

# TRANSFER

*Das Steinbeis Magazin*

## Mikro- und Nanotechnologie

**„Eine weitere industrielle Revolution“**

*Im Gespräch mit dem Experimentalphysiker  
Uwe Hartmann*

**Kleiner, schneller, leistungsfähiger**

*Problemlösungen durch Mikrotechnologie*

**Chancen nutzen**

*Forschung und Transfer in der Nanotechnologie*

**Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile**

*Kompetenznetze der Nanotechnologie*

# Inhalt

## Editorial

## Interview

- „Eine weitere industrielle Revolution“** S. 4  
Im Gespräch mit dem Experimentalphysiker Professor Dr. Uwe Hartmann

## Nanotechnologie

- Mitten ins Herz** S. 7  
Lokale Gentherapie im Herzen durch magnetische Nanopartikel
- Bits in Schräglage** S. 9  
Selbstorganisierte Nanostrukturen für die magnetische Datenspeicherung
- Blendende Aussichten** S. 10  
Mit Laserlicht die Nanowelt der Biomedizin erkunden
- Kristallklare Lösungen** S. 14  
Ein Trägersystem auf Nanoebene
- Paradigmenwechsel** S. 15  
Nano-Carbon-Fullerene ermöglichen neue nanopartikuläre Systeme

## Mikrotechnologie

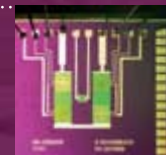
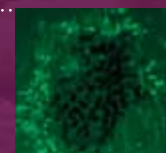
- Microarrays–Mikrofluidik–Mikrosystemtechnik für die Biotechnologie** S. 17  
Erfolgsgeschichte eines Unternehmens
- Was dünne Schichten leisten können** S. 19  
Mechanische Charakterisierung von Schichten und Oberflächen
- Kontrolle des Unsichtbaren** S. 20  
Miniaturisierte Gassensoren gewinnen immer mehr an Bedeutung
- In Form gebracht** S. 22  
Miniaturbauteile aus Metall und Keramik
- Alles eine Frage der Technik** S. 24  
Modulare Mikrosystemtechnik im Maschinen- und Anlagenbau

## Kompetenznetze

- Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile** S. 25  
Eroberung der Nanowelt durch Synergien
- Kleine Welt mit großem Potenzial** S. 28  
Hybridsysteme aus Mecklenburg-Vorpommern eröffnen neue Perspektiven in der Biosystemtechnik
- Maßgeschneiderte Materialien** S. 31  
Die Nanometerskala bringt Gesetze zum Wanken

## Aktuell

- News** S. 32
- Veranstaltungen** S. 34



## Editorial

Liebe Leserinnen und Leser,

„Nichts ist beständiger als der Wandel“. Mit diesem Impuls leiteten wir unseren Jahresbericht 2004 ein – nicht nur im Rückblick auf eine erfolgreiche Steinbeis-Entwicklung, sondern auch mit Blick in die Zukunft. Dieser Impuls ist für uns Anstoß, über Bewährtes zu reflektieren, Neues zu denken und den Wandel in diesem Sinne positiv durch konkretes Handeln zu gestalten. Unsere Transferzeitung, langjährig etabliertes Instrument der Information über unseren Steinbeis-Verbund für Kunden, Kooperationspartner und Mitarbeiter hat ihr Gesicht gewandelt und erhält ein neues Format.

Kompetent, umfassend und transferorientiert werden wir Sie in unserem Transfermagazin über Projekte, Leistungsangebote und Neuigkeiten des Steinbeis-Verbundes in Beratung, Forschung und Entwicklung sowie Aus- und Weiterbildung informieren. Darüber hinaus berichten wir über Fakten und Trends in Transfer, Wissenschaft und Wirtschaft, die für unsere Kunden und Partner wissens- und beachtenswert sind. Daher werden wir Themen, die aktuell besonders im Blickpunkt stehen, künftig ein Titelthema widmen.

Die vorliegende Ausgabe stellt daher „Kleines“ ganz groß in den Mittelpunkt: Mikro- und Nanotechnologie. Die Erforschung des Allerkleinsten, der Elementarteilchen und des Allergrößten, des Universums, wären nicht denkbar ohne

die bahnbrechenden Theorien eines genialen, weltberühmten Wissenschaftlers, der in diesem Jahr ganz besondere Würdigung erfährt – Albert Einstein. 100 Jahre nach Formulierung der ersten quantenmechanischen Theorien eröffnet uns das Vordringen in den Nanokosmos, die Anordnung von Atomen und Molekülen zu Nanopartikeln, extrem dünnen Nanoschichten oder nanoporösen Netzwerken vielfältige Möglichkeiten, völlig neue, bisher nicht gekannte, physikalische, chemische oder biologische Eigenschaften von Materialien zu erzielen und zu nutzen.

Die Nanotechnologie findet daher national und international größte Beachtung und gilt als eine der aussichtsreichsten Technologien der Zukunft. Langfristig werden von ihr erhebliche industrielle Umwälzungen erwartet. Kleiner, schneller, kostengünstiger sind dabei die wichtigsten Miniaturisierungsstrategien, die in zahlreichen Industriebereichen Chancen für neue Produkte und Anwendungsgebiete durch die Nanotechnologie eröffnen. Ergänzend zur Mikrotechnologie und diese zunehmend ablösend, werden besondere Fortschritte durch Nanotechnologie in der Elektronik, bei neuen Materialien, der Optik, Chemie und Pharmazie bis hin zur Medizin erwartet.

Begleiten Sie uns auf den folgenden Seiten in ein faszinierendes Gebiet und informieren Sie sich über bereits bestehende Produkte, Produktperspektiven und Anwendungsoptionen, mikro- und nanotechnische Her-



stellungsverfahren sowie Kontrollmöglichkeiten. Lernen Sie die Potenziale für neue Produkte, Unternehmen und Märkte kennen, die sich aus der Anwendung mikro- und nanotechnologischer Erkenntnisse für Wissenschaft, Wirtschaft und Transfer ergeben.

Wir würden uns freuen, wenn unser neues Transfermagazin dazu beiträgt, das Wissen über- und die Kontakte zueinander zu erweitern, den Wissens- und Erfahrungsaustausch zu intensivieren, Probleme zu lösen und gemeinsame Projekte zu realisieren, um weiterhin erfolgreich und nachhaltig Innovationen hervorzubringen.

Ihre



Sylvia Rohr

## „Eine weitere industrielle Revolution“

Im Gespräch mit dem Experimentalphysiker Professor Dr. Uwe Hartmann

„There's plenty of room at the bottom“ mutmaßte 1959 der amerikanische Physiker und Nobelpreisträger Richard P. Feynman und legte damit den Grundstein für die Nanotechnologie, die sich in den letzten Jahren zu einer der entwicklungsträchtigsten Zukunftstechnologien unserer Zeit etablierte. Die Wirtschaft erhofft sich von der zunehmenden Miniaturisierung Einsatzmöglichkeiten in ganz unterschiedlichen Bereichen: neuartige Werkstoffe für den industriellen Sektor oder Diagnostika und Therapeutika in der Medizin sind nur zwei zentrale Forschungsgebiete, die schon heute innovative Anwendungen hervorbringen. TRANSFER sprach mit dem Saarbrücker Experimentalphysiker und ausgewiesenen Experten auf dem Gebiet der Nanotechnologie, Professor Dr. Uwe Hartmann.

*Die Nanotechnologie gilt als Zukunftstechnologie, Sie beschäftigen sich aber schon seit Ende der 80er-Jahre mit der Forschung an kleinsten Teilchen. Was fasziniert Sie an dieser Fachrichtung?*

Mich persönlich faszinieren insbesondere zwei zentrale Aspekte der Nanotechnologie: Zum einen ist sie außerordentlich interdisziplinär, was für einen Wissenschaftler ganz besondere Anforderungen definiert. Zum anderen bietet sie technologisch fast unbegrenzte Möglichkeiten, was Anwendungen in den unterschiedlichsten Branchen eröffnet.

*Die Literatur sieht die Anfänge der Nanotechnologie Mitte des letzten Jahrhunderts. Sie vertreten die Auffassung, dass im weitesten Sinn auch im alten*

*Rom schon Nanotechnologen zu finden waren. Das müssen Sie uns erklären!*

In Form von Pigmenten für Tinten und von nanoskaligen Metallpartikeln zum Färben von Gläsern wird „Nanotechnologie“ bereits seit mehr als 2000 Jahren eingesetzt. Allerdings handelte es sich bei der Verwendung kleinster Teilchen zur Erzeugung farblicher Effekte natürlich um eine empirische Vorgehensweise, die auf langfristig erworbenem Wissen und handwerklichem Geschick basierte. Die bewusste Kenntnis der Zusammenhänge zwischen Struktur und Größe eines Objekts einerseits und Funktionalität andererseits fehlte aber noch. Im strengen akademischen Sinn und auch aus praktischer Sicht besteht die Nanotechnologie allerdings gerade in einer bewussten Nutzung der Zusammenhänge zwischen Struktur, Größe und Eigenschaften, die nur dann erfolgen kann, wenn eine ausreichende physikalische, chemische oder biochemische Sachkenntnis vorliegt.

*In welchen Bereichen profitieren Wissenschaft und Wirtschaft schon heute von der Nanotechnologie?*

Die Nanotechnologie definiert heute umfassend neue wissenschaftliche Fragestellungen und wird das auch in Zukunft tun. Darüber hinaus führen nanotechnologische Verfahren dazu, dass Forschung in den unterschiedlichsten Bereichen weiter intensiviert werden kann. Nanotechnologie befruchtet also auch weitere Technologien.

Die Wirtschaft profitiert insbesondere bei den chemischen und teilweise auch biochemischen Nanotechnologien bereits heute, indem Produkte auf den Markt gebracht werden können, die sich in wesentlichem Umfang über Nanotechnologie definieren. Dazu sind beispielsweise bestimmte



Werkstoffe, Oberflächenveredelungen, aber auch pharmazeutische Produkte zu rechnen. Abgesehen von dieser primären wirtschaftlichen Relevanz der Nanotechnologie profitiert die Wirtschaft auch in Form von neuen Zuliefermärkten für die Entwicklung nanotechnologischer Verfahren und generell von der positiven Besetzung des Attributes „nano“. Schließlich sollte auch der entstehende nanotechnologische Bildungsmarkt als Bereich mit öffentlichem und privatwirtschaftlichem Engagement nicht unterschätzt werden.

***Welchen Problemen und Herausforderungen stehen wir in der Nanotechnologie noch gegenüber?***

Das große, langfristige Ziel der Nanotechnologie ist es, „die Welt Atom für Atom zu konzipieren und neu zu formen“. Ein solcher „Bottom-up-Ansatz“ erfordert die Nutzung von Prozessen, wie Selbstorganisation, Autoreproduktion oder Selbstheilung, die während der biologischen Evolution im Lauf von Jahrtausenden entwickelt wurden. Unter Umständen müssen sogar über die evolutionären Mechanismen hinausgehende, bislang unbekannte Mechanismen entwickelt werden. Betrachtet man dieses langfristige Ziel der Nanotechnologie, ist unser gegenwärtiges Informationsdefizit ungeheuer groß. Selbstorganisationsprozesse beispielsweise sind bislang nur in ihren trivialsten Ausprägungen und auch nur punktuell halbwegs verstanden. Die im Zusammenhang mit der Nanotechnologie zu bewältigenden wissenschaftlichen Herausforderungen werden sich im Zeitraum von Jahrzehnten oder mehr messen lassen. Eine der interdisziplinären Herausforderungen liegt darin, für eine ausreichende geisteswissenschaftliche Begleitforschung zu sorgen. Sie muss gewährleisten können, dass kein unüberbrückbarer ethischer Nachholbedarf in Bezug auf die Nanotechnologie entsteht.

***Nanotechnologie wird häufig als dritte technologische Revolution propagiert. Befinden wir uns tatsächlich auf dem***

***Weg in die schöne neue Welt, oder sind auch der Nanotechnologie Grenzen gesetzt?***

Aus meiner Sicht ist es gerechtfertigt, nach den Zeitaltern der Mechanisierung und Automatisierung die Nanotechnologie eine weitere industrielle Revolution zu nennen, ohne den Begriff allzu sehr einer Sinnentleerung zu unterziehen. Langfristig gesehen wird es gelingen, funktionale Objekte Molekül für Molekül aufzubauen, wobei die auf der Selbstorganisation basierenden Herstellungsverfahren unabhängig von dem hergestellten Objekt und seiner Verwendung sind. Gerade diese Querschnittsbedeutung macht die Nanotechnologie zu einer besonderen Technologie. Da neue Paradigmen allein aber noch keine neue Technologie machen, sind auf absehbare Zeit der Nanotechnologie auch Grenzen gesetzt. Diese Grenzen resultieren daraus, dass auch nanotechnologische Entwicklungen nicht perfekt sein werden und nur dort eine Existenzberechtigung haben, wo sich herkömmliche Produkte und Verfahren vorteilhaft ersetzen lassen oder gänzlich neue Produkte und Verfahren entstehen. Zu den Unzulänglichkeiten bestimmter nanotechnologischer Ansätze könnten auch unerwünschte Technikfolgen gehören. Wir befinden uns also auf dem Weg in eine schöne neue Welt, in der auch der Nanotechnologie Grenzen gesetzt sind.

***Grundlegende technologische Veränderungen haben in der Vergangenheit auch immer gesellschaftliche Umwandlungen nach sich gezogen. Wird das auch bei der Nanotechnologie der Fall sein, was erwarten Sie?***

Auch die Nanotechnologie bietet in erheblicher Weise das Potenzial für große und umfassende gesellschaftliche Umwälzungen sowohl in positiver als auch in negativer Hinsicht. In positiver Hinsicht sind etwa ein höherer Lebensstandard für viele, verbesserte Umwelt- und Ressourcenschonung und vielfach verbesserte medizinische Behandlungen sowie ein höheres Lebensalter

zu erwarten. Genau diese positiven Aspekte bringen aber auch mögliche negative Folgen mit sich, wie etwa Probleme der Verteilungsgerechtigkeit, vernichtendere Militärtechnologien, eine gesteigerte Nachhaltigkeit negativer Technikfolgen, sowie neuartige Toxizitätsprobleme. All dies macht eine Intensivierung der nanotechnologischen Begleitforschung dringend erforderlich.

***Deutschland muss sich häufig den Vorwurf gefallen lassen, zu wenig in Forschung und Entwicklung zu investieren. Wo stehen deutsche Forschungseinrichtungen im internationalen Vergleich bei der Entwicklung der Nanotechnologie?***

Forschungsförderung im Bereich der Nanotechnologie wurde in Deutschland rechtzeitig, umfänglich, weitsichtig und nachhaltig eingerichtet. Es wurden beispielsweise in Form der Kompetenzzentren für Nanotechnologie sehr gute neue Instrumente geschaffen, die gerade die öffentlichen Forschungseinrichtungen mit der Wirtschaft gut verzahnen und sich heute in hervorragender Weise mit der europäischen Forschungsförderung ergänzen. Als Ergebnis dieser Förderpolitik ist Deutschland in verschiedenen Bereichen der Nanotechnologie derzeit führend. Es wird allerdings darauf ankommen, diese Position

**Professor Dr. Uwe Hartmann** studierte Physik an der Universität Münster. 1987 promovierte der gebürtige Kölner über grundlegende physikalische Phänomene in ferromagnetischen Materialien. Nach Forschungsaufenthalten in der Schweiz und den Vereinigten Staaten habilitierte Hartmann 1992 an der Universität Gießen im Bereich der Experimentalphysik.

Seit 1993 hat der 48-Jährige an der Universität des Saarlandes den Lehrstuhl für Experimentalphysik inne und befasst sich bevorzugt mit der Rastersonden- und Nanostrukturphysik. Hartmann ist ständiger Berater verschiedener Industrieunternehmen und erhielt 1998 den renommierten Philip-Morris-Forschungspreis für seine messtechnischen Entwicklungen im Bereich der Nanotechnologie.

auch zukünftig zu verteidigen. Ich bin hier in Anbetracht der enormen Dynamik, die in den USA, Japan oder auch insgesamt im asiatisch-pazifischen Raum eingesetzt hat, nicht nur optimistisch, was die Aussichten im kommenden Jahrzehnt betrifft.

**An der Universität Saarbrücken wird momentan ein Steinbeis-Forschungszentrum aufgebaut, das sich mit der Weiterentwicklung der Nanotechnologie befasst. Sie werden dieses Zentrum leiten – wo werden Sie die Schwerpunkte Ihrer Forschungs- und Transferarbeit setzen?**

Das Saarland bietet ein hervorragendes Umfeld für die Einrichtung eines Steinbeis-Forschungszentrums für Nanotechnologie. Es gibt eine Reihe von Forschungseinrichtungen, die weltweit Maßstäbe setzen. Zu nennen ist hier etwa das Institut für Neue Materialien (INM) oder das Fraunhofer Institut für Biomedizinische Technologie (IBMT). Die Ergebnisse derartiger Einrichtungen lassen sich als Nukleationsimpulse für ein Forschungszentrum nutzen, dessen Hauptgeschäftsfeld ich auf die Lösung von Anwenderproblemen mit nanotechnologischen Methoden legen möchte. Das Ziel des neuen Forschungszentrums besteht also darin, Problemlösungen für die Industrie und gerade auch den Mittelstand zu erarbeiten, indem Teilproblemstellungen an darauf spezialisierte Forschungsinstitute weltweit vergeben werden, wobei die gesamte Projektverantwortung im Forschungszentrum verbleibt. Der Auftraggeber hat damit selbst bei komplexen Forschungsprojekten nur einen Ansprechpartner – das Forschungszentrum –, der wiederum seine Forschungsergebnisse durch eigene Forschungen, aber auch durch weltweite Akquise von Ergebnissen erlangt. Nur so sind heute komplexe Problemlösungen machbar. Daneben wird das Forschungszentrum Nanotechnologie auch eigene Produktentwicklungen im Bereich der Nanoanalytik und -sensorik betreiben und sich in der Aus- und Weiterbildung engagieren.

**Welche Schnittstellen bietet die Forschungsarbeit an Ihrem Steinbeis-Forschungszentrum zur Wirtschaft?**

Die wichtigste Schnittstelle besteht in regelmäßig veranstalteten Impulstagen und Workshops, bei denen Informationsmodule über den Stand der Entwicklung in industriell relevanten Bereichen der Nanotechnologie informieren. Anwender, die keine Experten für Nanotechnologie sind oder bislang nicht damit in Berührung kamen, erhalten so eine Entscheidungsgrundlage für den Einsatz von Nanotechnologie in ihrem Geschäftsfeld. Die Informationsveranstaltungen werden dezentral angeboten und auch anderen Steinbeis-Transferzentren zur Verfügung gestellt.

**Wagen wir einen Blick in die Zukunft: wie wird ein Unternehmen in 50 Jahren Nanotechnologie einsetzen, was wird dann durch Nanotechnologie möglich sein?**

Angesichts der eklatanten Irrtümer, die bisherige Technologieprognosen zum Teil beinhalten, ist für jeden seriösen Wissenschaftler diese Frage sehr schwer und nur mit größter Vorsicht zu beantworten. Vergegenwärtigen Sie sich einmal, dass vor etwas mehr als 50 Jahren der Transistor erfunden wurde. Hätte man seinerzeit die Väter dieses Halbleiterbausteins nach ihren Prognosen befragt, so hätten sie vermutlich nicht vorausgesehen, dass sich eine Milliarde dieser Bauelemente auf einem winzigen Chip befinden können, und dass man mit ihnen multifunktionale Mobiltelefone oder auch epineurale Sehprothesen bauen kann. Ich glaube, dass sich in unserer ökonomiegetriebenen Welt auch in 50 Jahren technische Entwicklungen im Wesentlichen noch so vollziehen wie heute. Das bedeutet, dass nicht allein die technische Machbarkeit ausschlaggebend ist, sondern vor allem die ökonomische Sinnhaftigkeit. Damit werden sich Paradigmen, die Fabrikationsmethoden und -verfahren zum Gegenstand haben, nur langsam ändern, und vor allem nur dann, wenn dies ökonomisch sinnvoll ist. Da aber heutige Technologien und diejenigen der nahen Zukunft volkswirt-

schaftlich relevante Investitionen erfordern, wird man aus ökonomischen Gründen an wissenschaftlich-technologisch möglicherweise überholten Verfahren festhalten. Wir werden in 50 Jahren umwelt- und ressourcenschonendere wirtschaftliche Kreisläufe besitzen. Wir werden funktionalere Produkte haben. Wir werden eine bessere medizinische Versorgung haben und weiter unser durchschnittliches Lebensalter steigern. Vor allem werden wir aber gegenseitige Verschiebungen der Volkswirtschaften erleben und auch starke Veränderungen in der Unternehmenslandschaft. Wer rechtzeitig erkennt, wo Nanotechnologie sinnvoll genutzt werden kann, und vor allem wer sich intellektuelle Rechte sichert und rechtzeitig strategische Allianzen bildet, wird in 50 Jahren in einem stärkeren Maße als je zuvor auf der Gewinnerseite stehen.

