und evaluiert werden, die eine sehr hohe Spezifität für Zielerkrankungen, wie bestimmte Tumoren, Entzündungen oder Stoffwechselstörungen, aufweisen. Die Grundlage für derartige hochspezifische MR-Kontrastmittel bilden superparamagnetische Eisenoxid-Nanopartikel.



**Links:** Abb 2: MR- tomographische Darstellung von vulnerablen, entzündlichen arteriosklerotischen Plaques mittels Eisenoxid-Nanopartikeln durch Phagozytose in plaque-assoziierten Makrophagen. Die Akkumulation der Nanopartikel verursacht fokale Signalauslöschungen (schwarze Punkte und Linien) in der arteriosklerotischen Wand der Aorta (Bildmitte). **Mitte:** Abb. 3: Zytologisches Bild von mesenchymalen Stammzellen, die mit Eisenoxid-Nanopartikel markiert sind. Die intrazellulär in Endosomen gespeicherten Nanopartikel sind durch eine Perl-Färbung blau dargestellt. Ausschnittsvergrößerung einer einzelnen Stammzelle im linken unteren Bildrand. **Rechts:** Abb. 4: MR-Relaxometrie der mittels Eisenoxid-Nanopartikeln markierten Stammzellen nach Injektion in die linke Niere. In der T2\*-Map zeigt die nicht behandelte rechte Niere relativ lange T2\*-Zeiten (blau und grün), während die linke Niere nach Verabreichung von Stammzellen mit Eisenoxid-Nanopartikel eine deutliche T2\*-Abnahme aufweist (rot und gelb).

Ein Schwerpunkt der Forschungsgruppe liegt auf der Bildgebung arteriosklerotischer Gefäßwandschäden (Plaque-Imaging). Die mit der Entstehung der Arteriosklerose assoziierten Entzündungsprozesse können mit eisenoxidhaltigen Nanopartikeln direkt MR-tomographisch dargestellt werden (Abb. 2). Die Methode dient vor allem der frühen Identifikation von vulnerablen Plaques, die ein hohes Risiko für die Entstehung von akuten Organinfarkten darstellen. Für den gezielten Einsatz in der molekularen Tumorbildgebung müssen Kontrastmittel chemisch modifiziert werden, damit sie als Ligand möglichst nur vom Tumorzielgewebe gebunden werden. Auch hier bieten Eisenoxid-Nanopartikel das größte Potenzial, z. B. durch Kopplung an Antikörper und andere spezifische Molekülsubstrate. Die Forschungsgruppe untersucht die Möglichkeiten der chemischen Spezifizierung von Eisenoxid-Nanopartikeln für die MR-tomographische Metastasendiagnostik und die Darstellung der minimalen residuellen Tumorlast nach chirurgischer Resektion.

Eine weitere zentrale Aktivität der Forschungsgruppe Molekulare Bildgebung befasst sich mit der intrazellulären Markierung von adulten Stammzellen mit Eisenoxid-Nanopartikeln für ein MR-tomographisches in-vivo Monitoring von Stammzelltherapien (Stammzell-Tracking). Nanopartikel-markierte Stammzellen sollen als „lebendes Kontrastmittel“ zur Beurteilung der Effizienz einer Stammzelltherapie fungieren (Abb. 3). Mittels MR Relaxometrie wird die in-vivo Verteilung und Verweildauer der markierten Stammzellen bei diversen Organschäden quantitativ erforscht, z. B. bei der Stammzelltherapie des Herzens, des Gehirns, der Leber und der Nieren (Abb. 4).

Die Forschungsgruppe Molekulare Bildgebung verfügt über einen 3 Tesla MR-Tomographen mit dedizierten Spulensystemen für experimentelle in-vitro und in-vivo Untersuchungen. Der MR-Tomograph ist mit den modernsten Untersuchungssequenzen ausgestattet. Die quantitative Datenanalyse erfolgt mit spezialisierten Software-Tools, z. B. für die MR Relaxometrie.

Auf dem Gebiet der molekularen Bildgebung mit Eisenoxid-Nanopartikeln bestehen bereits Forschungsk Kooperationen mit industriellen Partnern wie Philips Medizinsysteme und Schering.