### Nanotechnologie – worum es geht

In der Nanotechnologie erzielt man spezifische Funktionalitäten und Eigenschaften durch den direkten Zusammenhang zwischen der jeweiligen Funktionalität und der Verkleinerung auf charakteristische strukturelle Abmessungen unterhalb 100 Nanometer: Funktionale Eigenschaften eines Materialteilchens oder eines Bauelementes sind dann von diesen Abmessungen selbst abhängig.

Härte, elektrische Leitfähigkeit oder die Farbe von kleinsten Partikeln beliebiger Materialien hängen vom Partikeldurchmesser ab, ein Effekt, der bei größeren Partikeln nicht beobachtet wird.

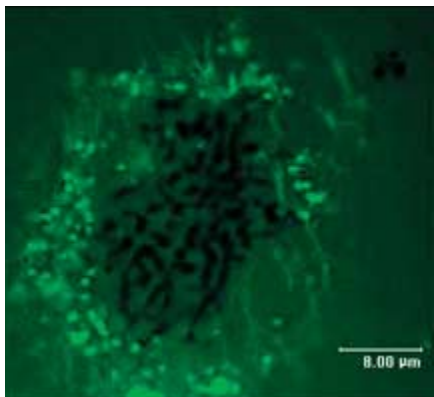
„Nano“ leitet sich aus dem griechischen „nanios“ für „Zwerg“ oder „zwergenhaft“ ab. Ein Nanometer (nm) ist der milliardste Teil eines Meters und vergleichbar mit einer Kette aus fünf bis zehn Atomen. Zum Vergleich: Der Querschnitt eines menschlichen Haars ist 50.000 mal größer.

# Mitten ins Herz

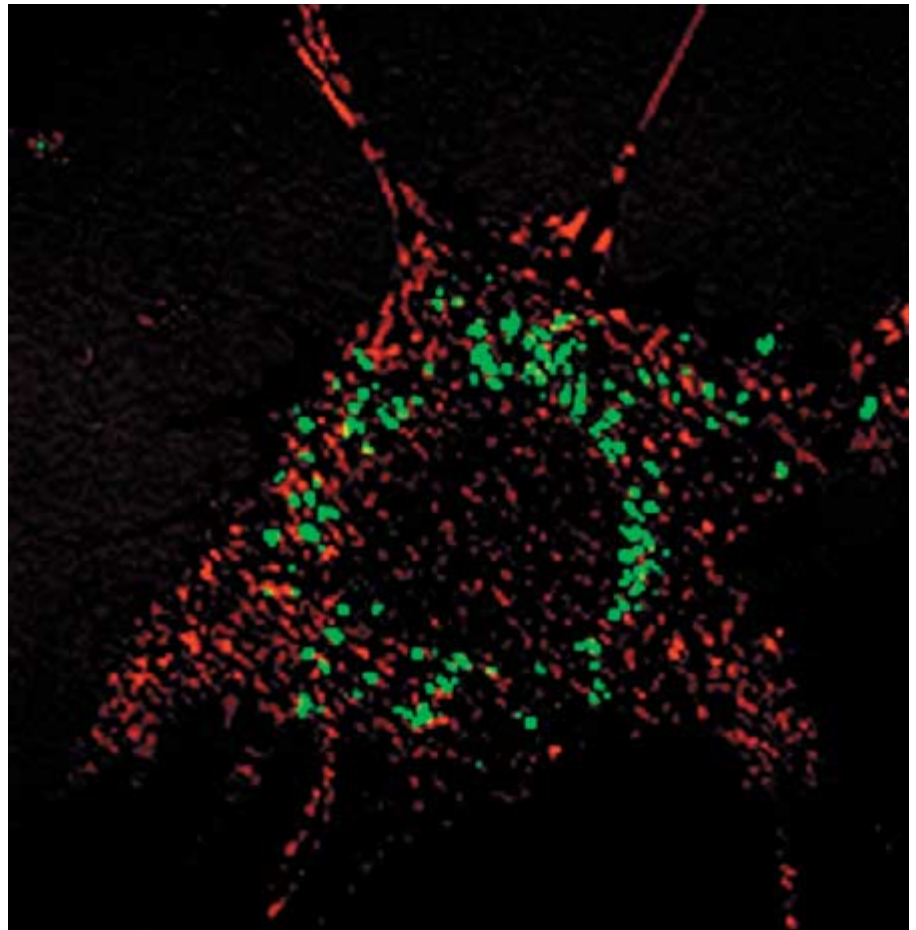
Lokale Gentherapie im Herzen durch magnetische Nanopartikel

Die Rostocker Forschergruppe am Steinbeis-Transferzentrum für Herz-Kreislaufforschung (HKFZ) hat einen Meilenstein bei der medizinischen Anwendung von magnetischen Nanopartikeln in der Therapie von Herz-Kreislaufkrankungen erreicht: Zum ersten Mal gelang es, aus dem Blutstrom mit Genen gekoppelte magnetische Nanopartikel mit einem Magneten gezielt ins Herz zu schleusen und dort Proteine mit der DNA-Information der Gene zu erzeugen (Genexpression). Die Gene wurden mit Polymeren, die mit 200 nm großen paramagnetischen Partikeln verbunden waren, gekoppelt und in Zellkulturen getestet. Dabei konnte mit Hilfe eines magnetischen Feldes die Effizienz des Gentransfers bis um den Faktor 100 gesteigert werden.

Nachdem in einem Tiermodell die Nanopartikel in die Blutbahn einer Maus injiziert worden waren, gelang eine lokale Therapie im Herzmuskel über einen Magneten im Brustkorb. Die Nanopartikel verhindern die Wanderung von Polymeren in den Zellkern und erfüllen damit eine wichtige Voraussetzung für den nebenwirkungsfreien Abbau der Nanopartikel. Die Rostocker Experten sehen neben der Therapie der Herzinsuffizienz zukünftige Anwendungsmöglichkeiten bei Implantaten wie Kunstherzen, Herzklappenprothesen und Gefäßstützen.



Zelluläre Aufnahme von DNA, die fluoreszenzmarkierten magnetischen Nanopartikel verbleiben außerhalb des Zellkerns.



Magnetische Nanopartikel (grüne Markierung) verbleiben nach Genabgabe außerhalb des Zellkerns und zeigen geringe Toxizität.

zient zukünftige Anwendungsmöglichkeiten bei Implantaten wie Kunstherzen, Herzklappenprothesen und Gefäßstützen.

Die spezifische Einschleusung von therapeutischen Genen und Medikamenten in bestimmte Bereiche des Körpers stellt ein bis jetzt ungelöstes Problem dar. Entsprechend sind bisherige Therapien häufig von vielen Nebenwirkungen begleitet. Deswegen kann auch die klinische Entwicklung der Gentherapie nicht erfolgreich eingeführt werden. Die bisherigen viralen Techniken sind mit vielen Risiken verbunden. Außerdem ist es nicht möglich, die auf diese Weise eingeschleusten Gene lokal in bestimmte Zell- und Gewebereiche zu steuern.

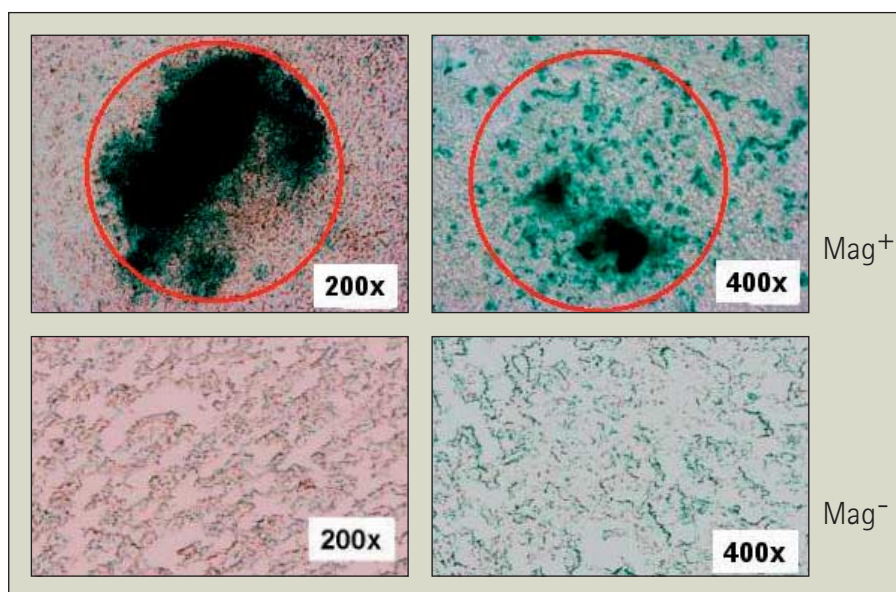
Einen neuen Ansatz zur Lösung dieses Problems bietet die Kopplung der biologisch wirksamen Substanzen wie Gene, Eiweiße und Medikamente an Nanopartikel, die einerseits diese Substanzen vor einer Inaktivierung abschirmen, zum anderen den Einschleusungsprozess in einzelne Zellen optimieren können. Vielversprechend ist dabei die Weiterentwicklung von nicht-viralen Transportsystemen von Genen auf der Basis von Polymeren und Nanopartikeln. Bisher war die Effizienz solcher Systeme eingeschränkt und die Spezifität der Behandlungsmethode nicht besser als in der viral gesteuerten Gentherapie. Kurzum, es fehlte ein klinisch wirksames und spezifisches Therapieinstrument.

Allerdings zeigen die aktuellen Berichte einer US-Forschungsgruppe über die Verbesserung der therapeutischen Effizienz von nicht-viralen Silikon-basierten Nanopartikeln, dass über nicht-virale Transporter eine bessere Therapiewirksamkeit erreicht werden kann. Besonders interessant sind in diesem Kontext magnetisch reaktive Nanopartikel. Im Steinbeis-Transferzentrum für Herz-Kreislaufforschung an der Universität Rostock wurden in der vorklinischen Forschung magnetische Polymer-Nanopartikel entwickelt, die mit einem Gen oder einer Substanz (Wachstumsfaktoren oder Medikamente) verbunden sind. Nano-magnetische Partikel dienen dabei als Vehikel und können mittels magnetischer Felder mit höchster Präzision in vivo platziert werden.

Die Rostocker Forschergruppe hat in Zusammenarbeit mit der National University Singapur Techniken zum Einführen von DNA in Zellen mit Hilfe von neuen polymerbasierten nicht-viralen Genvektoren (Überträger von Genen) entwickelt. Die Umsetzung der Informationen in der DNA in ein Gen, die so genannte Genexpression, wurde für die zwei Modellgene Luciferase und LacZ untersucht und in verschiedenen Zelllinien getestet.

Die magnetischen Komplexe waren unter verschiedenen Bedingungen stabil, insbesondere in serumhaltigen Kulturmedien. Im Vergleich zu diesen Kontrolluntersuchungen hatten die aus magnetischen Partikeln gebildeten und mit einem Luciferase-Gen verbundenen Komplexe eine etwa 100-fach höhere Gentransfereffizienz in vier verschiedenen Zelllinien und eine 30-fach höhere Effizienz in kultivierten Gefäßwandzellen.

Diese in vitro Vorarbeiten zeigen die Effizienz von magnetischen Nanopartikeln für den nicht-viralen Polymer-Vektor-Gen-transfer unter Einfluss von lokalen magnetischen Feldern. In einem in vivo Versuch an einer Maus, bei dem ein Magnet neben das Herz positioniert wurde, konnte zum ersten



Magnetischer Gentransfer im Herz. Marker Genexpression im Herzen (Mag<sup>+</sup>) im Vergleich zu Kontrollen ohne Magnet (Mag<sup>-</sup>)

Mal erfolgreich die lokale Expression des LacZ-Gens im Herzmuskel 72 Stunden nach intravenöser Injektion der magnetischen Nanopartikel nachgewiesen werden. Die Etablierung dieser Technik zum gezielten Einführen von Stammzellen und zur Zielsteuerung durch Magnetfelder ist eine vielversprechende Möglichkeit für eine effektive lokale Gentherapie, die hier erstmalig im Herzen demonstriert wurde.

Die Entwicklung und Anwendung von nanostrukturierten Steuermechanismen durch magnetische, mit Genvektoren oder Pharmaka beladene Nanopartikel auf Einzelzellenebene, könnte die Manipulation von zellulären Reaktionen auf molekularer Ebene ermöglichen. Die Verwendung von magnetischen Polymer-Nanopartikeln erfordert nanostrukturierte Genüberträger.

Diese so genannten Vektoren entwickeln die Rostocker Forscher in einer Arbeitsgruppe mit den Universitäten Aachen und Singapur weiter.

Außerdem wird an der magnetischen Steuerung der Nanopartikel mit nano- und mikrostrukturierten Steuermagneten weiter gearbeitet. Hier werden Kooperationen mit den Universitäten Kassel und Hannover in der Chip-/Mikrotechnik, Elektronik und Nano-

Umformtechnik genutzt, um die Technologie im menschlichen Organismus in verschiedenen Organen applizieren zu können. Zwar ist die prinzipielle Machbarkeit der magnetischen Manipulation mittels mikrotechnischer Systeme im Kleintiermodell schon gezeigt, zur Nutzung solcher Systeme in der klinischen Anwendung besteht aber noch großer Forschungsbedarf.

Prof. Dr. med. Gustav Steinhoff  
Steinbeis-Transferzentrum für  
Herz-Kreislaufforschung (HKFZ)  
Rostock  
stz586@stw.de

# Bits in Schräglage

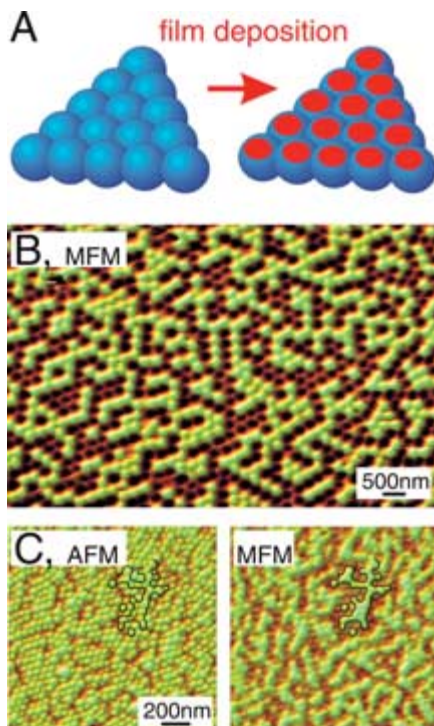
## Selbstorganisierte Nanostrukturen für die magnetische Datenspeicherung

**Die auf einer Festplatte speicherbare Datenmenge verdoppelt sich alle zwei Jahre. Neuartige physikalische Effekte eröffnen revolutionär scheinende Möglichkeiten zur digitalen Speicherung großer Datenmengen. Kleinste Strukturen werden für magnetische Datenspeicher der Zukunft gezielt angeordnet.**

Solche Speichermedien (perpendicular media) haben den Vorteil, dass sie aus einem Material mit höherer richtungsabhängiger Magnetisierung (Anisotropie) hergestellt werden können, weil das Schreibfeld effektiver wirkt. Eine höhere Anisotropie ga-

rantiert außerdem, dass die Erinnerung der Richtung, also das Speichern in den einzelnen Materialkörnern, thermisch stabiler ist.

Mitarbeiter des Steinbeis-Transferzentrums für Nanostrukturen und Festkörperanalytik an der Universität Konstanz suchen nach einer Möglichkeit, ein topographisches, nanoskaliges Muster, das durch Selbstorganisation entsteht, mit metallischem Aufdampfen von magnetischen Multischichten zu kombinieren. Dazu werden durch Selbstorganisation dicht gepackte, zweidimensionale Anordnungen von gleich kleinen Polystyrolkugeln mit Durchmessern bis herab zu 50 nm aus einer Kolloidlösung hergestellt. Auf diese Kugel-Monolagen werden Kobalt/Palladium Multilagen aufgedampft. Auf diese Weise entstehen sphärische Nanokappen auf den Kugelspitzen.



A: Schematische Darstellung der Nanostrukturierung durch Filmabscheidung auf Nanokugeln. B: MFM-Aufnahme für eine Kugelgröße von 310 nm nach einer Co/Pd Multifilmdeposition. C: AFM und entsprechende MFM Bilder einer Anordnung von 50 nm großen Kugeln. Die MFM Bilder wurden nach Entmagnetisierung der gesamten Probe aufgenommen.

Die im Konstanzer Labor hergestellten Proben wurden mit Hilfe von Rasterkraftmikroskopie (AFM) und magnetischer Rasterkraftmikroskopie (MFM) untersucht. Ein heller oder dunkler Kontrast ist auf jedem einzelnen Partikel zu erkennen. Daraus schließen die Experten des Steinbeis-Zentrums, dass sich die Nanostrukturen in einem isolierten magnetischen Bereich mit der Magnetisierung senkrecht zur Unterlagenebene befinden.

Zu dieser magnetischen Isolierung tragen zwei Eigenschaften bei: zum einen hat jede Kugel nur sechs kleine Kontaktflächen zu den Nachbarn, die nur eine begrenzte magnetische Austauschwechselwirkung zulassen. Zum anderen spielt die Krümmung auf der Kugeloberfläche für die aufgetragenen Metallschichten eine wesentliche Rolle. Auf einer sphärischen Oberfläche dünnt sich das Material an den Rändern der Kugel aus und verliert dann wegen seiner zu geringen Dicke die ferromagnetischen Eigenschaften.

Da die Polystyrolkugellage auch schräg bedampft werden kann, wird das System verwendet, um Magnetisierungsrichtungen unter entsprechenden Neigungen zur Substratoberfläche einzustellen.

Das stellt eine erste Realisierung eines „tilted magnetic recording media“ im Labor dar, eine kommerzielle Anwendung bedarf noch weiterer Studien. Die Konstanzer Experten am Steinbeis-Transferzentrum arbeiten projektbezogen mit Unaxis/Balzers an der technischen Umsetzung dieser Idee.

Prof. Günter Schatz  
Steinbeis-Transferzentrum  
Nanostrukturen und Festkörperanalytik  
Konstanz  
stz621@stw.de

### Weitere Aktivitäten innerhalb des Steinbeis-Transferzentrums:

- Herstellung von geschichteten Halbleiter-Einkristallen, wie WSe<sub>2</sub>, zur Kalibrierung in Tunnelmikroskopie-Messungen
- magnetische Nanopartikel in organischen Mizellenstrukturen
- Suszeptibilitätsmessungen an technisch wichtigen magnetischen Materialien
- Rauigkeitsbestimmungen an Oberflächen mit der Rasterkraftmikroskopie
- Lasermodifikation und Laserstrukturierung von Oberflächen

# Blendende Aussichten

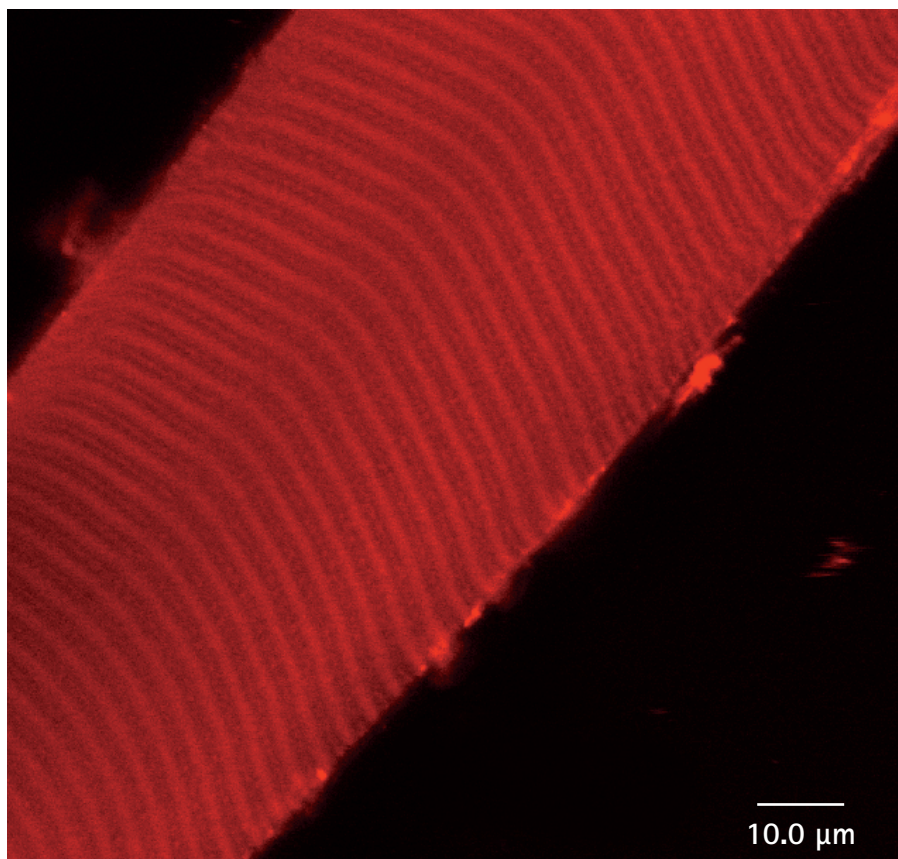
Mit Laserlicht die Nanowelt der Biomedizin erkunden

**2005, das Einsteinjahr. Die (spezielle) Relativitätstheorie feiert 100. Geburtstag. Albert Einstein wird meistens nur mit dieser Arbeit in Verbindung gebracht, was nicht verwundert: Ist sie doch eine der großen physikalischen Theorien des 20. Jahrhunderts und widerspricht in so vielem den Erwartungen des gesunden Menschenverstands.**

Daneben jedoch verdanken wir Einstein wichtige Erkenntnisse über die Quantenstruktur des Lichts und die theoretische Grundlage dessen, was man später „Lichtverstärkung durch stimulierte Emission von Strahlung“ nennen wird, den Laser. Heute eröffnen sich durch den Einsatz von nanotechnologischen Laseranwendungen völlig neuartige Möglichkeiten der mikroinvasiven Diagnostik und Therapie.