Universitätsklinikum  
Hamburg-Eppendorf

**Prof. Dr. Gerhard Adam**  
**FG Molekulare Bildgebung**  
**Universität Hamburg**

31

### Kernkompetenzen:

Eisenoxid-Nanopartikel  
Magnetresonanztomographie  
Molekulare Bildgebung  
Plaque-Imaging  
Stammzell-Tracking

### Kontakt:

Prof. Dr. Gerhard Adam  
Universitätsklinikum  
Hamburg-Eppendorf  
Radiologisches Zentrum  
Martinistr. 52  
20246 Hamburg

Tel.: (040) 4 28 03 - 40 29  
g.adam@uke.uni-hamburg.de  
www.uke.uni-hamburg.de/  
kliniken/radiologie/diagnostik/.

#### Kernkompetenzen:

- Nuklearmedizin
- Magnetresonanz-Abbildung
- Stammzellen-Labeling
- Thermoablation
- Optische (Quanten-) Punkte
- Ultraschall

#### Kontakt:

Dr. Ing. Michael H. Kuhn  
Vice President  
Technology Strategy  
Philips Medical Systems  
P. O. Box 63 05 65  
Roentgenstrasse 24-26  
22315 Hamburg

Tel.: (040) 50 78 - 2030  
michael.kuhn@philips.com  
www.medical.philips.com/de/

Philips nutzt die Nanotechnologie nicht nur in der Entwicklung von immer kleineren Halbleiterstrukturen, sondern auch bei der Lichterzeugung und in der Medizintechnik, insbesondere bei der diagnostischen Bildgebung. Hier geht es um Nanopartikel, die sich nach der Injektion an krankheitsspezifische Moleküle im Körper binden und gleichzeitig einen Kontrast in der Bildgebung erzeugen. Auf diese Weise kann der Ort der spezifischen Krankheit aufgrund des besonderen Signals von den dort gebundenen Nanopartikeln im diagnostischen Bild klar erkannt werden. Dies ist das Prinzip der ‚Molekularen Bildgebung‘.

Wir stehen am Anfang einer neuen Ära in der Medizin, der sogenannten ‚Nanomedizin‘. Unter diesem Begriff werden die Anwendungen der Nanotechnologie in der Medizintechnik zusammengefasst. Hier kommen zwei treibende Kräfte zusammen: einerseits die Möglichkeiten, Moleküle in nanoskalaren Dimensionen ingenieurmäßig zu designen und mit geeigneten Prozessen herzustellen und andererseits das Wissen über die molekularen/zellulären Prozesse, die sich bei der Entstehung und Ausbreitung von Krankheiten abspielen. Dies ständig wachsende Wissen basiert auf der gelungenen Dekodierung des menschlichen Genoms und dem Wissen darüber, welche Gene bei der ‚Expression‘ der krankheitsspezifischen Proteine eine Rolle spielen.

Die ersten Ansätze zur molekularen Bildgebung finden sich in der Nuklearmedizin. Hier wird schon seit vielen Jahren Glukose mit radioaktiven Substanzen ‚markiert‘ und als Kontrastmittel in der Tumordiagnostik eingesetzt. In den Bildern sind die Tumoren sehr deutlich zu erkennen, weil von dort ein starkes Signal kommt aufgrund des hohen Glukose-Umsatzes, der für das Tumorwachstum erforderlich ist.

In der *Magnetresonanz-(MR-)Bildgebung* werden Nanopartikel in Form von paramagnetischen Eisenoxid-Teilchen eingesetzt. Solche Teilchen sind seit geraumer Zeit Bestandteil regulärer, für den klinischen Einsatz zugelassener MR-Kontrastmittel. Dabei reichern sie sich in verschiedenen Organen an und erzeugen dort einen Bildkontrast durch einen lokalen Einfluss auf die sogenannte T2-Relaxationszeit. Im nächsten Schritt gilt es, diese Teilchen in Moleküle einzubauen, die sich gezielt an bestimmte Proteine oder Zellen binden. Erste (tierexperimentelle) Erfolge gibt es in der Verfolgung von Stammzellen, die - wenn sie erst einmal außerhalb des Körpers mit Eisenoxid-Nanopartikeln ‚markiert‘ worden sind - mittels der MR-Bildgebung verfolgt werden können, wie sie durch den Körper wandern, um etwa zur Reparatur eines erkrankten Herzmuskels dort ‚eingebaut‘ zu werden. Die Verfolgung markierter Stammzellen ist auch eines der Themen im MOIN-Projekt (MOlecular Imaging North), das Philips gemeinsam mit dem Universitätskrankenhaus Eppendorf durchführt. Philips-Forscher konnten dafür die Bildgebung so weit verbessern, dass quantitative Aussagen über die lokale Konzentration der Teilchen im Körper möglich geworden sind.

Eisenoxid-Nanopartikel werden auch im Rahmen völlig neuartiger Bildgebungsmethoden benötigt, die bisher nur bei Philips erforscht werden. Weiterhin können sie eine Rolle in der Krebstherapie spielen: wenn es gelingt, sie in hoher Konzentration an Tumorzellen zu binden oder nur

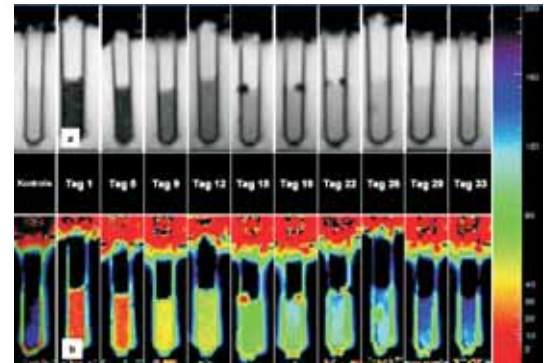


Abb. 1: Konventionelle MR-Bildgebung von markierten Stammstellen in Probenröhrchen (a) im Vergleich mit neuartiger quantitativer MR-Bildgebung (b).

lokal anzuregen, können sie von außen durch magnetische Wechselfelder so stark erwärmt werden, dass die Tumoren zerstört werden.

In der *optischen molekularen Bildgebung* werden Moleküle eingesetzt, die Licht bei einer vorgegebenen Wellenlänge aussenden, sobald sie das gewünschte Zielmolekül erreicht haben. Als nanotechnologische Grundlage dienen hier die sog. ‚Quanten-Dots‘, kristalline Nanopartikel, bei denen die emittierte Lichtwellenlänge kontinuierlich über ihre Größe einstellbar ist. Durch diese Eigenschaft können sogar verschiedene Ziel-Moleküle gleichzeitig bildgebend dargestellt werden, wenn ihnen je eine spezifische Emissionswellenlänge zugeordnet wird.

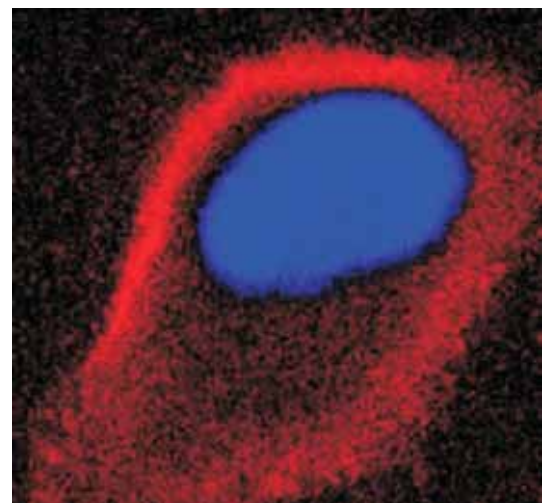


Abb. 2: In-vitro Messung von Antikörper-Fragmenten, die spezifisch an eine Krebszelle binden. Die Antikörper sind mit Quantendots markiert und werden mit Hilfe optischer Anregung sichtbar.

Bei der Herstellung dieser Partikel und ihrer Ankopplung an Zielmoleküle arbeitet Philips u.a. mit der Universität Hamburg (Prof. Weller), der Firma Evotec und der ‚Start-up‘-Firma Nanosolutions zusammen. Medizinische Anwendungen liegen in der Diagnostik von Brustkrebs und bei der chirurgischen Entfernung von Tumoren (‚Einfach das Gewebe herausschneiden, welches leuchtet!‘).

Ein besonders spannender Aspekt ist ferner die Kombination von kontrastgebenden Partikeln mit therapeutisch wirksamen Molekülen, bei denen sich die Wirksamkeit erst durch das Zusammentreffen mit krankheitsspezifischen Proteinen entfaltet (‚Intelligente Nanopartikel‘).



Die Nanotechnologie wird dem Gesundheits- und Biotechnologiesektor starke Impulse liefern. Die dazugehörigen Industrien könnten dabei in dem Maße einem radikalen Wandel unterliegen, in dem die Funktionalitäten von Geräten und Agentien verschmelzen, in dem Nanopartikel und Nanovorrichtung komplexer und vielseitiger werden, in dem zukünftige "smarte" Komponenten programmierbar werden und sensorische Fähigkeiten erhalten. Diese Entwicklung erfordert zudem die breitbandige Datenaufnahme und instantane Prozessierung multipler Parameter.