Was ist das Besondere an Laserlicht? Betrachtet man eine „klassische“ Lichtquelle, zum Beispiel die Wendel einer Glühlampe, fällt auf, dass das von ihr erzeugte Licht polychromatisch und divergent ist, also Lichtwellen verschiedener Wellenlängen enthält und in einen großen Raumwinkelbereich hinein abgestrahlt wird. Darüber hinaus ist das Licht inkohärent, die einzelnen Lichtpakete haben zueinander keine Beziehung. Anders bei Laserlicht: Die Atome und Moleküle des Lasermediums senden ihr Licht in Resonanz aus. Das Resultat ist ein (fast) monochromatischer, kohärenter und gebündelter Lichtstrahl, der – und das ist die Grundvoraussetzung für die hier vorgestellten Techniken – auf Volumina fokussiert werden kann, deren minimale Größe nur noch durch grundlegende physikalische Prinzipien festgelegt ist.

In der Lasermikroskopie werden die Laserstrahlen durch Mikroskopobjektive auf das Objekt fokussiert. Dabei erreicht man Fokus-



Hochauflösende konfokale Fluoreszenz-Laserscanning-Mikroskopie:  
Das Bild zeigt einen Schnitt durch eine Muskelfaser (Circ.Res.86 [2000]: 51-58).

volumina von wenigen Kubikmikrometern bzw. Femtolitern, der minimale Strahlquerschnitt beträgt dort etwa einen Quadratmikrometer oder noch weniger. Übliche Laserquellen erbringen eine durchschnittliche Ausgangsleistung von einigen Milliwatt bis hinauf in den Wattbereich, so dass in der Fokusebene lokale Lichtintensitäten von  $10^9$  bis  $10^{12} \text{ W/m}^2$  erzielt werden können. Zum Vergleich: Die Solarkonstante, also die Intensität des senkrecht auf die Erdoberfläche eintreffenden Sonnenlichts, beträgt „nur“  $1,37 \text{ kW/m}^2$ .

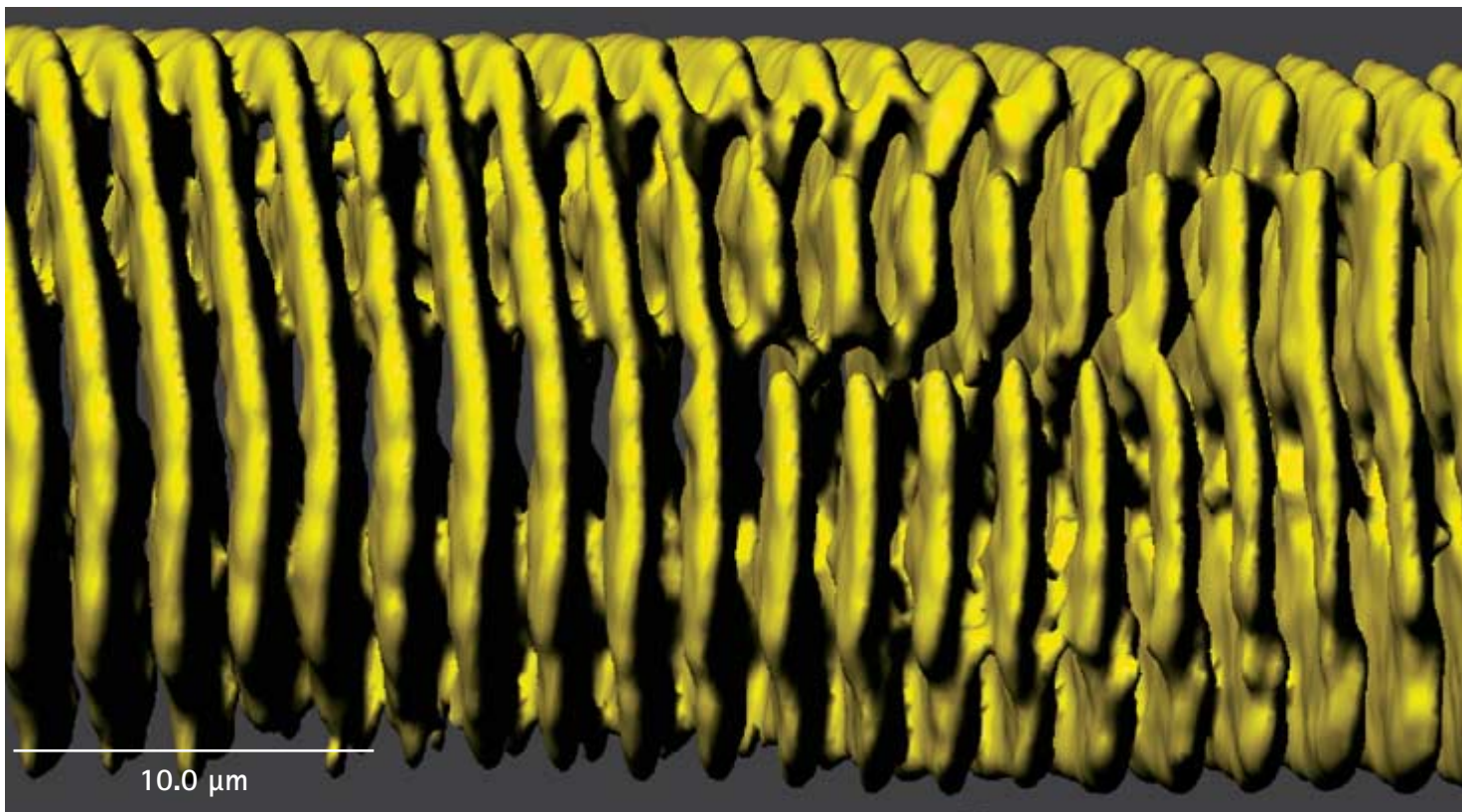
Mit diesen hohen Photonendichten wächst auch die Wahrscheinlichkeit für Wechselwirkungen des Laserlichts mit (biologischem) Material, das sich im Fokalkvolumen befindet. Die Art der Wechselwirkung hängt dabei

auch erheblich von der Wellenlänge und der zeitlichen Abfolge der Einwirkung ab und umfasst die Erzeugung von Fluoreszenzlicht, mechanische Krafteinwirkung oder das Schneiden oder Entfernen von Gewebe. Durch geschickte Kombination entsprechender Laserquellen entsteht ein „Labor“ in Nano- und Mikrometerskala zur Analyse und Manipulation von Gewebe, Zellen und subzellulären Strukturen.

## Ein Labor in Nano- und Mikrometerskala

Welche Lasermikrowerkzeuge den Wissenschaftlern und Entwicklern heute zur Verfügung stehen, zeigt das folgende Beispiel anhand von Muskelzellgewebe.

Für den Biophysiker liegt der besondere Reiz von Muskelzellen darin, dass sie im



Dreidimensionale Struktur des Myosinfilaments in der Muskelzelle. Das Bild entstand durch Rekonstruktion von intrinsischen SHG-Signalen und wurde ohne Zuhilfenahme von Fluoreszenzfarbstoffen aufgenommen.

Verlaufe ihres Lebenszyklus fortwährend, als Reaktion auf äußere elektrische Reize, chemische Energie in mechanische Arbeit umwandeln. Dieses Zusammentreffen elektrischer, biochemischer und mechanischer Aspekte macht Muskelzellen zu faszinierenden Präparaten. Wegen ihres sehr regelmäßigen Aufbaus sind sie ideale Objekte der (Laser-)Mikroskopie. Dennoch bleibt das Gesamtsystem ausreichend komplex, so dass immer noch neue Erkenntnisse gewonnen werden können, die dann auch auf andere Gewebe- und Zelltypen übertragbar sind.

Eine Skelettmuskelfaser besteht aus einzelnen so genannten Myofibrillen mit Durchmessern von 1 bis 2 Mikrometern ( $\mu\text{m}$ ). Bei diesen erkennt man wiederum die sehr regelmäßige Anordnung von funktionellen Untereinheiten, den Sarkomeren, die für die Kontraktion der Zelle zuständig sind. Sarkomere sind etwa 2 bis 3  $\mu\text{m}$  lang und bestehen hauptsächlich aus Filamenten mit einem Durchmesser von 5 bis 15 Nanometern (nm)

zweier Proteine: Aktin und Myosin. Durch die Wechselwirkung dieser beiden Proteine wird im Myosin eine zyklische Strukturänderung veranlasst – ein so genannter „Ruderschlag“ – die zum Ineinandergleiten der beiden Filamente und damit zur Kontraktion des Sarkomers führt. Ein einzelnes Myosinmolekül erzeugt dabei pro Zyklus Kräfte von einigen wenigen Pikonewton, die Länge eines Ruderschlags beträgt einige Nanometer.

#### Bildgebung

Die bildgebende Analyse ist eines der Hauptanwendungsgebiete für Laser in der Biomedizin. Das kleinste mit dieser Optik darstellbare Volumen beträgt ein Kubikmikrometer, das ist etwa das Fokusvolumen des Laserstrahls. Der Nachweis bestimmter Moleküle in diesem Volumen erfolgt meist über Fluoreszenzfarbstoffe, die hinsichtlich Stabilität, Selektivität und Effizienz in den letzten Jahren erhebliche Fortschritte gemacht haben. Ein zweidimensionales Bild entsteht, wenn man mit dem Laserfokus das Objekt abscannt. Vor allem bei dichteren Proben besteht

jedoch ein erhebliches Problem darin, dass das Signal durch Fluoreszenzlicht kontaminiert wird, das in Nichtfokusebenen entsteht und ebenfalls auf den Lichtdetektor trifft.

Abhilfe schafft hier ein so genanntes Pinhole im optischen Pfad, das dieses unerwünschte Licht herausfiltert und somit den Ebenenkontrast entlang der optischen Achse deutlich verbessert. Ein solches Pinhole kommt in konfokalen Fluoreszenz-Laserscanning-Mikroskopen zum Einsatz. Der deutlich verbesserte Ebenenkontrast der Konfokalmikroskopie ermöglicht auch eine dreidimensionale Bildaufnahme. Dabei wird der Laserfokus nach Aufnahme einer Ebene zur nächstgelegenen Ebene bewegt und scannt diese ab. Der so entstandene Bildstapel lässt sich mit geeigneter Software zu einem dreidimensionalen Bild rekonstruieren, zum Beispiel durch Berechnung geschlossener Isofluoreszenzflächen.

Verbesserter Ebenenkontrast kann auch mit Hilfe einer besonderen Laserquelle erreicht

werden, den Kurzpulslasern. Das Besondere dieser Laser ist, dass sie die abgestrahlte Lichtenergie in äußerst kurzen Pulsen konzentrieren. Durch Pulslängen im Bereich von einigen 100 Femtosekunden bis einigen Pikosekunden erreicht man – bei typischen Pulsraten von 100 MHz – eine kurzzeitige fokale Lichtintensität von etwa  $10^{16}$  W/m<sup>2</sup>. Die damit verbundene hohe Photonendichte ermöglicht die Realisierung so genannter Mehrphotoneneffekte, wie sie zuerst von Maria Goeppert-Mayer (1906-1972) theoretisch vorhergesagt wurden. So sind zum Beispiel bei der Anregung eines Fluoreszenzmoleküls nicht ein, sondern zwei (oder mehr) Photonen beteiligt. Verglichen mit Einphotonenprozessen sind Mehrphotoneneffekte sehr unwahrscheinlich, so dass ihre Auslösung auf die Fokusebene selbst beschränkt bleibt.

### Intrinsische Signale

Ein weiterer wichtiger Zweiphotonenprozess ist die Erzeugung optischer Obertöne („second harmonic generation“, SHG). Dieser Prozess lässt sich analog zur Akustik beschreiben: Wird zum Beispiel eine bestimmte Klaviersaite angeschlagen, schwingt sie nicht nur mit ihrer Grundfrequenz, es entsteht auch ein charakteristisches Spektrum von Obertönen. Entsprechend gibt es Materialien, die bei Bestrahlung mit einer Lichtwelle eine weitere Lichtwelle doppelter Frequenz und halber Wellenlänge abstrahlen. Die Existenz dieser Lichtwelle ist eine Nachweismöglichkeit für solche frequenzverdoppelnden Materialien. Interessant für die Biomedizin ist dabei, dass

zu diesen Materialien auch die Strukturproteine Kollagen und Myosin gehören. Mithin ist es möglich, dreidimensionale Strukturbilder dieser Proteinfilamente aufzunehmen, ohne dass Fluoreszenzfarbstoffe überhaupt benötigt werden.

### Chemische Manipulation

Mit Licht können Moleküle nicht nur zu Fluoreszenz angeregt werden, mit Licht können auch chemische Bindungen gespalten werden. Dieser Effekt wird bei Käfigmolekülen, so genannten „caged compounds“ ausgenutzt: Ein Ion oder Molekül wird mit Hilfe eines „Käfigmoleküls“ maskiert und chemisch inaktiviert. Bei Lichteinfall – in der Regel wird ein Blitz einer UV-Lampe verwendet – spaltet sich die Bindung zwischen beiden, das Molekül wird chemisch reaktiviert. Beispiele für solche caged compounds sind caged-ATP – mit Adenosin-Triphosphat (ATP) als dem Hauptenergieträger in Zellen – oder caged-Kalzium, wobei Kalzium eines der wichtigsten Signalionen in biologischen Systemen ist.

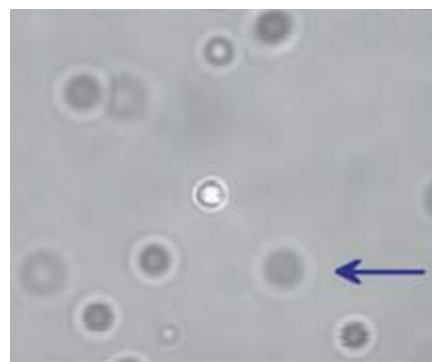
Dies gilt insbesondere für Muskelzellen. Die Energie für die Zellkontraktion wird durch Spaltung von ATP aufgebracht, welches im Zellinneren gelöst ausreichend verfügbar ist. Unter diesen Bedingungen würde die Muskelzelle jedoch dauerhaft arbeiten und kontrahieren. Um einen solchen Krampf zu verhindern, existiert ein weiterer Proteinkomplex, das Troponin-Tropomyosin. Dieser Proteinkomplex ist mit dem Aktin verbunden und verhindert im Ruhezustand der Musku-

latur die Wechselwirkung mit dem Myosin. Bei gewünschter Kontraktion schüttet die Zelle Kalziumionen aus ihren internen Speichern aus. Kalzium bindet an das Troponin, welches daraufhin die Bindung zwischen Aktin und Myosin freigibt und die Kontraktion zulässt. Nach und nach werden die Kalziumionen wieder in den Speicher zurückgepumpt und die Kontraktion wird gestoppt.

Zur Untersuchung dieser fundamentalen Interaktion der drei Proteinkomplexe ist es der Arbeitsgruppe an der Universität Heidelberg gelungen, ein Proteinassay („motility assay“, Beweglichkeitsassay) herzustellen, das der Situation in lebenden Zellen entspricht. Dadurch wird das im Verlauf der Evolution kontinuierlich optimierte „Tuning“ der molekularen Motoren besser verständlich. Diese Forschungen werden u.a. auch vom Land Baden-Württemberg im Rahmen eines Landesforschungsschwerpunktes gefördert.

### Mechanische Manipulation

Neben Energie tragen Lichtwellen auch Impuls. Wird eine Lichtwelle an einer optischen Grenzfläche gebrochen und abgelenkt, verändert sich dabei auch ihr Impuls. Nun muss in jedem abgeschlossenen System der Gesamtimpuls erhalten bleiben, dies ist ein Grundgesetz der Physik. Der „fehlende“ Impuls muss zwangsläufig auf jenes Objekt übertragen werden, das die Lichtwellenbrechung verursacht. Eine Impulsübertragung ist aber nichts anderes als die Ausübung



Optische Pinzette: Kunststoffkügelchen („beads“) werden im Lichtfeld des Lasers zum Fokus hin getrieben und dort festgehalten (links und Mitte). Es ist möglich, Proteine und andere Strukturen an diesen Beads zu befestigen (hier z.B. ein Aktinfilament, s. Pfeile), sie dienen dann als Kraftüberträger.

einer Kraft: Mit Lichtwellen können Kräfte auf Objekte erzeugt werden.

Diese optischen Kräfte sind jedoch bei den im Alltag anzutreffenden Lichtintensitäten so klein, dass sie von normal großen Objekten nicht „bemerkt“ werden. Anders stellt sich die Situation dar, wenn man die Objekte mikroskopisch klein und die Lichtintensitäten entsprechend groß macht: Benutzt man Laserquellen mit höherer Ausgangsleistung als für Fluoreszenzanregung üblich (typisch sind einige 100 mW Durchschnittsleistung) auf mikrometergroße Objekte – also Zellen, subzelluläre Einheiten (Organelle) oder kleine Kunststoffkügelchen – so wirken optische Kräfte im Bereich einiger weniger Pikonewton. So klein diese Kräfte sind, sie reichen aus, um Objekte im Laserfokus festzuhalten: Man erhält eine so genannte „optische Pinzette“. Richtet man den Laser so ein, dass er – nicht zu schnell – durch die Objektebene bewegt werden kann, kann man mit seiner Hilfe Objekte transportieren.

Über diesen qualitativen Einsatz hinaus kann eine optische Pinzette auch für quantitative Kraftmessungen eingesetzt werden. Für festgehaltene Objekte im Fokus verhält sich die Kraft des Lichtfeldes angenähert wie eine Feder, das heißt, die rücktreibende Kraft ist proportional zur Auslenkung des Objekts aus dem Fokus.

Um nun z.B. die intermolekularen Kräfte zu messen, wie sie in der Interaktion von Aktin und Myosin entstehen, bedient man sich eines Tricks: Die Moleküle selbst können mit der optischen Pinzette nicht festgehalten werden, deshalb behandelt man die Kunststoff-Beads biochemisch, um (relativ) beliebige Moleküle daran zu binden.

### Laser als Mikroskalpell

Schließlich lassen sich Laserquellen als Mikroskalpell einsetzen. Das „Schneiden“ von biologischem Material durch Licht beruht darauf, dass die Lichtenergie am Schneidepunkt absorbiert wird und zum Aufbrechen des Materials führt. Da biologisches Gewebe

im UV-Wellenlängenbereich eine besonders gute Absorption aufweist, werden für diese Applikation bevorzugt gepulste Laser dieses Spektralbereichs eingesetzt. Ein Beispiel sind Stickstofflaser mit Pulslängen von einigen Nanosekunden.

Das Nano-Mikro-Laserlabor erlaubt dynamisch funktionelle molekulare und in sehr kleinen Teilbereichen einer Zelle („subzellulär“) ablaufende Prozesse quantitativ zu analysieren oder sogar in diese Prozesse manipulierend einzugreifen. Da die meisten der beschriebenen Laseranwendungen in der lebenden Zelle, d.h. quasi ‚in vivo‘, durchgeführt werden können oder könnten, ergeben sich für die medizinische Grundlagenforschung und Diagnostik vollständig neue Anwendungsmöglichkeiten des Nano-Mikro-Laserlabors, wie zum Beispiel bei Muskelerkrankungen, den Myopathien. Zu diesen Erkrankungen gehören die Duchenne-Becker-Muskeldystrophien, Kardiomyopathien und auch die bei Patienten auf der Intensivstation auftretende ‚Critical Illness Myopathy‘. Mit dem Nano-Mikro-Laserlabor können nicht nur krankheitsbedingte strukturelle Veränderungen der Muskelzellen beobachtet werden, sondern auch wichtige funktionelle Parameter wie Fehlregulationen der Kalzium-aktivierten Kraftentwicklung erfasst werden. Es ist zu erwarten, dass in der zukünftigen Entwicklung des Nano-Mikro-Laserlabors dieses selbst minimal-invasiv eingesetzt werden kann und einen extrem breiten Anwendungsbereich in der medizinischen Grundlagenforschung, Diagnostik und Therapie finden wird.