Im Systemmarkt für präklinische and akademische Forschung bildet sich ein kontinuierlich stärker werdender Trend zu Hochdurchsatzexperimenten aus. Dieser Trend löst einen starken Bedarf an hoch automatisierten Anlagen aus, die in der Lage sind, Experimente zu miniaturisieren und komplexe Arbeitsprozesse zu vereinfachen.

Evotec Technologies ist Spezialist für hoch moderne, automatisierte und miniaturisierte Prozesse, die zu qualitativ hochwertigen Daten führen, und zwar durch die nahtlose Integration von Hardware, Software und Bioware-Modulen. Zukünftige Leistungssteigerungen werden weitere Miniaturisierungen und neue sensorische Prinzipien benötigen. Nanotechnologische Ansätze werden bezüglich ihres Potenzials überprüft, diese zukünftigen Anforderungen zu erfüllen.

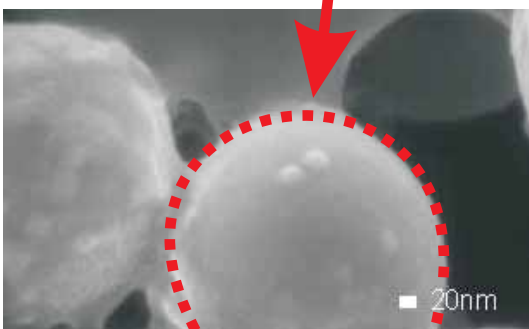
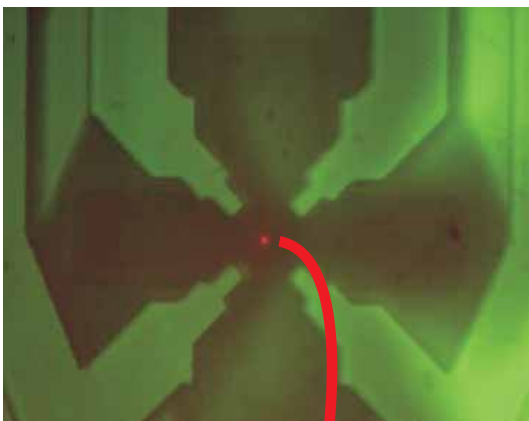


Abb. 1: Viren (40 nm) auf einem Mikropartikel, welches berührungslos in einem dielektrischen Käfig gefangen ist.



Abb. 2: Nanoporen mit einem Durchmesser von 80 nm für markierungsfreie Analysen.

Nanopartikel eignen sich für die Umwandlung oberflächengebundener, mehrstufiger Nachweisverfahren in automatisierungsfreundliche, einstufige Verfahren. Allerdings können hierfür keine herkömmlichen Fluoreszenzmeßgeräte eingesetzt werden, da diese sehr empfindlich auf das von den Nanopartikeln erzeugte Streulicht reagieren. Die konfokalen Fluoreszenzmeßverfahren von Evotec Technologies ermöglichen die Nutzung solcher Nanopartikel-basierter Nachweisverfahren. Ein Mikrochip-basiertes Labor zur Analyse, Handhabung und Rückgewinnung von einzelnen Zellen wird in zwei Geräteversionen vermarktet. Dielektrische Felder eröffnen dabei neue und vielseitige Gestaltungsmöglichkeiten, um solche Chip-basierten Laboratorien mit programmierbaren Ablenk- und Halteeinrichtungen auszustatten. Die derzeitigen Entwicklungen sollen den Nutzungsbereich dieser Chip-Systeme in den nm-Bereich erweitern, um damit auch Viren und Zellorganellen handhaben und analysieren zu können.

Nanoporen stellen einen weiteren hochinteressanten neuen Technologieansatz dar. Sie eröffnen neue Wege zur markierungsfreien Analyse biomolekularer Wechselwirkungen. Besonders attraktiv ist ihre Kompatibilität mit Halbleitertechnologien sowie das Potenzial, pharmakologische Tests weiter zu miniaturisieren und diese gleichzeitig ohne Fluoreszenzfarbstoffe durchzuführen.