Prof. Dr. Rainer H.A. Fink  
Dr. Martin Vogel  
Steinbeis-Kompetenzzentrum  
Medizinische Biophysik  
Heidelberg  
stz896@stw.de

## Maßeinheiten der Mikro- und Nanotechnologie

### Mikrometer

Ein Mikrometer ( $\mu\text{m}$ ) entspricht dem Millionstel eines Meters:  $1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$  = 0,000 001 m. Oder  $1 \mu\text{m} = 10^{-3} \text{ mm}$ , also ein eintausendstel Millimeter.

### Nanometer

Ein Nanometer (nm) entspricht dem Milliardenstel eines Meters:  $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ . Oder  $1 \text{ nm} = 10^{-6} \text{ mm}$ , also ein millionstel Millimeter.

Die kleinsten mit einem Lichtmikroskop erkennbaren Strukturen sind etwa 500 nm groß. Zur Untersuchung von Strukturen unterhalb von 500 nm verwendet man Rasterelektronenmikroskope, Rastertunnelmikroskope oder Rasterkraftmikroskope. Die optisch höchstauflösende 4Pi-Laser-Scanning-Mikroskopie kann Strukturen einer Größe von etwa 50-100 nm abbilden.

### Pikometer

Ein Pikometer (pm) entspricht dem Billionstel eines Meters:  $1 \text{ pm} = 10^{-12} \text{ m}$ . Der Pikometer ist geeignet für Messungen innerhalb der Atomhüllen. Ein Atom hat einen Durchmesser zwischen 50 und 600 pm.

### Femtometer

Ein Femtometer (fm) entspricht dem Billionstel eines Meters:  $1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m}$ . Der Femtometer, auch als Fermi bezeichnet, wird für die Veranschaulichung der Durchmesser von Atomkernen und ihrer Bestandteile verwendet. Der Durchmesser eines Atomkerns liegt um 10 fm. Protonen und Neutronen haben einen Durchmesser von etwa 1,6 fm.

### Femtoliter

Ein Femtoliter entspricht  $10^{-15} \text{ l}$ , also einem billionstel Liter, ungefähr der Größe eines einzelnen Bakteriums.

### Pikonewton

Ein Pikonewton entspricht  $10^{-12} \text{ N}$ , also 0,000000000001 N, ungefähr dem Gewicht eines roten Blutkörperchens.

# Kristallklare Lösungen

Ein Trägersystem auf Nanoebene

Durch die breite Grundlagenforschung in der Nanotechnologie können heute Lösungen für Bereiche geschaffen werden, die von elementarer Bedeutung für das tägliche Leben sind. Dabei spielt nicht der Wettlauf um die weitere Miniaturisierung an sich die zentrale Rolle, vielmehr überwinden Produkte auf Nanoebene bisherige Hürden bei der Erfüllung wichtiger Funktionen. Dies gilt für miniaturisierte mechanische oder elektronische Bauteile aber auch für den Lebensmittel-, Kosmetik- und Pharmabereich. Das Darmstädter Unternehmen Aquanova wurde in seinen Anfängen von Steinbeis begleitet und gehört heute zu den etwa 100 Unternehmen in Deutschland, die nanotechnologische Erkenntnisse zur Herstellung und Vermarktung von Produkten auf Nanoebene nutzen.

Um Roh- und Wirkstoffe ins Innere von Körperzellen zu transportieren, benötigt man geeignete „Transporter“, damit diese Stoffe die Darm-Blut-Schranke passieren und anschließend zur Zelle und in deren Inneres gelangen können. Je besser dies gelingt, desto höher ist die so genannte Bioverfügbarkeit des Roh- oder Wirkstoffs. Sie misst die Menge der Mikrostoffe, die der Körper aus den chemischen Verbindungen aufnehmen kann. Dieser Bioverfügbarkeit kommt als Qualitätskriterium immer höhere Bedeutung zu, weil mehr noch als die Substanz an sich deren optimale Verfügbarkeit für den Organismus für Innovationen sorgt. In herkömmlichen Emulsionen haben Partikel eine Größe von mehreren Tausend nm – für das menschliche Auge längst zu klein, und doch viel zu groß, um vom Körper direkt verwertet werden zu können. Auch die Stabilität der bisherigen Mikropartikel ist bislang unbefriedigend und führt häufig zu Problemen: Liposome zum Beispiel werden schon während der Einarbeitung in Endprodukte teilweise zerstört.



Vitamin A Micelle

## Klein aber fein

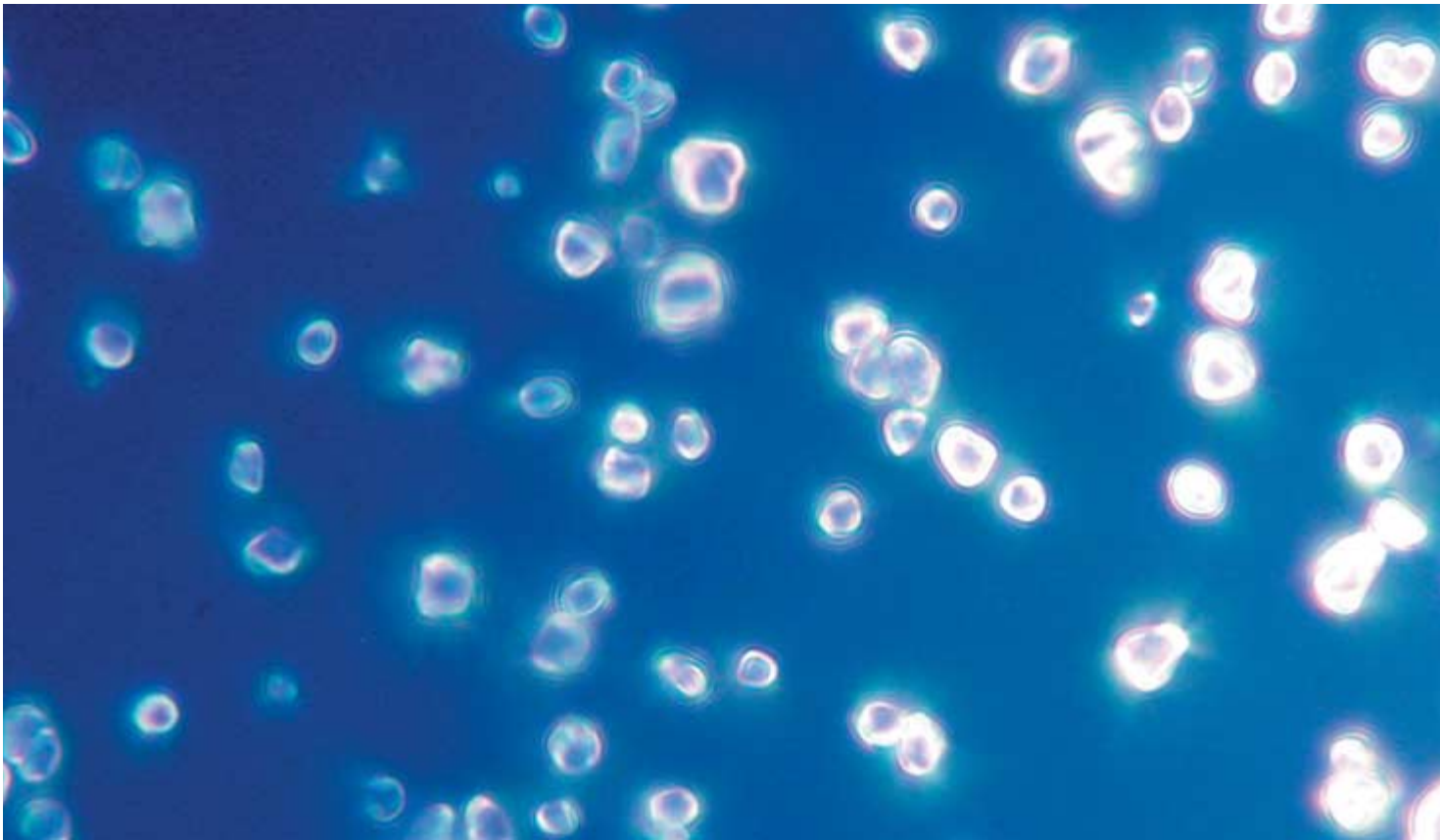
Wo sich bislang Mikroemulsionen und Liposome als problematisch und ungeeignet erweisen, hat das Darmstädter Unternehmen Aquanova in Kooperation mit Wissenschaftlern mit einem nanotechnologischen Ansatz eine innovative Lösung geschaffen. Die entwickelte Micelle – eine Trägerkapsel auf Nanoebene – weist eine bislang nicht erreichte „Größe“ von durchschnittlich nur 30 nm auf, einem Hundertstel der bisher möglichen Partikelgrößen. Zudem lässt sie sich ohne die bisher notwendigen Produktionsschritte und sehr stabil in Endprodukte einarbeiten, kann mit 40% mehr Roh-/Wirkstoffen beladen werden als ein Liposom und transportiert die Substanzen gleichzeitig fett- und wasserlöslich. Die in der Produkt-Micelle verpackten Wirkstoffe können deutlich besser, weil bis zu vierfach

höher und schneller, vom Körper aufgenommen werden. Die so erreichte höhere Bioverfügbarkeit lässt eine deutliche Senkung der Wirkstoffkonzentration und gleichzeitig der Menge an Zusätzen zu. Ebenso können gleiche Wirkstoffkonzentrationen eine deutlich bessere Wirkung entfalten. Diese Eigenschaften entlasten Mensch und Umwelt. Sie versprechen „kristallklare Lösungen“ – nicht nur in optischer Hinsicht.

Frank Behnam  
AQUANOVA  
German Solubilisate Technologies GmbH  
frank.behnam@aquanova.de

# Paradigmenwechsel

Nano-Carbon-Fullerene ermöglichen neue nanopartikuläre Systeme



Verteilung der Partikel in einer Suspension.

**Um die Palette nanopartikulärer Systeme für die Erzeugung einer neuen Generation von Nano-Materialien zu erweitern, hat die NanoCompound GmbH in Zusammenarbeit mit Steinbeis-Experten eine Technologie für die industrielle Herstellung von Nano-Carbon-Fullerenen (NCF) entwickelt. Die neuartigen Nanopartikel tragen das Markenzeichen FULLARON®.**

Ein wichtiger Trend bei der Verbesserung von Stoff- und Produkteigenschaften ist derzeit in der Optimierung der Feinstrukturen im Mikro- und vor allem im Nanobereich zu erkennen. Insbesondere bei Endproduktherstellern werden vielfältige und verstärkte Anstrengungen unternommen, um unterschiedlichste Nano-Materialien in die Feinstrukturen einzubauen. Vorrangiges Ziel ist dabei, Verbesserungen der mechanischen,

thermischen und chemischen Eigenschaften bereits auf dem Markt verfügbarer Produkte zu erreichen.

Dabei werden Produktvorteile angestrebt wie

- erhöhte Härte sowie Schlag-, Abrieb- und Kratzfestigkeit,
- verringerte Gleitkoeffizienten (COF),
- verbesserte Oberflächenbeschaffenheit und Antihafteffekte,
- erhöhte chemische und thermische Beständigkeit,
- beständigere Mattierung,
- antimikrobielle und Antifouling-Eigenschaften.

## **Blickpunkt nanopartikuläre Systeme**

Durch diese Markt- und Kundenanforderungen treten neue Generationen nanopartikulärer Systeme in den Blickpunkt industri-

eller Anwendungen. Dazu gehört vor allem die Klasse der Fullerene, einer besonderen Form von aus Kohlenstoff bestehenden Makromolekülen. Durch industrielle Verfahren der chemisch-dynamischen Nanotechnologie können nun nanopartikuläre Carbon-Fullerene (NCF) mit einem breiten Anwendungspotenzial wirtschaftlich hergestellt werden.

Interessant werden die NCF durch eine Reihe von außergewöhnlichen mechanischen, chemischen und optischen Eigenschaften. Der geometrische Aufbau der Kristalle zeigt neuartige Charakteristika: Die Zentralkristalle mit einer Größe von nur wenigen Nanometern bestehen aus einer kubischen Kohlenstoffstruktur (Diamant) und sind von einer Hülle aus Kohlenstoff-Atomen umgeben, die wiederum aus einer regelmäßigen

Anordnung von Fünf- und Sechsecken bestehen. Der Unterschied zu klassischen Fullerenen besteht darin, dass in dieser Hülle ein Diamant in Form eines Nanokristallites eingeordnet ist. Durch diese Kombination erreichen diese Nano-Materialien höchste Härte- und Wärmeleitwerte. Sie können nicht nur für die Nano-Bearbeitung von High-Tech-Werkstoffen (Lithographie-Optiken, Speichermedien, Halbleiter, etc.) verwendet werden, sondern auch, um Beschichtungen unterschiedlichster Art zu verbessern.

Die neue Elektronen-Struktur der NCF-Materialien ermöglicht auch, dass das Material unabhängig von seiner Kristallitgröße Licht einer bestimmten Wellenlänge aussenden kann.

Nanokristalle aus herkömmlichen Materialien dagegen zeigen in der Regel eine gravierende Änderung in der Wellenlänge des von ihnen ausgesandten Lichts, wenn ihr Durchmesser im Bereich von nur wenigen Nanometern liegt.

### Bahn frei für Innovationen

Diese verbesserten Materialeigenschaften lassen eine Reihe innovativer Produktanwendungen erwarten. Denkbar sind zum Beispiel Applikationen auf Gebieten der optischen Technologien, wie holographische Bilddarstellungen, optische Diffusionsflächen oder transparente Projektionssysteme, die Autofrontscheiben mit aufprojektierten, aber durchsichtigen Displays ermöglichen.

Die neuen Nano-Systeme können zukünftig auch als Speichermedien für Gase oder als Katalysator- und Wirkstoffträger für Chemie, Medizin und Pharmazie zum Einsatz kommen. Aber auch Produktanwendungen in Bereichen des UV- und Wärmeschutzes, hier zum Beispiel in Form von optisch transparenten Schutz- und Dämmflächen, sind ihrer Realisierung ein Stück näher gerückt.

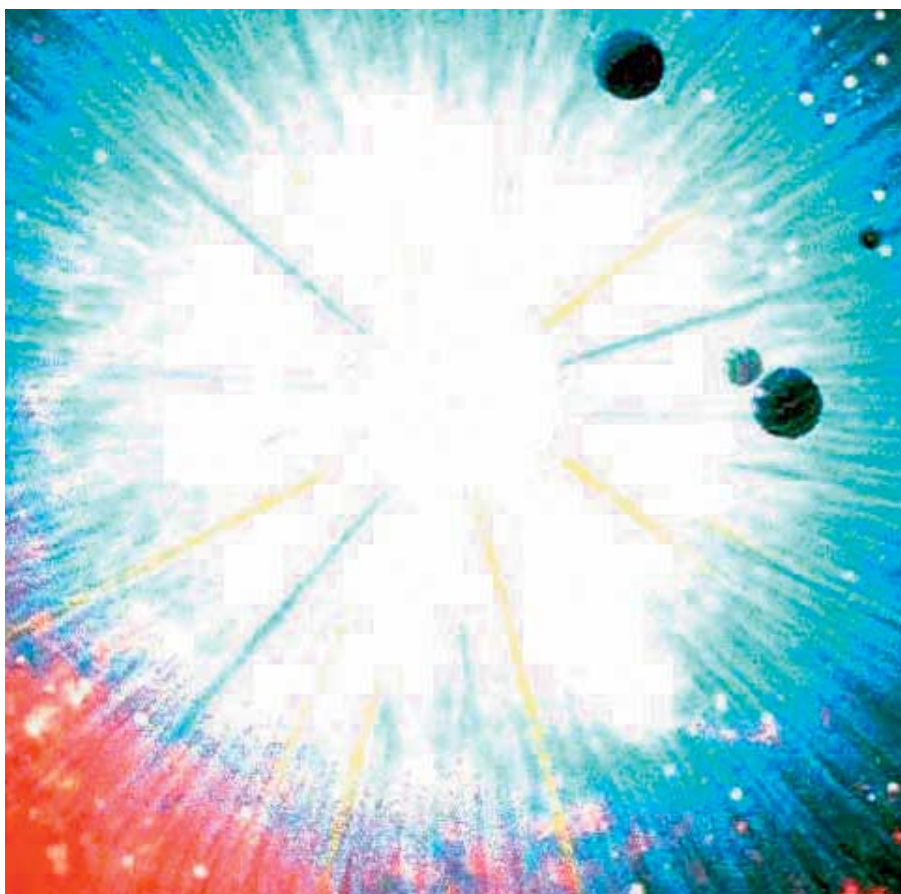
### Erfolgreiche Kooperation

Die erfolgreiche Zusammenarbeit in der Entwicklungsphase zwischen der NanoCom-

pound GmbH, dem Mannheimer Steinbeis-Zentrum für Technologiebewertung und Innovationsberatung und dem Steinbeis-Zentrum Innovative Werkstoffe in Geilenkirchen wird nach wie vor fortgesetzt: So unterstützt Mannheim bei betriebswirtschaftlichen Fragen und Geilenkirchen bei technischen Themen.

Dr. Christian Schönefeld  
Steinbeis-Transferzentrum Innovative  
Werkstoffe Technologien, Nano- und  
Biotec-Werkstoffe (IWT)  
Geilenkirchen  
stz508@stw.de

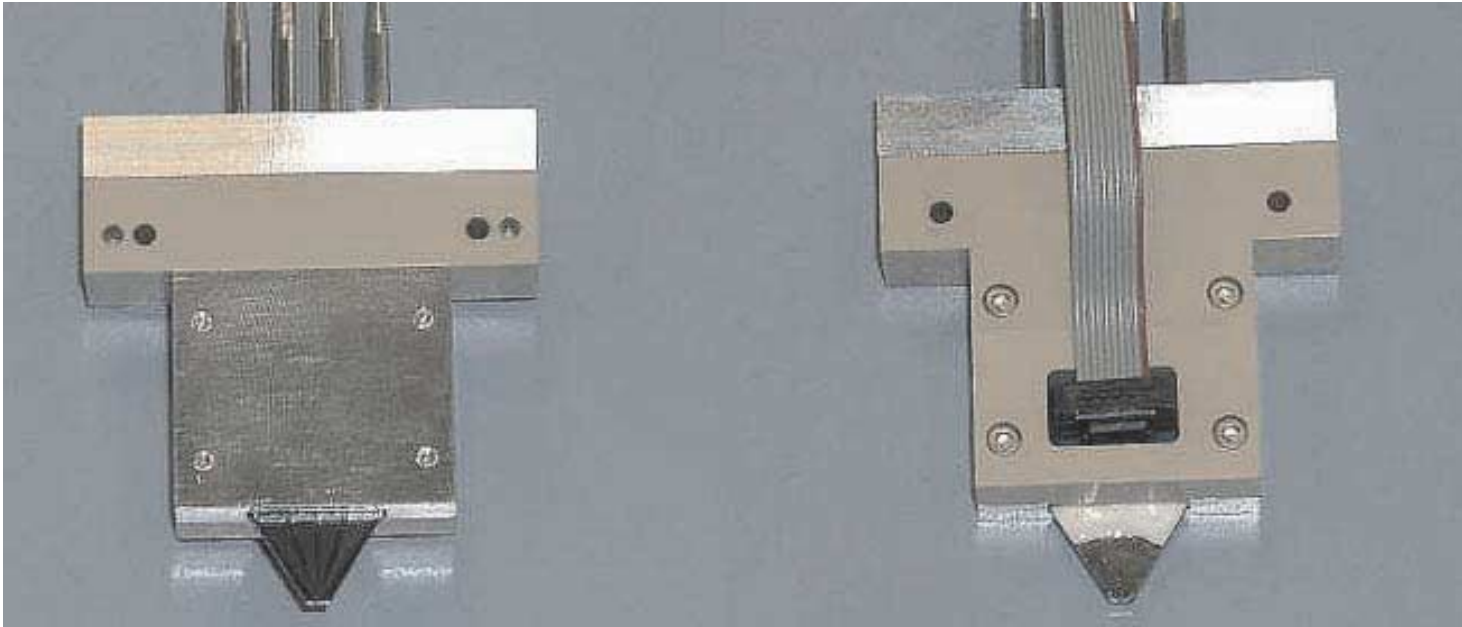
Prof. Udo Wupperfeld  
Steinbeis-Transferzentrum Technologie-  
bewertung und Innovationsberatung (TIB)  
Mannheim  
stz413@stw.de



Entstehung der Nanopartikel (kurzzeitphysikalische und chemische Reaktion).