## Evotec Technologies GmbH

### Kernkompetenzen:

- Integrierte Systemlösungen
- Mikrochip-basierte Zelllaboratorien
- Miniaturisierte Analysen
- Hochdurchsatzanalyseysteme

### Kontakt:

Dr. Jürgen Müller  
Evotec Technologies GmbH  
Core Technologies  
Schnackenburgallee 114  
22525 Hamburg

Tel.: (040) 56081 - 412  
Fax: (040) 56081 - 488  
Juergen.mueller@evotec-technologies.com  
www.evotec-technologies.com



### Eppendorf Polymere GmbH

34

#### Kernkompetenzen:

- Modifizierung von Kunststoffteilen für biotechnologische Anwendungen
- Verarbeitung von modifizierten Polymeren
- Präzisionsspritzguss

Eppendorf ist einer der weltweit führenden Anbieter von Systemlösungen für Forschungslaboratorien, insbesondere in der Biotechnologie. Ständige Innovationen seit der Gründung 1945 lassen Eppendorf heute auf viele historische Meilensteine sowohl in der Instrumententechnologie als auch in der Kunststofftechnologie zurückblicken.

Gerade die Verbindung von Bio- und Materialwissenschaften in der Nanotechnologie prädestiniert diese als eine neue Technologieplattform für zukünftige Eppendorf-Produkte. Die Eppendorf Polymere GmbH als Hersteller von hochwertigen Kunststoffeinmalartikeln (Pipettenspitzen, Gefäße, Mikrotiterplatten,...) sieht sowohl bei der Nanostrukturierung als auch bei der Oberflächenbeschichtung und der Volumendotierung mit Nanopartikeln, Nanoröhrchen und Nanofasern große Potentiale für zukünftige Anwendungen im Labor.

Ein Kunststoffeinmalartikel für das Forschungslabor ist heutzutage nicht nur ein Plastikbehälter zum Lagern, Transportieren und Mischen von Fluiden, sondern zusätzlich werden zu den mechanischen Anforderungen Eigenschaften wie

- hohe thermische und/oder elektrische Leitfähigkeit,
  - bestimmte Benetzung und Adhäsion von Biomolekülen, sowie
  - definierte Barrierewirkung,
- gefordert.

Deshalb werden Blends mit Nanoadditiven genutzt, um bestimmte Produkteigenschaften gezielt einzustellen.

Erhöhte elektrische Leitfähigkeit von Kunststoffteilen kann z. B. durch die Nutzung der Perkolation von elektrisch leitenden Nanopartikeln (Kohlenstoff-Nanoröhrchen) eingestellt werden. Bereits seit vielen Jahren werden Kohlenstoffnanopartikel für die Herstellung von elektrisch leitfähigen Pipettenspitzen eingesetzt.

Entwicklungen zur Erhöhung der thermischen Leitfähigkeit durch Bornitrid-Nanoröhrchen werden ebenfalls im Eppendorf-Technikum durchgeführt.

DNA - und Protein- "Low Bind"-Oberflächen werden bereits in Serie produziert.

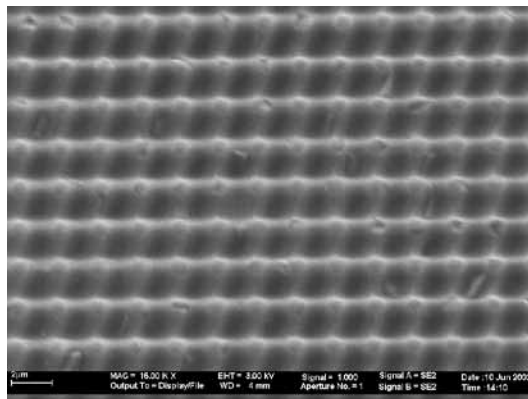


Abb. 1: Spritzgeprägte Lotusstruktur

An weiteren spezifischen Bindungseigenschaften, durch gezielte Funktionalisierung der Oberflächen z.B. mit Corona- und Plasmaprozessen, wird ebenfalls gearbeitet.

Für viele definierte Reaktionen in einem Kunststoffgefäß ist die Barrierewirkung gegenüber Gas von größter Bedeutung. Um die Gaspermeation gezielt zu steuern, können dreidimensionale Nanomoleküle (z. B. Siloxankäfigmoleküle) eingesetzt werden.

Die Modifizierung der Oberflächentopographie durch Nanostrukturierung wird ebenfalls im Hause Eppendorf untersucht, um das Benetzungs- und Ablaufverhalten von Fluiden zu beeinflussen. Die Nanostrukturen werden im Spritzprägeverfahren urgeformt und können nachträglich partiell hydrophobisiert (Lotuseffekt) oder hydrophilisiert werden.