# Microarrays–Mikrofluidik–Mikrosystemtechnik für die Biotechnologie

Erfolgsgeschichte eines Unternehmens



4-Kanal-Dosierkopf vorbereitet zum Einsatz am Nano-Plotter®.

**Produkt- und Systementwicklungen in der Mikrosystemtechnik bilden die Grundlage von Entwicklungen in der Biotechnologie. Fragestellungen aus diesem Bereich geben aber auch Anregungen für neue Produkt- oder Geschäftsideen in der Mikrotechnik. Dadurch entstehen Chancen, mit innovativen Ideen innerhalb der Wertschöpfung Nischen zu besetzen und erfolgreiche Unternehmen zu gründen.**

Neue Ideen, Engagement und das Gründungsprogramm Technologieorientierte Unternehmensausgründungen des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) bildeten die Basis, auf der sich 1995 sechs Naturwissenschaftler und Ingenieure aus dem Forschungszentrum Rossendorf in die Selbstständigkeit begaben. Heute beschäftigt das Unternehmen GeSiM mbH 14 Mitarbeiter, verfügt über einen eigenen Reinraum und tritt seit 1998 als Entwickler und Produzent von Produkten für die Biotechnologie weltweit auf. Unterstützt wird das Unternehmen von der Rotech GmbH,

einem Unternehmen mit Steinbeis-Beteiligung in Sachsen.

## Microarrays auf dem Biochip

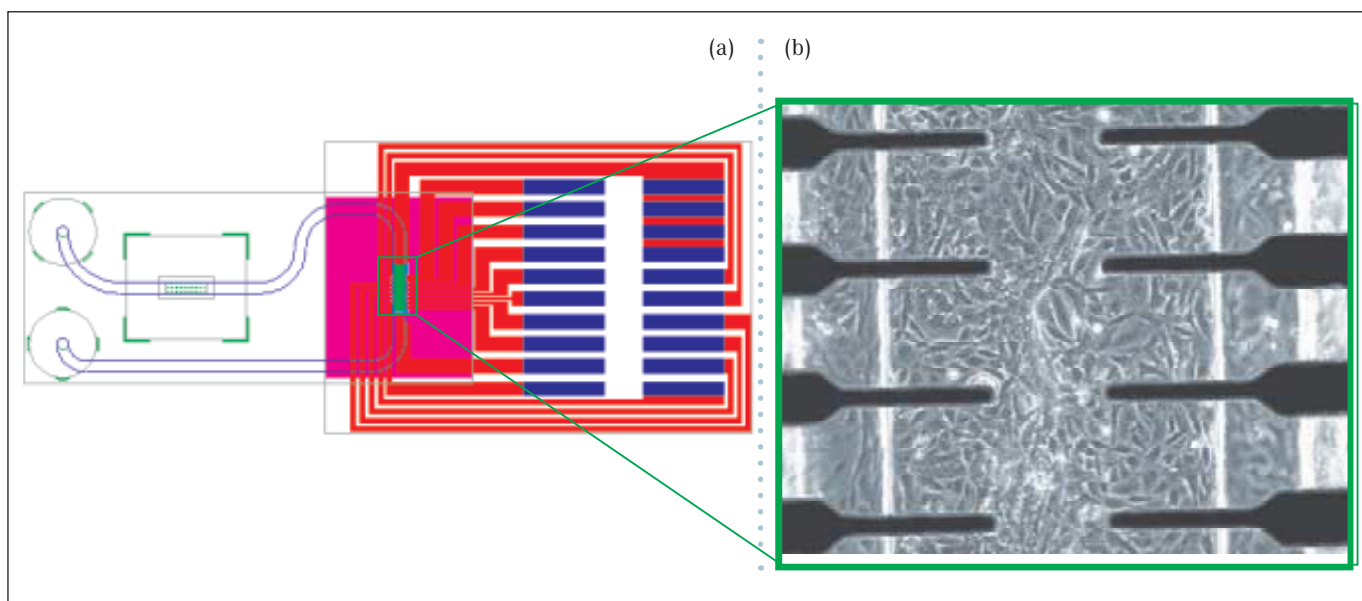
Der Durchbruch gelang mit der Entwicklung der piezoelektrisch angetriebenen Silizium-Glas Mikropipette, der Basis des Nano-Plotters. Die patentierten Fertigungstechnologien sind – wie bei der Herstellung von Computerchips – dazu geeignet, mikrofluidische Bauelemente auf dem Wafer-Level kostengünstig, funktionsintegriert und in kleinen bis sehr großen Stückzahlen herzustellen. Die Silizium-Glas Mikropipette ermöglicht es, Flüssigkeiten berührungslos zu dosieren. Einzeltropfen von 150 Pikolitern-Minimalvolumen und Tropfencluster von einigen Mikrolitern können reproduzierbar abgegeben werden. Die Palette dosierbarer Flüssigkeiten reicht von wässrigen Flüssigkeiten, Proteinen, Salzen, DNA, biologische Zellen, Polymer-Beads, suspendierten Nanopartikeln, organischen Lösungsmitteln bis hin zu schwachen Laugen und Säuren. Auch höherviskose Farben, Öle oder Klebstoffe lassen sich auf diese Weise präzise

und berührungslos dosieren, wenn sie eine kurzzeitige Erwärmung unmittelbar vor der Dosierung zulassen. Durch den Einsatz der Silizium-Technologie, insbesondere der Fotolithografie, und modernster Plasma-Ätztechniken lassen sich neben einkanaligen Mikropipetten auch komplexe Dosierköpfe herstellen. Die GeSiM Dosierköpfe haben bis zu zehn unabhängig angetriebene Dosierkanäle, Tropfen können damit hochpräzise auf die Oberfläche eines Biochips aufgeschossen werden.

Eine bereits verwirklichte Vision stellt ein mit Biochips bestücktes Förderband dar, das unter mehreren, in eine Plattform integrierte Dosierköpfe hindurchläuft, wodurch das parallele Micro-Arraying im Takt des Förderbandes möglich wird.

## Lebende Zellen unter dem Mikroskop

Durchflusszellen, die wahlweise aus Glas, Keramik, Silizium, Silikonkautschuk oder einer Kombination dieser Werkstoffe bestehen, werden für die Mikroskopie, in der chemischen Analytik oder für die Messung



Zell-basiertes Screening System a) Durchflusszelle mit angekoppeltem MEA-Zell-Chip,  
b) adhärenzte Herzmuskelzellen auf einem Glas-Platin-MEA-Chip der GeSiM.

von elektrischen, optischen oder chemischen Parametern von Flüssigkeiten benötigt. Sie finden ihre Hauptanwendung in der Zell- und Molekularbiologie. So kann die Wirkung pharmakologischer Wirkstoffe an vitalen-adhärenzten oder vitalen-suspensionierten Zellen z.B. mittels konfokaler Mikroskopie untersucht werden. Mit der Methode der Fluoreszenzkorrelationsspektroskopie können die Reaktionskinetik von zellulären Stoffwechselprozessen ermittelt oder Rezeptor-Ligand Bindungsexperimente durchgeführt werden.

Ein weiteres aktuelles Anwendungsgebiet des Systems ist der in der Entwicklung befindliche Optische Stretcher – ein optofluidisches Mikrosystem, bei dem präzise Lichtoptik auf Basis von Glasfasern von nur 80 µm Stärke und Mikrofluidik zusammenwirken. Höchste Anforderungen werden bei diesem System an die Materialien, als auch deren Verarbeitung gestellt, denn schon geringe Verunreinigungen oder Störungen im Material können zur Zerstörung führen. Forscher und Entwickler hoffen, mit diesem System über Zellen einer Biopsie Auskunft darüber zu erlangen, ob es sich um Krebszellen handelt. Ein physikalischer Parameter – die mechanische Elastizität des Zellskelettes – wird quantitativ bestimmt und liefert eine Aussage über den Zellzustand.

Durch Kombination der Systeme lassen sich weitere Technologieansätze ableiten: so z.B. zur Untersuchung des Einflusses einer dosierten Wirkstoffabgabe auf die Schlagfrequenz von Herzmuskelzellen oder auf die Aktionspotenziale von Neuronenzellen. Diese so genannten zellbasierten Assays werden auf „Mikro-Elektroden-Arrays“ (MEA-Chips) realisiert, wobei sich die adhärenzten Zellen auf den elektrischen Mikroelektroden befinden. Der Vorteil der Kombination der Systeme besteht darin, dass sich durch die integrierte Mikrodurchflusszelle wichtige Lebensbedin-

gungen für die Zellen wie Temperatur, Wirkstoff- und Nährstoffkonzentration relativ einfach und präzise regeln lassen.

Nutzung und weiterer Ausbau der Kerntechnologien werden auch zukünftig die Basis zur Entwicklung neuartiger Geräte für die Biotechnologie bei GeSiM sein.

Steffen Howitz  
GeSiM mbH  
howitz@gesim.de

**Microarrays** ist eine Sammelbezeichnung für moderne molekularbiologische Untersuchungssysteme, die die parallele Analyse von mehreren tausend Einzelnachweisen in einer geringen Menge biologischen Probenmaterials erlauben. Es gibt verschiedene Formen von Microarrays, die auch als „Genchips“ oder „Biochips“ bezeichnet werden.

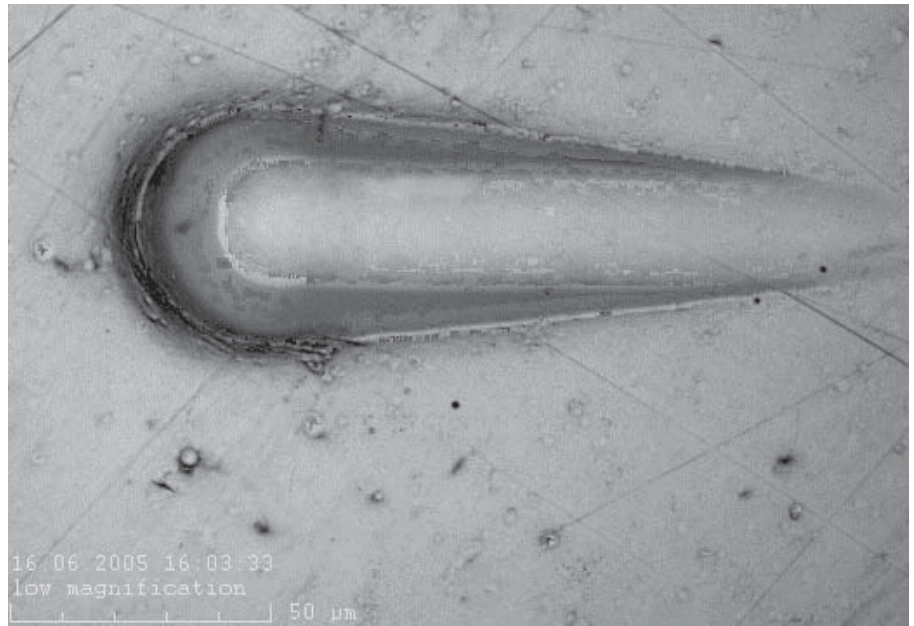
DNA-Microarrays finden Anwendung in der Genomanalyse, der Diagnostik und bei Untersuchungen in der differentiellen Genexpression. Microarrays dienen dazu, die RNA-Menge bestimmter Gene nachzuweisen. Das Protein-Microarray enthält ebenso wie ein DNA-Microarray eine Vielzahl von Testfeldern auf engstem Raum. Allerdings werden beim Protein-Microarray in jedem Testfeld – auch Spot genannt – kleine Protein-Mengen auf dem Trägermaterial fixiert.

# Was dünne Schichten leisten können

## Mechanische Charakterisierung von Schichten und Oberflächen

Dünne Schichten mit Dicken von wenigen Mikrometern oder nanoskalige Schichten und Schichtverbunde von nur einigen zehn bis einigen 100 Nanometern gewinnen immer stärker an Bedeutung, wenn es darum geht, gezielt Oberflächen von Produkten oder Bauteilen zu beeinflussen. Auf Brillengläsern, medizintechnischen Geräten oder Glas und Keramik finden sie ebenso Anwendung wie auf Thermofenstern oder elektronischen Bauteilen. Insbesondere neuartige mechanische Schutzschichten ermöglichen es, Bauteile zu optimieren und neue Anwendungsgebiete zu erschließen. Das Aufbringen der Schichten mit den gewünschten Eigenschaften ist nur dann möglich, wenn Verfahren zum Einsatz kommen, die eine schnelle und präzise Kontrolle der technologischen Eigenschaften der Schichten ermöglichen.

An die Oberfläche eines Produktes oder Bauteiles werden vielfältige Anforderungen hinsichtlich ihrer Eigenschaften gestellt, die der kompakte Grundwerkstoff oft nicht aufweist. Diese Anforderungen können der Schutz vor Korrosion, Verschleiß oder Oxidation sein oder in der Aufgabe bestehen, bestimmte optische, elektrische und magnetische Funktionen zu übernehmen. Mit Hilfe moderner Beschichtungsverfahren können Beschichtungen mit Dicken von wenigen Mikrometern oder einigen Nanometern aufgebracht und damit herausragende Eigenschaften erzielt werden. Sie finden Anwendung in der Motoren-, Uhren-, Elektronik- oder Computerindustrie ebenso wie in der Verkehrstechnik oder der Lebensmittelverpackungsindustrie. Zusätzlich zu den gewünschten primären Eigenschaften (optisch, elektrisch etc.) der Schichten sind immer auch die mechanischen Eigenschaften zu betrachten.



Ritztest mit einer Diamantkugel

Durch die Weiterentwicklung von Verfahren zur Herstellung multifunktionaler Schutzschichten und nanoskaliger Schichtverbunde hat die Zahl der Anwendungen mechanischer Schutzschichten für Bauteile ständig zugenommen. Die Bestimmung der mechanischen Parameter solcher Schichten ist für ihre Optimierung unerlässlich.

Die vom Steinbeis-Kompetenzzentrum Rossendorf betreute Firma ASMEC Advanced Surface Mechanics GmbH hat ein Gerät zur anwendungsnahen mechanischen Charakterisierung von Schichten und Oberflächen entwickelt. Im Unterschied zu bisher verfügbaren Geräten wie Nanoindentern, Scratchtestern und Tribometern arbeitet der Universelle Nanomechanische Tester UNAT mit zwei senkrecht zueinander angeordneten Messköpfen die völlig unabhängig voneinander und mit annähernd der gleichen Kraft- und Wegauflösung arbeiten. Das Rauschen des Messsignals liegt bei maximalen Verschiebungen von  $\pm 100 \mu\text{m}$  im Bereich von (1-2) nm und bei maximalen Kräften von  $\pm 2 \text{ N}$  bei (5-10)  $\mu\text{N}$ . Trotzdem kann eine sehr hohe Steifigkeit des Messsystems

in die jeweils andere Richtung gewährleistet werden. Diese hohe Auflösung erlaubt es, so genannte Kraft-Verschiebungskurven beim Eindringen von Diamantkörpern in die Oberfläche dünner Schichten zu messen.

Daraus werden die für eine zuverlässige mechanische Bewertung und Optimierung der dünnen Schichten wichtigen Parameter wie Elastizitätsmodul oder Fließgrenze abgeleitet. Das Gerät ermöglicht auch Aussagen zur Optimierung von Schichtsystemen im Reibkontakt z.B. bei Anwesenheit von Ölen oder anderen Schmierfilmen. Weiche Polymerschichten können ebenso sicher charakterisiert werden, wie ultraharte mechanische Schutzschichten. Auch Schichten mit nur wenigen Nanometern Dicke sind noch messbar, wobei es physikalisch bedingt Grenzen für die Ermittlung der einzelnen Parameter gibt.

Dr.-Ing. Holker Schott  
Steinbeis-Kompetenzzentrum  
Neue Technologien am Forschungsstandort  
Rossendorf  
stz949@stw.de

# Kontrolle des Unsichtbaren

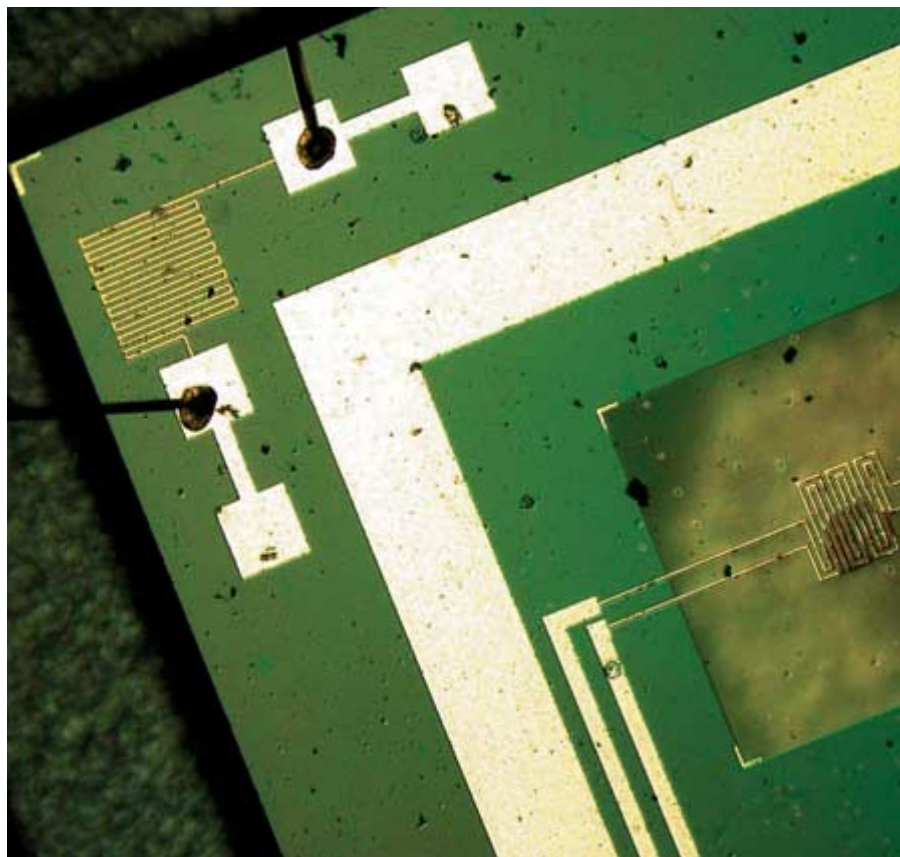
Miniaturisierte Gassensoren gewinnen immer mehr an Bedeutung

Man kann sie weder sehen, noch fassen und häufig auch nicht riechen, und doch sind sie allgegenwärtig in Wohnhäusern, Labors, Produktionsanlagen und -hallen oder in Verkehrstunnels: Gase. Wenn es darum geht, Industrieanlagen effizient zu betreiben, Heizungsanlagen sicher, die Luftqualität unserer Wohnumwelt besser oder Autos umweltfreundlicher zu machen, ist die Kontrolle vorhandener Gase unerlässlich. Dabei führt an Gassensoren kein Weg vorbei.

Mexiko, 22. April 1992: 215 Menschenleben fordert eine verheerende Gasexplosion. Ausgelöst wurde die Katastrophe durch einen Funkenschlag bei Bauarbeiten im Keller eines Hauses. Nahezu ein ganzer Stadtteil Guadalupe wurde förmlich in die Luft gesprengt.

Obwohl die Gasversorgung in Deutschland sehr sicher ist, sorgen immer wieder Gasexplosionen für Schlagzeilen, werden Gebäude zerstört und kommen Menschen zu Schaden. Als eine der ersten Fragen stellt sich immer: Wie hätte die Katastrophe verhindert werden können? Eine der möglichen Antworten lautet: Durch den Einsatz intelligenter, miniaturisierter Gassensoren.