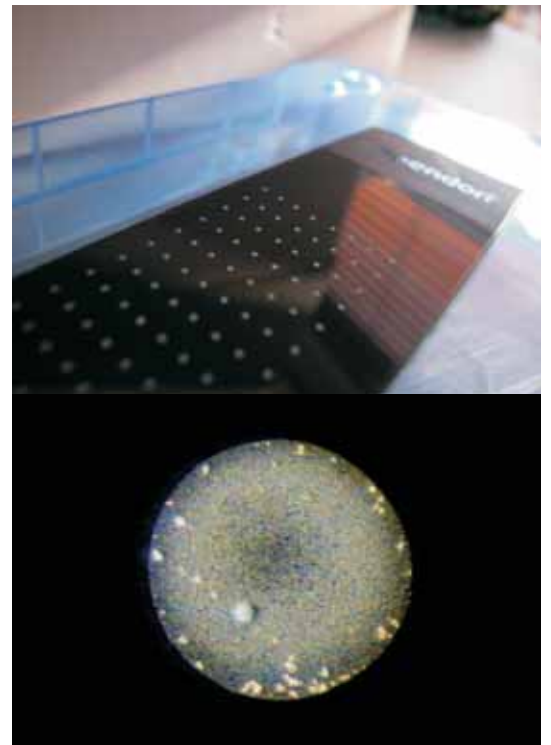


Abb. 2: „Ankerchip“ für Biomoleküle

Für eine hohe Prozessfähigkeit beim Spritzgießen sind definierte reproduzierbare rheologische Eigenschaften der Basismaterialien notwendig. Nanopartikel können das Fließverhalten stark beeinflussen und somit den Spritzgießprozess verändern. Um auch in Zukunft den hohen Eppendorf Qualitätsstandard zu gewährleisten, wird genau dieser Einfluss untersucht. Darüber hinaus liegen bereits Ergebnisse vor, wie bei bestimmten Nanopartikeln durch Verfahrensparameteroptimierung und bestimmte Maschinenelemente vollständige Dispergierwirkung und gute Matrixanbindung erreicht wird.

Anker für Biomoleküle auf planaren Kunststoffoberflächen werden durch nanokristallines Wachstum in Dünnschichten erzeugt.

**Kontakt:**  
Eppendorf Polymere GmbH  
Nico Gülzow  
Leiter Entwicklung  
Barkhausenweg 1  
22339 Hamburg

Tel.: (040) 53 99 7 - 131  
guelzow.n@eppendorf.de  
www.eppendorf.com

Auch in der Dentalbranche wird die Nanotechnologie zunehmend als Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts gesehen. Wichtigstes Anwendungsfeld sind hier plastische Füllungsmaterialien für Restaurationen. Die Verwendung anorganischer Füllstoffe im Nanopartikel-Bereich öffnet für diese Komposite neue physikalische Möglichkeiten, deren praxisorientierte Umsetzungen zur Zeit in den Laboren des Hamburger Unternehmens DMG entwickelt werden.

DMG, seit über 40 Jahren spezialisiert auf die Entwicklung und Produktion hochwertiger Dentalmaterialien, verfügt traditionell über eine hohe Innovationskompetenz im Bereich der Zahnheilkunde.

Für die Optimierung von Materialeigenschaften mit Hilfe der Nanotechnologie konzentriert sich die Forschung aktuell vor allem auf folgende Kernaspekte:

**Schrumpfminderung** - Komposit-Füllungsmaterialien bestehen im wesentlichen aus einer synthetischen Harzmatrix (z. B. Urethanbisacrylat, Bis-GMA, etc.) und gemahlene Füllpartikeln aus hochwertigen Dentalgläsern. Eine negative Eigenschaft der Harze ist die Schrumpfung beim Polymerisationsvorgang. Diesem Effekt kann mit einem möglichst hohen Füllungsgrad entgegen gewirkt werden. Je höher der Füllstoffgehalt in der Harzmatrix und je kleiner damit der Harzanteil des Materials, desto geringer fällt der unerwünschte Polymerisations-Schrumpf aus. Damit sind dann randspaltfreie, stressarme Füllungen leichter zu realisieren. Durch Ergänzen der Glasfüllstoffe mit nanoskaligen Füllpartikeln können extrem hohe Füllstoffgehalte erzielt werden, die auf konventionellem Wege bisher nicht erreichbar waren.