Gassensoren werden in vielen Bereichen des täglichen Lebens und in der industriellen Anwendungstechnik eingesetzt. Sie messen präzise Autoabgase, spüren toxische und explosive Gase auf, erkennen diese und melden es, wenn kritische Konzentrationen überschritten werden, die eine Gefahr für Mensch und Umwelt darstellen. Dabei müssen die Sensoren nicht nur sicher und exakt messen, sondern sollten auch möglichst wartungsfrei sein und eine lange Lebensdauer und geringe Kosten aufweisen. Anforderungen, die durch die Miniaturisierung von Gassensoren erfüllt werden können. Die technologische Basis für diese hochwer-



Wärmeleitfähigkeitssensor  $\mu$ -WLD

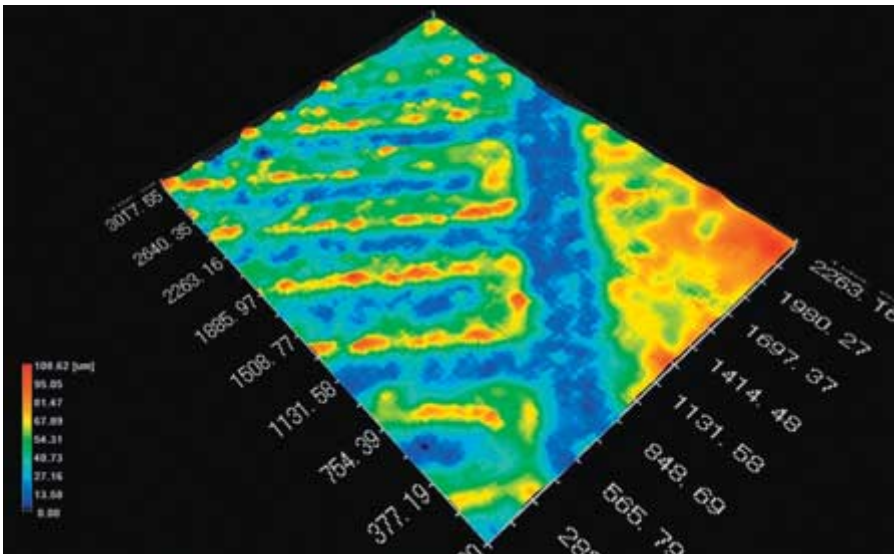
tigen Gassensoren gründet sich ausschließlich auf physikalische Prinzipien, wie die Infrarot-Absorption, UV-Fotometrie und die Wärmeleitfähigkeit. In Verbindung mit der erforderlichen Auswertelektronik lassen sich miniaturisierte Bauformen realisieren, die gegenüber bereits existierenden Produkten deutliche Vorteile aufweisen.

## Wenn Sensoren Erdgas aufspüren

Beispiel dafür ist ein miniaturisierter Gassensor zur Überwachung von Gasleckagen in Gebäuden. Oberhalb einer Konzentration von 4,4 % Erdgas in der Umgebungsluft kann durch einen ungewollten Zündfunken eine verheerende Gasexplosion ausgelöst werden. Um dies zu verhindern, installiert man Gassensoren im Gebäude, die vor dem austretenden Gas warnen. Einfache Halbleitersensoren sind für diese Anwendung

nur bedingt geeignet, da sie aufgrund von Alterungseffekten periodisch ausgetauscht werden müssen. Infrarot-Gassensoren sind hinsichtlich der erforderlichen Langzeitstabilität wesentlich besser für diese Aufgabe geeignet, wurden aber aus Kostengründen bisher nicht eingesetzt.

Das von Experten unter Leitung von Prof. Gerhard Wiegleb vom Steinbeis-Forschungszentrum Mikrosystemtechnik am Institut für Mikrosensorik in Dortmund verfolgte Konzept ermöglicht erstmalig, diese Technologie auch für diesen Anwendungsbereich zu nutzen. Der verwendete Erdgas-sensor besteht aus einer langzeitstabilen Infrarot-Strahlungsquelle, deren Strahlung durch einen Hohlspiegel auf einen Infrarot-Detektor gelenkt wird. Befindet sich auf dieser optischen Wegstrecke ein infrarot-



3-D Sensorstruktur aus Daten einer Mikroskopaufnahme.

aktives Gas, wird ein Teil der Strahlung absorbiert, so dass die Signalspannung am Detektor abnimmt. Zur Trennung zwischen den einzelnen Gaskomponenten wird ein zusätzlicher optischer Filter in den Strahlengang integriert. Querempfindlichkeiten insbesondere zu Wasserdampf/Luftfeuchtigkeit werden dadurch komplett eliminiert.

Durchgeführte Langzeituntersuchungen zeigen, dass diese Sensoren bei einer Lebensdauer von zehn Jahren bisher üblichen Halbleitersensoren deutlich überlegen sind. Die Auswerteelektronik ist hochgenau und stellt sicher, dass ein Alarm rechtzeitig vor Überschreiten der Explosionsgrenze ausgelöst wird und damit Maßnahmen, wie die Absperrung der Gaszufuhr ins Haus, eingeleitet werden können. Um die Sicherheit weiter zu steigern, ist vorgesehen, die Vorwarnung bei möglichst geringen Gaskonzentrationen auszulösen.

Dieses Projekt wurde in Kooperation mit der Firma PerkinElmer Optoelectronics GmbH in Wiesbaden und der smartGAS Mikrosensorik GmbH in Dortmund durchgeführt. Solche Produkte sind nicht nur technisch anspruchsvoll, sondern besitzen ein hohes Marktpotenzial.

Es wird erwartet, dass die Versicherungen ihren Druck zum Einbau von Gaswarnanla-

gen erhöhen. Allein in Europa sind 35 Mio. Haushalte marktrelevant für diese Produkte – ein Massenmarkt.

#### Gassensoren im OP und für die Umwelt

Wenn eine Operation ansteht, ist bei vielen Patienten die Angst vor der Narkose größer als vor dem eigentlichen Eingriff – Übelkeit, Atembeschwerden und Schwindel sind nicht selten unangenehme Nebenwirkungen. Das Edelgas Xenon, dessen anästhetische Wirkung seit langer Zeit bekannt ist, stellt eine patientenfreundliche und umweltschonende Alternative dar.

Als Narkosemittel eingesetzt, hat es gegenüber herkömmlichen, anerkannten Anästhetika den Vorteil, dass die Patienten schneller narkotisiert werden und ohne Übelkeit und Schwindelbeschwerden aufwachen. Aber auch hier ist eine präzise Gaskontrolle zur Sicherheit der Patienten erforderlich. Wiegleb und seine Mitarbeiter haben in Kooperation mit einem Unternehmen der Medizintechnik einen Gassensor zur Überwachung von Xenon-Gas in der Anästhesie entwickelt, der eine Ansprechzeit von weniger als 500 msec aufweist. Der hochleistungsfähige Wärmeleitfähigkeitssensor  $\mu$ -WLD zur Messung von Edelgasen und Wasserstoff basiert auf der Siliziummikromechnik.

Durch einen Messwiderstand, der sich auf einer dünnen Silizium-Nitrid-Membrane be-

findet, fließt ein geringer Brückenstrom, der den Widerstand und somit auch die Membrane aufheizt. Befindet sich in der Umgebung ein Gas mit einer geringen Wärmeleitfähigkeit (z.B. Xenon), so heizt sich die Membrane im Vergleich zu einem umgebenden Gas mit einer guten Wärmeleitfähigkeit (Helium oder Wasserstoff) stärker auf. Diese Temperaturänderung ist dann ein Maß für die Gaskonzentration in binären Gasgemischen und kann sehr einfach über die Änderung des Widerstands ermittelt werden.

Die gleiche Technologie lässt sich zur Erfassung von Quecksilberdämpfen im Spurenbereich in der Umgebungsluft einsetzen. Der Messwiderstand besteht in diesem Fall aus einer dünnen Goldschicht, die mit dem in der Umgebungsluft vorhandenen Quecksilber eine Amalgam-Verbindung eingeht. Da das Amalgam allerdings einen größeren elektrischen Widerstand hat, kann mit dieser Information auf die Quecksilberkonzentration geschlossen werden. Auch hierbei bietet die Miniaturisierung wesentliche Leistungsvorteile.

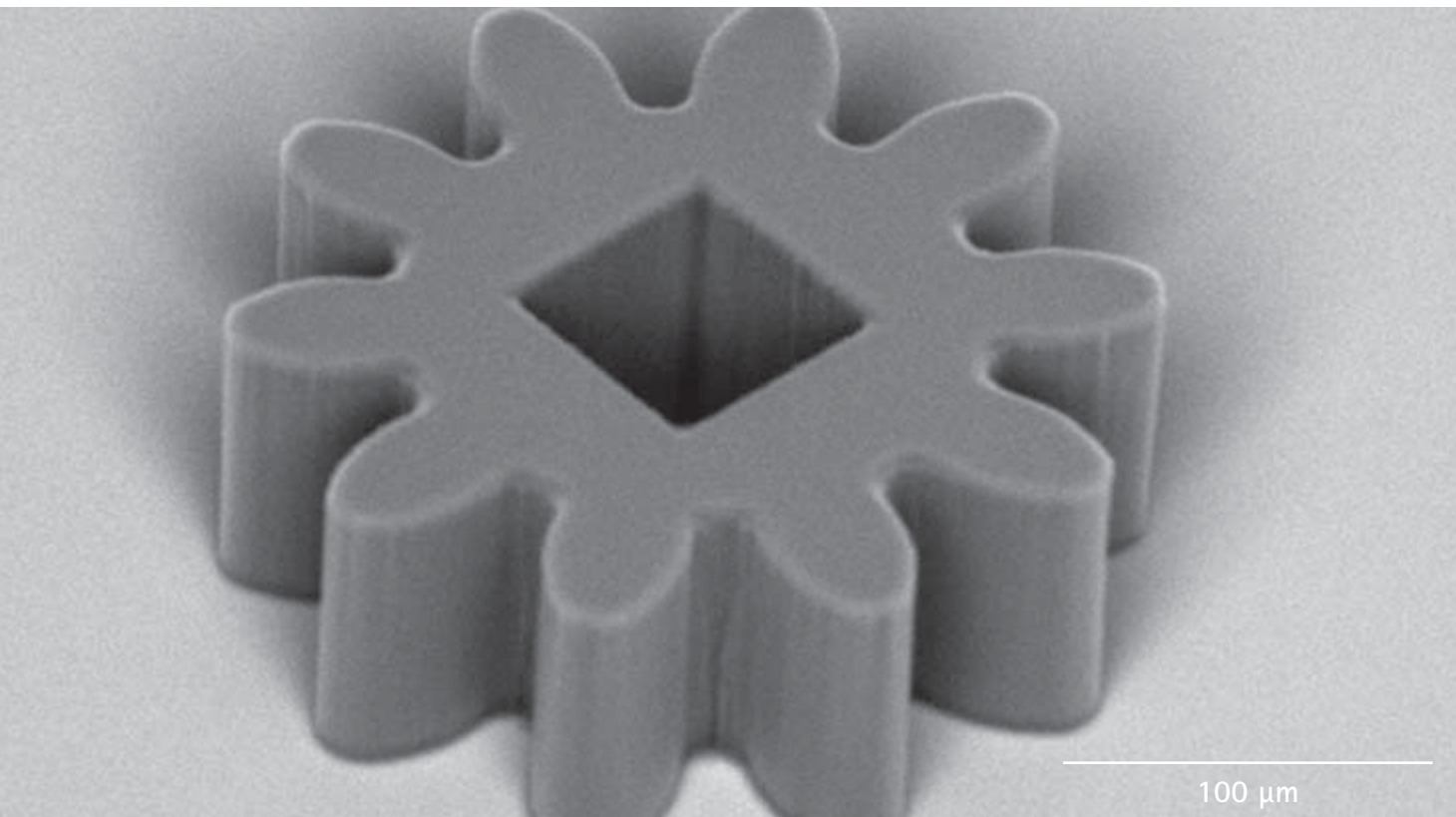
#### Qualitätssicherung von Sensoren

Zur Sicherung von Präzision, Zuverlässigkeit und Lebensdauer müssen Gassensoren geprüft werden. Die Steinbeis-Experten in Dortmund verfügen über langjährige Erfahrung und das entsprechende Equipment. Neben den gasspezifischen Kennlinien spielen auch die Änderungen der Umgebungseinflüsse wie Druck, Temperatur und Feuchtigkeit eine außerordentlich wichtige Rolle. Dazu werden die Sensorelemente über längere Zeit entsprechenden Wechselzyklen unterworfen und der Einfluss auf die Messeigenschaften untersucht. In diesem Zusammenhang sind natürlich auch Langzeituntersuchungen von großer Bedeutung, die sich zum Teil über viele Jahre erstrecken.

Prof. Dr. Gerhard Wiegleb  
Steinbeis-Forschungszentrum  
Mikrosystemtechnik  
Dortmund  
stz956@stw.de

# In Form gebracht

Miniaturbauteile aus Metall und Keramik



Mikrozahnrad

**Der Trend zu „kleiner, schneller, leistungsfähiger“ ist in vielen High-Tech Industriebereichen ungebrochen. Dabei wachsen nicht nur die Anforderungen an Qualität, Lebensdauer, Energie-, Gewicht- und Werkstoffeinsparungen. Zunehmende Komplexität von Bauteilen und Verbesserungen der Bauteilfunktion bei gleichzeitig steigendem Kostendruck erfordern eine intelligente Antwort auf diese Herausforderungen. Pulverspritzgießen heißt das noch junge Verfahren, dem diese Anforderungen weltweit zu einem verstärkten Einsatz verhelfen dürften und das dem Nano-Pulver neue Perspektiven eröffnet.**

In der Mikrotechnik werden gegenwärtig überwiegend bewährte Fertigungsverfahren wie Ätzen von Silizium oder Spritzgießen von Kunststoffen angewendet. In bestimmten

Einsatzgebieten stoßen diese Materialien jedoch an ihre Grenzen. Gute mechanische oder tribologische Eigenschaften, thermische oder chemische Beständigkeit erfordern ebenso wie z.B. spezifische elektrische oder optische Eigenschaften keramischer oder metallischer Werkstoffe. Allerdings sind diese Werkstoffe in geometrisch komplexen miniaturisierten Bauteilen mit hohen Stückzahlen schwierig zu verarbeiten. Dies gelingt durch die Kombination zweier bewährter Verarbeitungstechnologien.

## Powder Injection Moulding – PIM

Powder Injection Moulding (Pulverspritzgießen) ist ein innovatives Herstellungsverfahren zur Serienfertigung komplex geformter Bauteile aus metallischen oder keramischen Werkstoffen. PIM vereint dabei die Formgebungsfreiheit des Kunststoffspritzgießens mit der Materialvielfalt der Pulvertechnologie.

Die PIM-Technologie ist daher ein ideales Fertigungsverfahren zur Herstellung von

- komplexen, funktionalen Bauteilen
- in großen Stückzahlen
- mit hohen Werkstoffanforderungen.

Für Unternehmen stellt das PIM-Verfahren eine attraktive Hochtechnologie dar, um den drohenden Verlust von Marktanteilen an Billiglohnländern auszugleichen. Da PIM besonders gute Chancen für Produktinnovationen bietet, können vor allem auch Klein- und Mittelbetriebe sowie Start-ups mit dieser neuen Technologie die eigene Marktposition sichern und ausweiten. Potentielle Märkte für dieses Massenfertigungsverfahren zeichnen sich in vielen Bereichen der Feinwerk- und Mikrotechnik, der Medizin- und Informationstechnik oder der Chemie ab. „Mit dem PIM-Verfahren wird der Zulieferindustrie ein für KMU besonders geeignetes,



Schlüsselanhänger

modernes und leistungsfähiges Produktionsverfahren zugänglich gemacht, das deren Wettbewerbsfähigkeit und Technologieintensität nachhaltig steigert", so Dr. Rudolf Zauner, Projektleiter PIM bei der ARC Seibersdorf research GmbH.

Die Einsatzgebiete des Powder Injection Moulding sind vielseitig:

- Automobilzulieferindustrie
- Schmuck und Uhren
- Medizin- und Dentaltechnik
- Konsumgüter
- Luft- und Raumfahrt
- Elektronik und Elektrotechnik
- Werkzeuge
- Mikrosystemtechnik und Sensorik

Das PIM-Verfahren ist eine Weiterentwicklung des Kunststoffspritzgusses, bei dem an Stelle des fließfähigen polymeren Ausgangsmaterials der so genannte „feedstock“ verarbeitet wird. Dieser wird bei der feedstock Compoundierung als homogene Mischung von etwa 60 % Metall- oder Keramikpulver und einem Bindersystem (z.B. auf Wachsbasis) in Form eines Granulates hergestellt. Im Spritzguss wird mit einer konventionellen

Spritzgussmaschine und dem entsprechenden Formwerkzeug der Grünling hergestellt, der durch die Entbinderung (thermisch und/oder chemisch bzw. katalytisch) zum Braunling wird.

Durch eine Wärmebehandlung (Sintern) wird aus diesem dann das dichte Formteil, das trotz erheblicher Schrumpfung Toleranzen von 0,3 % und darunter erreicht. Die gesamte dargestellte Prozesskette ist bei der ARC Seibersdorf research GmbH etabliert und wird ergänzt durch die Herstellung von subµm- und nanoskaligen Pulvern, Rapid Tooling und Qualitätskontrolle (z.B. Risserkennung mittels Thermographie).

Die zukünftige Entwicklungstätigkeit bei der ARC Seibersdorf research GmbH ist fokussiert auf Mikro-PIM-Bauteile für den großen Zukunftsmarkt Mikrosystemtechnik, in dem für Kleinteile im Millimeterbereich und darunter auch Nanopulver benötigt werden, auf neue Werkstoffe wie Titan und biokompatible Materialien für High-Tech-Produkte (z.B. Implantate) sowie auf neue kostengünstige Werkzeugkonzepte (z.B. Rapid Tooling), um das Verfahren auch für geringere Stückzahlen tauglich zu machen.

Dr. Rudolf Zauner  
ARC Seibersdorf research GmbH  
rudolf.zauner@arcs.ac.at

**Die ARC Seibersdorf research GmbH** fördert durch Erarbeitung und Bereitstellung von Wissen, Entwicklungen und Forschungsergebnissen die Interaktion und den Austausch zwischen Forschung und Wirtschaft.

Mit über 600 Mitarbeitern ist sie die größte Tochter der ARC Gruppe. Ihre Standorte in Seibersdorf, Wien, Linz, Innsbruck, Graz und Wiener Neustadt erbringen Leistungen in folgenden Bereichen: Biogenetics – Natural Resources, Health Physics, Informationstechnologien, Intelligente Infrastrukturen und Weltraumanwendungen, Life Sciences, Materials Research, Medizintechnik, Nano-Systemtechnologien.

Damit bietet die ARC Seibersdorf research GmbH Möglichkeiten der Kooperation und Nutzung von Synergien mit dem Steinbeis-Verbund.

# Alles eine Frage der Technik

## Modulare Mikrosystemtechnik im Maschinen- und Anlagenbau

**Der Maschinen- und Anlagenbau ist mit einem Umsatz von rund 130 Milliarden Euro, von dem 67% auf den Export entfallen, ein wichtiger Zweig der deutschen Volkswirtschaft, der fast 900.000 Mitarbeiter beschäftigt. Die Entwicklung der Mikrosystemtechnik bietet neues Miniaturisierungs- und Integrationspotenzial für mechatronische Baugruppen.**

Im Automobilbau, dem Maschinen- und Anlagenbau und der Automatisierungstechnik konzentrieren sich Unternehmen zunehmend auf die Kernbereiche Systemdesign, Marketing und Kundenbetreuung. Die Entwicklung der Systemkomponenten wird an leistungsfähige Zulieferer abgegeben.

Im Maschinen- und Anlagenbau ist die Entwicklung der Antriebstechnik-Komponenten von vier Trends gekennzeichnet:

- der Verbesserung der Genauigkeits- und Dynamikparameter,
- der Erleichterung der Systemintegrierbarkeit,
- der Verringerung der elektrischen Leistungsaufnahme und
- der Steuerung/Regelung der Maschinen/Anlagen als verteilte Automatisierungssysteme.

Um die Genauigkeits- und Geschwindigkeitsanforderungen zu erfüllen, finden immer häufiger geregelte Systeme Anwendung. Dadurch steigt bei zentralen und hierarchisch aufgebauten Steuerungen der Verdrahtungs-, Programmier- und Wartungsaufwand überproportional an. Die Geschwindigkeit der Datenübertragung muss immer weiter erhöht werden, das schwächt die Störsicherheit. Durch dezentrale, unabhängige Mess-, Steuer- und Regelungssysteme, deren Komponenten vernetzt sind,



Peripheriemodul mit einer Kantenlänge von 17,5 mm (FhG IZM, Berlin).

werden die steigenden Anforderungen an die Maschinen und Anlagen dagegen mit vermindertem Verdrahtungs-, Programmier- und Wartungsaufwand erfüllt.

Maschinen- und Anlagenhersteller profitieren von Komponenten, die im Sinne des „plug and work“ einfach zu integrieren sind. Die Komponenten werden bei der Zentralsteuerung angemeldet und erforderliche Parameter übermittelt, das reduziert den Programmier- und Inbetriebnahmeaufwand deutlich. Mikrotechnik kommt ins Spiel, um die funktionellen Anforderungen zu erfüllen: die extreme Miniaturisierung von Automatisierungskomponenten ist nur durch mikrotechnische Lösungen realisierbar.

Der Maschinen- und Anlagenbau ist durch mittelständische Strukturen geprägt. Zwar herrscht ein enormer Kosten- und Innovationsdruck auf die Antriebstechnik in diesem Bereich, die geringen Stückzahlen machen aufwändige Entwicklungen aber häufig unfinanzierbar. Erschwerend kommt hinzu, dass standardisierte Verfahren bei der Verschie-

denartigkeit der Unternehmen in diesem Sektor kaum angewendet werden können. Hier bietet die Modularisierung der mikroelektronisch-mechanischen Systeme (MEMS) auf der Basis eines Baukastenstandards eine Lösung des Kosten- und Stückzahlproblems: Die Struktur der modularen Bausteine im Baukasten ist einheitlich festgelegt. Die Schnittstellen ermöglichen die flexible Kombination verschiedener Bausteine zu Mikrosystemen und beschreiben die Voraussetzungen, die bei der Entwicklung neuer Bausteine für das Baukastensystem beachtet werden müssen.

Die modulare Mikrosystemtechnik nach diesem Baukastensystem trägt zur wirtschaftlichen Realisierung der geforderten intelligenten Antriebssysteme bei, der Baukasten ist daneben aber auch ein leistungsfähiges Entwicklungs- und Rapid-Prototyping-Werkzeug. Das System kann für alle Elemente eines Antriebssystems (Antriebselement, Messeinrichtung, Regler, Stellglied, Übertragungselement) eingesetzt werden.

Integrierte netzwerkfähige Antriebssysteme weisen eine allgemeingültige modulare Struktur auf. Die allgemeine Struktur wurde in dem von Steinbeis-Forschern in Ilmenau koordinierten Projekt IMODAS (Integration modular aufgebauter Antriebssysteme in Maschinen und Anlagen auf der Basis des MST-Baukastens) des Bundesministeriums für Bildung und Forschung in ein baukastenbasiertes System umgesetzt. Als Beispiele wurden ein Prozessregelventil mit servopneumatischem Positioner und ein servopneumatischer Integrationszylinder entwickelt. Die Experten aus Ilmenau arbeiten nun an der Weiterentwicklung und breiten Einführung des Systems mit.

Dr.-Ing. Veit Zöppig  
Steinbeis-Forschungszentrum  
Mechatronik  
Ilmenau  
stz144@stw.de

# Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile

Eroberung der Nanowelt durch Synergien

Neun Kompetenznetze bundesweit sichern das hohe Niveau Deutschlands in der Nanotechnologie, einer der wichtigsten Schlüsseltechnologien der Zukunft. Unterstützt werden sie dabei durch die Geschäftsstelle kompetenznetze.de in der VDI Technologiezentrum GmbH über den Onlinebereich hinaus bei der Suche nach geeigneten Kooperationspartnern und bei der Kontakthanbahnung. Mit einigen europäischen Ländern wurden bereits Partnerschaften aufgebaut. Zusammen mit der französischen Regionalentwicklungsagentur DATAR wird beispielsweise die Zusammenarbeit von Ländern und Regionen unterstützt. 2005 steht außerdem die Vernetzung mit japanischen Forschungselustern und polnischen Partnern im Fokus.



Neuartige mehrlagige fluoreszierende Nanopartikel

Die Nanotechnologie liefert in zunehmendem Maße Beiträge zur Herstellung forschungs- und entwicklungsintensiver Güter in den unterschiedlichsten Wirtschaftsbereichen. In nahezu allen High-Tech-Branchen wird ein Innovationsschub erwartet, sei es die Informations- und Kommunikationstechnologie, die Automobil-, Energie- und Produktionstechnik, die chemisch-pharmazeutische Industrie oder die Medizintechnik und Biotechnologie. Neun Kompetenznetze sorgen dafür, dass das hohe Niveau deutscher Nanotechnologie in allen standortrelevanten Bereichen weiter ausgebaut wird.

Ziel der infrastrukturellen Tätigkeit der Kompetenznetze ist es, eine optimale Zusammenführung potenzieller Anwender und Nanotechnik-Forscher zu ermöglichen. Dabei soll nanotechnologisches Fachwissen der Mitglieder zur Beschleunigung von Innovationsprozessen effizient gebündelt und in der industriellen Entwicklung umgesetzt werden. Weitere Aufgabe der Kompetenznetze sind insbesondere Aktivitäten zu Aus-

und Weiterbildung, Mitarbeit bei Fragen zur Standardisierung und Normung, Beratung und auch Unterstützung Gründungswilliger sowie Öffentlichkeitsarbeit. Die einzelnen Kompetenznetze sind entlang thematischer Wertschöpfungsketten in ihrem jeweiligen Bereich strukturiert.

kompetenznetze.de ist eine Initiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) und präsentiert Kompetenznetze mit Ausstrahlung und Anziehungskraft, hohem Innovationspotenzial und hoher Wertschöpfung auf einer eigens hierfür entwickelten Internetplattform. Der Standort Deutschland ist in den zukunftsfähigsten Innovationsfeldern bestens aufgestellt. Insgesamt präsentieren sich bei kompetenznetze.de über 120 nach strengen Kriterien ausgewählte Kompetenznetze in 18 Innovationsfeldern. kompetenznetze.de versteht sich als „Club der Besten“. Der Beurteilung, wer dazu gehört, werden anspruchsvolle Erfolgskriterien zugrunde gelegt: Innovationsfähigkeit, wirtschaftliche Dynamik, Fähigkeit zur flexiblen

und kontinuierlichen Zusammenarbeit von Partnern aus Wissenschaft, Wirtschaft, Bildung und (Finanz-)Dienstleistung sowie internationale Reputation. Die Netze bewerben sich um Aufnahme, ein begutachtender Beirat spricht Empfehlungen zur Aufnahme aus. kompetenznetze.de konnte sich rasch etablieren und wird als Qualitätssiegel anerkannt.



EINE INITIATIVE VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

Geschäftsstelle kompetenznetze.de  
VDI Technologiezentrum GmbH  
info@kompetenznetze.de

**Kompetenzzentrum HanseNanoTec**  
[www.hansenanotec.de](http://www.hansenanotec.de)



**Innovationshighlight aus dem Kompetenznetz:**  
**Fluoreszierende Nanopartikel für den Produkt- und Markenschutz**  
 Nanosolutions GmbH, Hamburg

Neueste Schätzungen der WTO gehen davon aus, dass der Anteil von gefälschten Waren am Welthandel ca. 13% beträgt und stetig wächst. Nanosolutions, ein Hamburger Unternehmen, produziert und entwickelt auf der Basis von Nanotechnologie Sicherheitspigmente für Ink-Jet-Anwendungen für den Produkt- und Markenschutz. Unter Tageslicht sind diese Pigmente farblos. Sie fluoreszieren erst unter Beleuchtung mit UV-Licht und das Druckbild wird erkennbar.



Beispiel einer designunabhängigen Markierung.  
 © Nanosolutions GmbH, Hamburg

**Kompetenzzentrum Nanoanalytik**  
[www.cc-nanoanalytik.de](http://www.cc-nanoanalytik.de)



**Innovationshighlight aus dem Kompetenznetz:**  
**BELSORP-mini, ein neues Oberflächen- und Porositätsmessgerät**  
 Rubotherm Präzisionsmesstechnik GmbH

Das Sorptionsmessgerät BELSORP-mini kann spezifische Oberflächen von  $> 0.01 \text{ m}^2/\text{g}$  und Porengrößenverteilungen im Bereich 0.35 bis 200 nm von Feststoffen analysieren. Neu an dem verwendeten statisch-volumetrischen Verfahren ist die patentierte Totvolumenmessung, die eine bisher nicht erreichte Messgenauigkeit ermöglicht. Die üblicherweise

verwendete, aber problematische Konstanthaltung des Flüssig-Stickstoff-Niveaus wird hierdurch überflüssig. Das Gerät erlaubt die simultane Analyse von bis zu drei Proben.



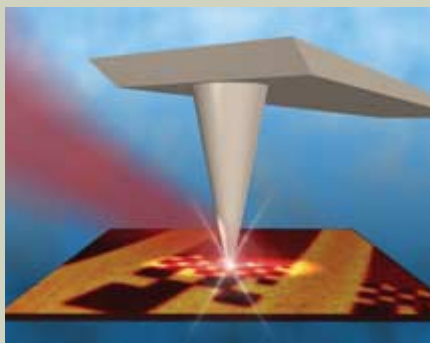
BELSORP-mini.  
 © Rubotherm Präzisionsmesstechnik GmbH

**Excellence Network**  
**NanoBioTechnology ENNaB**  
[www.ennab.de](http://www.ennab.de)



**Innovationshighlight aus dem Kompetenznetz:**  
**Oberflächen Phonon-Photonik**

Die Nano-Photonics Group hat eine neue infrarot-optische Untersuchungsmethode entwickelt, die auf Kristallgitter-Schwingungen (Phononen) beruht. In Verbindung mit einem Rasterkraftmikroskop wird mit Infrarotlicht ein optisches Nahfeld erzeugt, das das zu analysierende Kristallgitter lokal zu Schwingungen anregt. Die dabei auftretenden Phonon-Photon-Wechselwirkungen ermöglichen die Abbildung von Strukturen im Bereich von wenigen zehn Nanometern.



**CC-NanoBioTech – Kompetenzzentrum**  
**Nanobiotechnologie**  
[www.cc-nanobiotech.de](http://www.cc-nanobiotech.de)



**Innovationshighlight aus dem Kompetenznetz:**  
**Nanokomposite für mikro- und nanostrukturierte Oberflächen**

Durch die Verwendung hoch-feststoffhaltiger, aber niedrigviskoser Nanokomposite gelingt es, auf Glas, Metall und Kunststoff (Folien) mit Hilfe eines kontinuierlichen Walzenprägeprozesses Strukturen für Hologramme, Mottenaugen und Datenträger zu erzeugen. Die Dimension der geprägten Strukturen variiert zwischen 20 nm und 30  $\mu\text{m}$ . Eine nach dem Prägeprozess erfolgende UV-Härtung ermöglicht bei der Strukturierung beschichteter Folien Prozessgeschwindigkeiten von bis zu 20 m/min. Die Beschichtungsmaterialien werden in den Bereichen flexible Datenträger, Resists zur Siliziumstrukturierung und zur Erzeugung von Mottenaugen-Antireflexbeschichtungen eingesetzt.



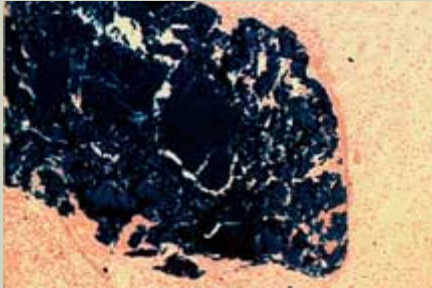
**CC-NanoChem –**  
**Kompetenzzentrum Nanotechnologie**  
[www.cc-nanochem.de](http://www.cc-nanochem.de)



**Innovationshighlight aus dem Kompetenznetz:**  
**Weltweit erste Nano-Krebstherapie**

Die klinische Erprobung am Menschen hat in Berlin die ersten Beweise erbracht: Magnetische Nanopartikel, die selektiv in Krebszellen eindringen und diese erwärmen, können Krebsgeschwülste

ohne Operation und Nebenwirkungen vollständig zum Verschwinden bringen. Die Entwicklung wird von Dr. Andreas Jordan (Magforce/Charité) und dem Leibniz-Institut für Neue Materialien (INM) vorangetrieben.



*NanoMat –  
Netzwerk Nanomaterialien*  
[www.nanomat.de](http://www.nanomat.de)



**Innovationshighlight aus dem Kompetenznetz:**  
Neuartige mehrlagige fluoreszierende Nanopartikel

Komposite aus drei Bestandteilen besitzen Fluoreszenzeigenschaften mit breitem Anwendungspotenzial: Das oxidische Nanoteilchen als Kern wird von einer Monolage eines organischen Farbstoffs umhüllt, die wiederum von der schützenden Polymerschicht umgeben ist. Auf diese Weise kann die Emissionsfarbe durch eine große Auswahl an Lumiphoren, also Substanzen, die nach Anregung Licht ausstrahlen, in weitem Spektrum variiert werden.

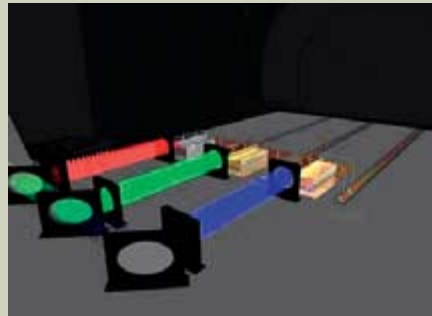


*Kompetenzzentrum NanOp*  
[www.nanop.de](http://www.nanop.de)



**Innovationshighlight aus dem Kompetenznetz:**  
Heimkino mit Halbleiter-Laser-TV

Nanotechnologie ermöglicht die Produktion grüner und blauer Halbleiter-Laser, welche zusammen mit roten Lasern Bilder projizieren können – und das bei verbesserter Qualität und geringeren Kosten. Ein Laser-TV könnte nicht nur scharfe Bilder auf einer gekrümmten Oberfläche, sondern auch alle Farben des Regenbogens farbgetreu projizieren. Statt eines klobigen TV-Sets würde ein kleiner Kasten unter der Decke ausreichen. Gegenüber Bildröhren wäre der Energieverbrauch um ein zehnfaches geringer.



Rot, grün und blau emittierender Halbleiter in einem Laser-TV.

*CC UPOB – Kompetenzzentrum Ultrapräzise  
Oberflächenbearbeitung e.V.*  
[www.upob.de](http://www.upob.de)



**Innovationshighlight aus dem Kompetenznetz:**  
Ultrapräzise Asphärenschleifmaschine

Ultrapräzise Asphären sind eine Schlüsselkomponente fortgeschrittener Optik. Es werden beispielsweise Asphären mit bis zu 400 mm Durchmesser für immer leistungsfähigere lithographische Systeme in der Halbleiterindustrie benötigt. Im CC UPOB wurde eine ultraprazise Schleifmaschine zur schnellen, hochgenauen Fertigung von großen asphärischen Flächen entwickelt.



*Nanotechnologie-Kompetenzzentrum „Ultra-  
dünne funktionale Schichten“*  
[www.nanotechnology.de](http://www.nanotechnology.de)



**nanotechnology**

CC "Ultrathin functional films"

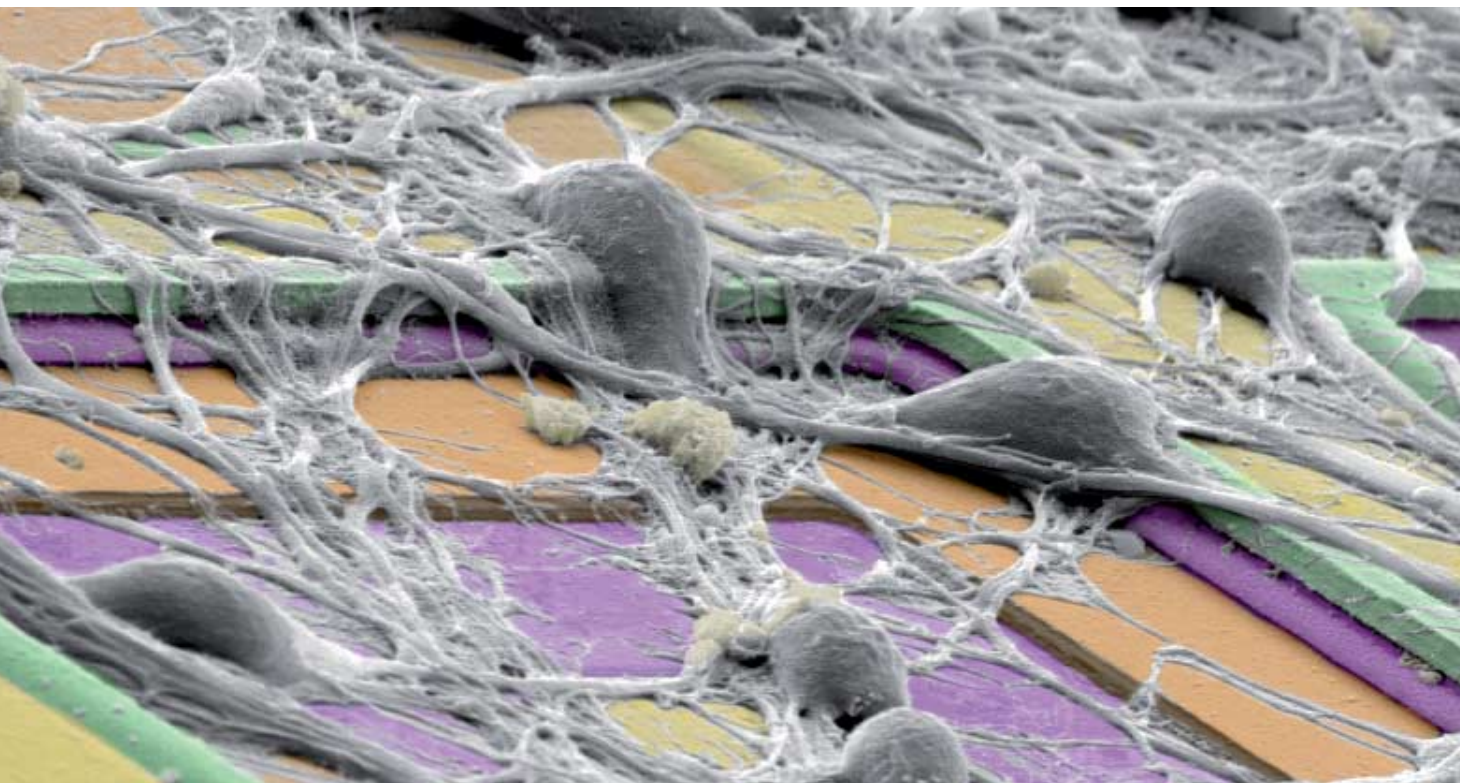
**Innovationshighlight aus dem Kompetenznetz:**  
Unsichtbare Spiegelungen vermessen

Um die Leistung von Mikrochips weiter zu steigern, wird die Strahlung in der Photolithographie immer härter. Doch im extremen Ultraviolett lassen sich herkömmliche Optiken nicht mehr einsetzen. Spezialspiegel für diesen Bereich vermisst das erste EUV-Reflektometer Europas, welches im Auftrag der Carl Zeiss SMT AG Oberkochen durch das Fraunhofer IWS Dresden und vier weitere Partner entwickelt wurde.



# Kleine Welt mit großem Potenzial

Hybridsysteme aus Mecklenburg-Vorpommern eröffnen neue Perspektiven in der Biosystemtechnik



Ein Feldeffekt-Transistor auf dem Neuro-Sensorchip zeigt Mausnervenzellen. Foto: Universität Rostock

**Die Urlaubsregion Mecklenburg-Vorpommern bietet weit mehr als Sonne, Strand und Ostsee: Forschungsinstitute und Unternehmen entwickeln hier seit fünf Jahren gemeinsam im Innovationsnetzwerk Biosystemtechnik interdisziplinär innovative Anwendungen für Medizin, Elektrotechnik, Biologie und Biophysik. Das Ergebnis sind z. B. Zell- und DNA-Chips, die neue Potenziale vom Medikamenten-Screening bis zur Echtzeit-Überwachung von Bioprozessen eröffnen.**

Die Produkte und Verfahren, die im Innovationsnetzwerk Biosystemtechnik entwickelt und verfeinert werden, reagieren auf die aktuellen Trends zu Automatisierung und Miniaturisierung. Dadurch können Prozesslaufzeiten verringert, die Funktionalitäten (z.B. integrierte Datenauswertung) erhöht und somit insgesamt Kosten gesenkt werden.

„Die Voraussetzungen vor Ort sind sehr gut,“ betont Frank Graage vom Steinbeis-Transferzentrum Technologiemanagement Nordost, der Koordinator des Netzwerks, „man findet hier exzellente Wissenschaftler an den traditionsreichen Standorten Greifswald und Rostock mit ihren Stärken in der Elektrotechnik, Medizintechnik, Zell- und Molekularbiologie. Auch die Forschungsinfrastruktur liegt großteils über dem Bundesdurchschnitt.“ Im Innovationsnetzwerk arbeiten Forschungsinstitute mit etwa einem Dutzend Unternehmen zusammen, die überwiegend in Rostock und Greifswald angesiedelt sind. Im Verbund werden von der Grundlagenforschung bis hin zur Produktentwicklung nahezu alle Bereiche des Forschungs- und Entwicklungsprozesses abgedeckt.

Rund 70 hoch qualifizierte Arbeitsplätze werden dadurch geschaffen oder erhalten. Auch für den wissenschaftlichen Nach-

wuchs wird gesorgt: Die Rostocker Universität bietet seit 1998 die Biosystemtechnik als Vertiefungsfach des Studiengangs Biologie an und bereitet einen Masterstudiengang vor, so verfestigt sich die interdisziplinäre Orientierung gleich im Studium. Seit Mitte 2000 werden diese Aktivitäten als Landesforschungsschwerpunkt gefördert. Das Steinbeis-Transferzentrum Technologiemanagement Nordost wurde als Netzwerkkordinator verpflichtet.