**Bessere physikalische Werte bei Erhaltung der Fließfähigkeit** - Nanopartikel verfügen über grundsätzlich andere physikalische Eigenschaften als konventionelle Füller. So zeigen die Dispersio-



Abb. 2: Nanokomposite kurz vor der Verarbeitung

nen ein Flüssigkeits-ähnliches Verhalten und wirken daher weit weniger verdickend. Dies ermöglicht Komposit-Harze mit bis zu 50% Nanofüllstoffen, deren Viskosität dennoch der von ungefüllten Harzen gleicht. Ein wichtiger Umstand, um gleichzeitig beste Werte bei unterschiedlichen Kriterien wie Fließverhalten, Bruchfestigkeit, Oberflächenhärte und Abrasionsresistenz zu erzielen.



Abb. 3: Die Nanotechnologie ermöglicht Quantensprünge im Bereich der ästhetischen Zahnheilkunde

**Ästhetik** - In der modernen Zahnmedizin gewinnt der Aspekt „Ästhetik“ zunehmend an Bedeutung. Auch hier kann die Nanotechnologie für innovative Produktlösungen sorgen. Zum einen ist die Hochglanzpolierbarkeit von Restaurationen umso besser, je lückenloser die Einbettung der Füllstoffe in die Harzmatrix ist, was mit nanoskaligen Füllstoffanteilen optimal erreicht werden kann. Zudem wird Licht von Partikeln, deren Korngröße unterhalb der halben Wellenlänge sichtbaren Lichts liegt, nicht mehr gestreut. Die Oberfläche sieht daher für den Betrachter völlig glatt aus. Ein Effekt, mit dem Nanopartikel die Bandbreite der Möglichkeiten in der ästhetischen Zahnrestauration erweitern.



Abb. 1: Spezialfüllstoffe für dentale Komposite



**DMG**  
**Dental Material**  
**Gesellschaft mbH**  
**Hamburg**

35

**Kernkompetenzen:**

- Entwicklung und Herstellung von Dentalmaterialien
- Dispergierung
- Partikelgrößenbestimmung

**Kontakt:**

Dr. Hans-Dieter Höhnk  
Geschäftsentwicklung  
DMG Dental Material  
Gesellschaft mbH  
Elbgastr. 248  
22547 Hamburg

Tel.: (040) 84006 - 121  
hhoehnk@dmg-hamburg.de  
www.dmg-hamburg.de

Beiersdorf AG

Als neue Darreichungsform für transparente kosmetische Produkte sind Mikroemulsionen seit langer Zeit intensiv von Hochschulen und der Industrie untersucht worden. Bisher stand einer topischen Anwendung der hohe Emulgatorgehalt entgegen. Mit Hilfe eines neuartigen Emulgiervfahrens, der PIT-Nanotechnologie, wurden hautverträgliche und hochwirksame neue Produkte formuliert, die eine Konsistenz wie Wasser aufweisen, sprühbar sind oder auch als Gel vorliegen können.

Transparente kosmetische Zubereitungen, die Wasser enthalten, sind beispielsweise auf Basis von Gesichtswassern, Deodorant-Pumpzerstäubern oder auch in Form von Gelen bekannt. In diesen Produkten liegt das Füllgut häufig als wässrig-alkoholisches System vor. Bei der Anwendung verdunstet der Alkohol, wodurch ein erlebbares Frischegefühl auf der Haut entsteht. Nachteilig ist jedoch, dass Verbraucher den Alkohol oftmals als unangenehm empfinden. Ferner lassen sich lipophile Wirkstoffe sehr häufig nicht transparent formulieren, da es hier zu Ausfällungen des Wirkstoffs aus den wasserbasierten oder hydro-alkoholischen Darreichungsformen kommt.

Wie gelangen also Pflegelipide in ein Produkt, das transparent bleiben soll? Die Lösung klingt auf den ersten Blick einfach: Die eingearbeiteten Pflegelipidtröpfchen müssen so klein sein, dass sie quasi nicht mehr sichtbar sind. Je kleiner die Tröpfchen, desto transparenter das Produkt. Diese sogenannten Mikroemulsionen haben neben der Transparenz noch andere Vorteile:

- ▶ Bessere Verteilung der Nanotröpfchen auf der Haut
- ▶ Schutz von sensiblen Wirkstoffen in den Nanotröpfchen
- ▶ Solubilisierung von größeren Mengen an Lipiden im Vergleich zu klassischen transparenten Produkten
- ▶ Solubilisierung von wasserunlöslichen Wirkstoffen
- ▶ Verlängerte Wirkfreisetzung
- ▶ Oft höhere Wirksamkeit im Vergleich zu anderen Produktformen (Gelen, Cremes)

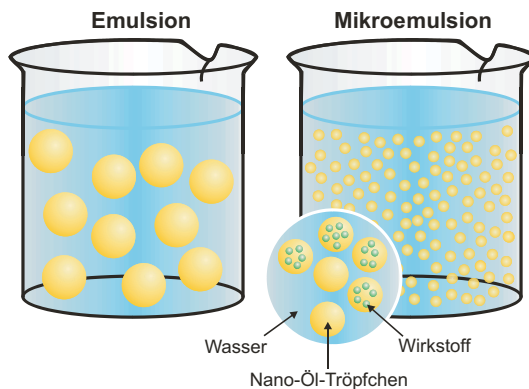


Abb. 1: Vergleich von Emulsion und Mikroemulsion.