Das Projektmanagement ist vielfältig und reicht von administrativen Aufgaben der Budgetverwaltung bis hin zu Marketing und Vertriebsunterstützung. Dabei geht es vor allem darum, in einem Verbund aus wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Partnern die oft konträren Ziele und Ideen anzugleichen. Ein wichtiger Punkt ist auch die Verwertung der Ergebnisse. Hier unterstützt das Transferzentrum mit der Erstellung von Mar-

**Biosystemtechnik** ist die Kombination von biologischen und elektronischen Systemen. Die Vorteile der optimierten Systeme der Biologie (Mikroorganismen, Gewebe, Zellen, Enzyme, Makromoleküle) und der Chipsysteme (Mikroelektronik, Mikrofluidik, Informationstechnik) werden hier zusammengeführt. Solche so genannten Hybridsysteme haben den Vorteil, dass die verwendeten biologischen Systeme oftmals selbstgenerierend, selbstregulierend und selbstreparierend sind, weil sie hochkomplex, aber durch die Evolution optimiert sind. Beispiele für interdisziplinäre Arbeitsfelder der Biosystemtechnik sind:

- Optische bzw. elektrische DNA- oder Protein-Chips mit der magnetischen „Bead“-basierten Technologie
- Biosensoren, z. B. bestehend aus Hormonrezeptoren oder Antikörpern auf Silizium-Chips
- Zellchip-Sensoren, z. B. neuronale Netzwerke kultiviert auf Halbleiter-Sensoren
- Zellbeschichtetes Implantatmaterial

Zelluläre Sensorsysteme, die zur Signalaufnahme und -verarbeitung lebende Zellen nutzen, eignen sich besonders gut für komplexe Messaufgaben. Die Zelle wird dabei selbst zum Bestandteil des Mess- und Sensorsystems und gibt Auskunft über auf sie einwirkende Schadstoffe oder elektromagnetische Felder sowie über die Bioverträglichkeit von technischen Materialien. Da viele Erkrankungen z.B. des Gehirns auf einer Veränderung der Nervenzellkommunikation beruhen, ist ein solches Zellchipsystem für die klinische und pharmazeutische Forschung von großem Interesse.

kettingkonzepten, nicht-wissenschaftlicher Pressearbeit, Marken- und Marktrecherche.

Inhaltlich haben sich zwei Schwerpunkte herausgebildet, die im Netzwerk voneinander profitieren. An der Universität Rostock werden in Kooperation mit dem hochschulnahen Institut für Zelltechnologie IZT e. V. und der Firma Bionas GmbH Zellsensorik-Konzepte in der Silizium-Chip-Technologie realisiert. Ein weiterer Schwerpunkt des Biosystemtechnik-Netzwerkes liegt auf dem molekularen Gebiet. An der Ernst-Moritz-Arndt Universität Greifswald werden in Zusammenarbeit mit den Firmen eBiochipSystems und der Henkel KGaA schnell auslesbare elektronische mRNA- und Protein-Array-Sensoren entwickelt.

### Nervenzellen im Dialog

Das neuartige In-Vitro-Screeningsystem, das Rostocker Forscher im Verbund mit Industriepartnern entwickeln, vereinfacht die Wirkungsanalyse von Nervenmedikamenten. In diesem System, NeuroSensorix® genannt, werden auf einem Siliziumchip mit 60 hochempfindlichen Sensoren Mäuse-Nervenzellen angesiedelt. Diese bilden nach einiger Zeit neuronale Netzwerke, die miteinander kommunizieren. Die Elektronik zur Mess-

datenaufnahme ist in den Chip integriert und somit online am Bildschirm ablesbar. Die Nervenzellen-Netzwerke zeigen typische Aktivitätsmuster im Ruhezustand sowie als Reaktion auf Reizungen. So zeigt sich die Wirkung der getesteten Substanzen sofort am veränderten Kommunikationsverhalten. Die Nervenzell-Sensorchips sollen zukünftig die Substanztests für die Neuro-Pharmakaentwicklung wesentlich vereinfachen.

„NeuroSensorix® kann Tierversuche in der Pharmaentwicklung ersetzen“, erklärt Professor Dieter G. Weiss, Sprecher des Netz-

werkes und Zellbiologe an der Universität Rostock, „außerdem sind Ergebnisse schnell verfügbar und äußerst exakt.“ Das Ziel von Weiss und seinen Kollegen ist es, ein komplettes System zu entwickeln und anzubieten: kundenfreundlich zu bedienen von der Substanzeinspeisung bis zur Datenauswertung. Sie wiederum ist das Kerngeschäft des Mathematikers Dr. Olaf Schröder. Mit seiner Firma Pattern Expert aus Borsdorf bei Leipzig entwickelt er als Partner im Verbund spezielle Mustererkennungssoftware, um die komplexen Daten der Zellchips richtig interpretieren zu können.

Schon heute bietet NeuroSensorix® konkrete Einsatzmöglichkeiten: Begleitend zu klinischen Enzephalopathie-Studien können Substanztests durchgeführt werden, die Wirkung von Neuropharmaka kann präzise charakterisiert werden, Routinemessungen von Antiepileptika-Standardsubstanzen sind möglich.

### Maßgeschneiderte Bioprozess-Chips

Ein ganz anderer Biosensor wird am Institut für Mikrobiologie und am Institut für Pharmazie der Universität Greifswald entwickelt. Gentechnisch verändert, produzieren Bakterien mehr als 50% aller Waschmittelenzyme. Aber auch pharmazeutische Proteine und technische Enzyme werden in großen Bioreaktoren mit Bakterien-Stämmen her-



gestellt. Die biotechnologische Industrie ist sehr daran interessiert, derartige Bioprozesse kontinuierlich zu optimieren und vor allem, effizient zu überwachen. Die Greifswalder Arbeitsgemeinschaft um Professor Thomas Schweder und Professor Michael Hecker entwickelt dafür hochempfindliche Biosensoren, so genannte Bioprozess-Chips aus elektrischen DNA- oder Protein-Chips, die mit einer nur kurzen Zeitverzögerung ausgewertet werden können und deshalb schnellere Auskunft über den Zustand der Mikroorganismen in einem Bioreaktor geben. Mit den bisherigen Analysemethoden verstreicht meist ein ganzer Tag, bis eine Zellprobe ausgewertet ist. Weltweit suchen Forscher mit großem Einsatz nach solchen Verfahren, die prozessrelevante Informationen parallel zur biochemischen Reaktion aufzeichnen können.

Die verwendeten elektrischen Chips sind fingernagelgroße Plättchen aus Gold und Silizium, auf die Moleküle (DNA oder Proteine) von Bakterienstämmen aufgetragen werden. Sie bilden ein genetisches Testfeld, mit dessen Hilfe Abweichungen im Aktivitätsmuster der Zellen aufgespürt werden können. Das Molekül-Muster des Chips und die RNA bzw. Proteine aus Zellproben reagieren miteinander. Die jeweils komplementären Abschnitte verbinden sich zu einem stimmigen molekularen Puzzle. Nur dort, wo Abweichungen vorliegen, weil bestimmte Gene neu an- oder abgeschaltet werden, stimmt das Puzzle nicht mehr überein: Hier sorgen Signalchemikalien für eine Markierung. Genetische Auffälligkeiten werden auf diese Weise sichtbar gemacht. Sie können Aufschluss geben, ob eine Bakterienpopulation noch Enzyme produziert oder durch Eingriffe in den Fermentationsprozess bestimmte Parameter wie Temperatur, Nährstoffzufuhr oder pH-Wert verändert werden müssen.

Maßgeschneiderte diagnostische DNA- aber auch Protein-Chips werden in Zukunft in der Mehrzahl technischer Bioprozesse Einsatz finden. Dadurch eröffnet sich nicht nur auf dem Gebiet der Weißen Biotechnologie ein



Dr. Ralf Ehret, Geschäftsführer der Bionas GmbH, am 6-fach Testsystem „Bionas 2500“

viel versprechender Markt. Diese Chips können auch für die Kontrolle von Vorkulturen, für die Überwachung von Fermentationsprozessen oder für die Qualitätskontrolle eingesetzt werden. Neben der Überwachung von Bioprozessen sind weitere Anwendungen der diagnostischen DNA- bzw. Protein-Chips wie z.B. in der Lebensmitteltechnologie, aber auch in der medizinischen Analytik denkbar.

### Eine gemeinsame Sprache finden

Erfolgreich ist das Innovationsnetzwerk immer dann, wenn die interdisziplinäre Zusammenarbeit so früh wie möglich begonnen wird. Um effektiv innovative Produkte entwickeln zu können, müssen die Wünsche und Anforderungen potenzieller Kunden in einem sehr frühen Stadium einbezogen werden. „Das klingt sehr nach Allgemeinplatz, in der täglichen Arbeit des Forschungsmanagements aber geht es tatsächlich oft darum, dass die Partner Vorurteile überwinden und eine gemeinsame Sprache finden“, fasst Frank Graage seine Erfahrungen zusammen. Für die Zukunft gibt es schon konkrete Pläne. In neuen Allianzen werden Projekte initiiert, um den Standort Biosystemtechnik Mecklenburg-Vorpommern weiter auszubauen und zu stabilisieren. Ein wich-

tiges Thema ist dabei die Vermarktung der bisher entwickelten Produkte und Dienstleistungen der Zellchip- und DNA-Chip Systeme.

Frank Graage  
Steinbeis-Transferzentrum  
Technologie-Management Nordost  
Rostock  
stz754@stw.de

# Maßgeschneiderte Materialien

Die Nanometerskala bringt Gesetze zum Wanken

„Das Wissen bedeutet gar nichts, die Vorstellungskraft hingegen alles“ (A. F. Thibault, Franz. Schriftsteller)

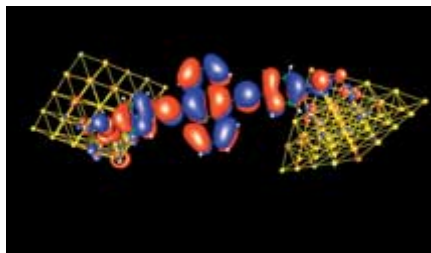
**Wie kaum ein anderes Gebiet wird die Nanotechnologie von den Vorstellungen und Visionen der Wissenschaftler vorangetrieben, auf molekularer oder atomarer Ebene die Materie gezielt zu beherrschen. Gleichzeitig sind diese Visionen treibende Kraft, Wissensdefizite auszugleichen und strukturelle Zusammenhänge theoretisch und experimentell aufzuklären.**

Ist es denkbar, in zukünftigen Speicherchips die Informationen in einzelnen Molekülen zu speichern oder perfekte Linsen mit Nanostrukturen zu konstruieren? An der Antwort auf diese und andere Fragen arbeiten Forscher an den Schnittstellen von Chemie und Biologie mit modernen Strukturierungstechniken der Halbleiterindustrie, der mesoskopischen Physik und der Materialphysik gemeinsam. Sie verbindet die Nanometerskala.

NanoMat nennt sich die bundesweite Plattform, die interdisziplinäre Forschung und Transfer von Forschungsergebnissen für Werkstoffe mit neuen, funktionellen Eigenschaften ermöglicht.

Funktionelle Nanostrukturen in Herstellung, Eigenschaften und Funktionsweise zu erforschen und so eine fundierte Grundlage für zukünftige Anwendungen zu schaffen sowie bestehende Anwendungen weiterzuentwickeln, ist das Ziel des regionalen Netzes „Funktionelle Nanostrukturen BW“, das die NanoMat-Partner in Baden-Württemberg bündelt. Es wurde 2002 durch Forschungspartner aus Universitäten des Landes Baden-Württemberg, der Max-Planck-Gesellschaft und eines Helmholtz-Forschungszentrums ins Leben gerufen und finanziell vom Land unterstützt. Im Mittelpunkt stehen dabei beispielsweise Projekte wie die Untersuchungen zum Elektronentransport in nanoskaligen Systemen, der für anwendungsrelevante elektronische oder magnetische Effekte entscheidend ist.

Eine Reihe von Fragestellungen, die weit in die Zukunft reichen, beschäftigen die Forscher. So zum Beispiel, ob organische Moleküle Ladungen transportieren können und es somit Alternativen zu Silizium gibt.



Elektronentransport durch nanoskalige Systeme.

Die Geschwindigkeit von Computern verdoppelt sich alle 18 Monate, diese Aussage ist als Moores Gesetz bekannt. Bislang hat es sich stets als zutreffende Aussage behauptet, allerdings braucht es schon in naher Zukunft Lösungen für, auf physikalischen Gesetzen beruhende, Stolpersteine, die das Gesetz zum Wanken bringen könnten.

Klar ist schon heute, dass bestimmte organische Moleküle Funktionen, die bislang von Silizium erfüllt werden, übernehmen können. Unklar ist allerdings, ob die damit verbundenen technischen Probleme beherrschbar sind, ob Lebensdauer und Zuverlässigkeit realisierbar und der Preis konkurrenzfähig sein werden. Organische Moleküle sind interessant, da sie viele verschiedene Funktionen wie beispielsweise die von ultrakleinen Dioden oder nicht-flüchtigen Speicherbausteinen übernehmen könnten. Außerdem ließen sich unter Verwendung dieser Moleküle die Speichereinheiten in wenigen Prozessschritten herstellen und somit die Produktionskosten senken.

Forscherteams des Netzwerks arbeiten daher daran, den Stromtransport durch einzelne Moleküle durch Untersuchungen an Beispielsystemen besser zu verstehen. Moleküle,

die aus mehreren Benzolringen zusammengesetzt sind, dienen als solche Systeme. Ein Elektron, das sich durch das Molekül bewegt, muss darin gewissermaßen von Ring zu Ring hüpfen. Diese „springenden Moleküle“ simulieren somit ein komplexes molekulares System, in dem der Strom von einem Molekül zum nächsten fließt.

Wichtige Fragen der Untersuchung sind: Welche Rolle spielt die Wärmeentwicklung durch den elektrischen Strom? Wann brennt ein Molekül durch? Wie ist das Molekül zu gestalten, um die Wärme besser abzuführen? Um sie beantworten zu können, nutzen die Forscher die Möglichkeiten der Nanotechnologie: Hochpräzise, steuerbare Goldelektroden von wenigen Zehntel Nanometern, deren Abstand sich präziser als 1/10 Angström einstellen lässt, werden nach einem speziellen Verfahren hergestellt und dienen der Kontaktierung der einzelnen Moleküle. So lässt sich der Stromfluss durch einzelne Moleküle genau messen.

Innovationen bei nanostrukturierten Materialien und Schichten entstehen durch wachsende Erkenntnisse über die Bedeutung struktureller Abmessungen und die gezielte Einstellung dieser Abmessungen. Oft betreten Forscher und Anwender dabei Neuland. Die Überwindung von Grenzen innerhalb von Fachdisziplinen und Institutionen kann dabei ein Schlüssel zum Erfolg sein.

## **Funktionelle Nanostrukturen BW**

Gründung: 13.06.2002

Partner: Universität Karlsruhe  
Forschungszentrum Karlsruhe  
Universität Konstanz  
Max-Planck-Institut für Festkörperforschung, Stuttgart  
Universität Stuttgart  
Universität Ulm

Geschäftsstelle: Karlsruhe  
Sprecher: Prof. Dr. Thomas Schimmel

## Bachelor of Science in Physician Assistance an der SHB

Die Steinbeis-Hochschule Berlin (SHB) bietet ab November 2005 einen berufsbegleitenden Studiengang für Arzt-assistenten in der operativen Medizin an. Der Physician Assistant übernimmt eigenständige, aber ärztlich überwachte Assistenz Tätigkeiten in OP und Ambulanz und entlastet dadurch den verantwortlichen Arzt. Das Konzept des Physician Assistant wird bereits als klinikbezogenes Projekt an einigen deutschen Kliniken durchgeführt.

Der Bachelor-Studiengang erstreckt sich über drei Jahre und wird an der Steinbeis-Hoch-

schule und am Akademischen Lehrkrankenhaus Herzzentrum Lahr/Baden der SHB absolviert. Neben dem akademischen und betrieblichen Studienteil ist die Bachelor-Arbeit Teil des Studiums, die zu einem konkreten Projekt in der Klinik des Studenten erarbeitet wird.



Weitere Informationen und  
Anmeldung unter:  
[www.ihci.com](http://www.ihci.com)

## Interaktives Lernen mit Unternehmenssimulationen

Ingenieure, Informatiker oder Techniker benötigen heute neben ihrem Fachwissen auch betriebswirtschaftliches Know-how, um die Wirkung unternehmerischer Entscheidungen einschätzen zu können. Eine interaktive Lernmethode stellen Unternehmenssimulationen dar, die komplexe betriebswirtschaftliche Themen nachvollziehbar machen.

Das Steinbeis Career Center an der Steinbeis-Hochschule Berlin bietet in strategischer Partnerschaft mit dem Schweizer Unternehmen Targetsim AG Simulationen

für verschiedene Zielgruppen und Lernziele an. Sie werden fester Bestandteil der Masterstudiengänge MBE (Master of Business and Engineering) und MBA (Master of Business Administration) sowie des St. Galler Management Seminars und in das Kursangebot des Steinbeis Career Centers aufgenommen. Darüber hinaus stehen Inhouse-Angebote für Kunden zur Verfügung.



Kontakt unter:  
[www.steinbeis-career.com](http://www.steinbeis-career.com)

## Bundesförderprojekt Solarwärme in Crailsheim

Im baden-württembergischen Crailsheim läuft bis 2008 das bundesweit größte Projekt einer solaren Nahwärmeversorgung. Bund, Land und die Stadt Crailsheim investieren über sechs Millionen Euro in ein Wohngebiet mit 259 Wohnungen und zwei Schulen, das mehr als die Hälfte seines gesamten Wärmebedarfs mit Solarenergie decken wird.

Steinbeis-Experten haben die wissenschaftlich-technische Begleitung des Projektes übernommen, dessen technische Innovation durch die niedrigen solaren Wärmekosten von weniger als 19 Cent pro Kilowattstunde überzeugt. Das Großprojekt wurde als „Leuchtturmprojekt“ im Rahmen der Innovationsinitiative der Bundesregierung ausgezeichnet.

Bei der Nutzung der Solarwärme ist Deutschland europaweit führend, knapp die Hälfte der in Europa installierten Solarkollektorflächen befinden sich auf deutschen Dächern. Das Bundesumweltministerium fördert die Nutzung der Solarwärme mit Zuschüssen aus dem Marktanreizprogramm.

Weitere Informationen unter:  
[www.bmu.bund.de](http://www.bmu.bund.de)

### Neue Steinbeis-Unternehmen

Abkürzungen:

SBZ: Steinbeis-Beratungszentrum  
SFI: Steinbeis-Forschungsinstitut  
SFZ: Steinbeis-Forschungszentrum  
STI: Steinbeis-Transfer-Institut  
STZ: Steinbeis-Transferzentrum

Im Juli und August 2005 wurden folgende Steinbeis-Unternehmen gegründet:

STI Asian Complementary Medicine and Management (ACMM), Berlin

Leiter: Dr. med. Brigitte Klett  
Prof. Dr.-Ing. Ulrich Günther

STZ Geoinformatik, Neubrandenburg  
Leiter: Prof. Dr.-Ing. Tobias Hillmann

STZ Unternehmen & Führungskräfte,  
Villingen-Schwenningen  
Leiter: Prof. Gerrit Horstmeier  
Dr. med. Lotte Habermann-Horstmeier

SFZ FeLiS – Fernerkundung und Landschafts-  
informationssysteme, Bruckberg  
Leiterin: Prof. Dr. Barbara Koch

STI Akademie Bacau, Berlin  
Leiter: Jürgen Przibylla, BBA

STI Logistik und Produktion, Berlin  
Leiterin: Dipl.-Betriebswirtin (FH) Ingrid Augustin

SFZ Mikrosystemtechnik, Dortmund  
Leiter: Prof. Dr. rer. nat. Gerhard Wiegler

STZ AutoCES, Groß Mohrdorf  
Leiter: Prof. Dr.-Ing. Uwe Creutzburg

STZ Analytische, diagnostische, toxikologische und  
pathologische Elektronenmikroskopie, Tübingen  
Leiter: Prof. Dr. Ulrich Schraermeyer

## Forum Luft- und Raumfahrt Baden-Württemberg

**Vertreter der Luft- und Raumfahrtindustrie haben im Juli das Forum Luft- und Raumfahrt Baden-Württemberg e.V. ins Leben gerufen.**

Die Gründung wurde unterstützt durch die Impulsveranstaltung „Chancen und Potenziale für Luft- und Raumfahrt“, die im Oktober

2004 unter der Federführung der Steinbeis-Stiftung stattfand. Ziel des Forums ist es, die Aktivitäten der Branche zu bündeln und in Kooperation mit Unternehmen, Dienstleistern und Wissenschaft die Luft- und Raumfahrttechnologie weiterzuentwickeln. Dazu gehört auch die Organisation und Durchführung von Informations- und Fortbil-

dungsveranstaltungen. Das Forum arbeitet auf deutscher wie internationaler Ebene.

Zum Vorsitzenden des