Das Ziel zur Herstellung von kosmetischen und hautverträglichen Mikroemulsionen mit niedrigem Emulgatorgehalt wurde im Jahr 1995 durch eine von Beiersdorf zum Patent angemeldete neue Strategie erreicht, der „PIT Nanotechnologie“. PIT steht für "Phasen-Inversions-Temperatur". Man geht dabei von genauestens ausgewählten Inhaltsstoffen aus, die in definierten Mengenverhältnissen zueinander stehen müssen. Durch Vereinigung einer Fettphase und einer Wasserphase im Bereich von 70-90°C entsteht zunächst eine Wasser-in-Öl Emulsion (W/O). Beim Abkühlen dieser Emulsion kann man etwas Erstaunliches beobachten, wenn die Inhaltsstoffe exakt aufeinander abgestimmt sind: Die weiße Emulsion wandelt sich in eine transparente Öl-in-Wasser Mikroemulsion (O/W) um. Die Tröpfchengröße der Lipide liegt zwischen 30-70 nm! In dermatologischen Tests wurde die gute Hautverträglichkeit der Produkte aufgezeigt.

Heute werden Mikroemulsionen und Mikroemulsions-Gele bei Beiersdorf im 5 Tonnen Maßstab hergestellt.



Abb. 2: Produkte auf Basis von Mikroemulsionen und Mikroemulsions-Gelen.

Für die Analyse der Struktur und der Wirkungsweise nanoskalierter Rohstoffe und/oder Fertigprodukte ist das Vorhandensein nanoanalytischer Geräte resp. Methoden unabdingbare Voraussetzung. Für eben diesen Zweck wurden vorzugsweise speziell entwickelte elektronenoptische und rastersondenmikroskopische Verfahren eingesetzt, die Einsicht in die Ultrastruktur unterschiedlicher Hautzustände, namentlich in die der Hautbarriere gestatten. Für entsprechende Abbildungen und die Analyse des genauen Aufbaus neuer Darreichungsformen und der diese bildenden Substrukturen, sowie für die hochaufgelöste Darstellung von Produkt-Haut-Wechselwirkungen hat sich die Anwendung strukturerhaltender kryofixierender Präparationstechniken als unverzichtbar erwiesen. Diese Entwicklungsarbeiten wurden in enger Kooperation der Beiersdorf AG mit dem Arbeitskreis von Prof. Wiesendanger von der Universität Hamburg durchgeführt.

Kernkompetenzen:

Mikroemulsionen

Mikroemulsions-Gele

Kontakt:

Dr. Ulrich Hintze  
Beiersdorf AG  
Tropowitzstrasse 15  
22529 Hamburgg

Tel.: (040) 4909 - 0  
ulrich.hintze@Beiersdorf.com  
www.beiersdorf.de



**Herausgeber:**

Kompetenzzentrum HanseNanoTec  
Universität Hamburg  
Jungiusstr. 11  
20355 Hamburg  
<http://www.hansenanotec.de>

**Leiter:**

Prof. Dr. Roland Wiesendanger  
Tel.: +49 40 / 4 28 38 - 5244  
E-Mail: [wiesendanger@physnet.uni-hamburg.de](mailto:wiesendanger@physnet.uni-hamburg.de)

**Geschäftsführung und Öffentlichkeitsarbeit:**

Dipl.-Chem. Heiko Fuchs  
Tel.: +49 40 / 4 28 38 - 69 59  
Fax: +49 40 / 4 28 38 - 69 59  
E-Mail: [hfuchs@physnet.uni-hamburg.de](mailto:hfuchs@physnet.uni-hamburg.de)

**Redaktion:**

Prof. Dr. Roland Wiesendanger & Heiko Fuchs

**Konzept und Gestaltung:**

Heiko Fuchs & Dr. Shenja Langkat

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers und mit Quellenverweis.

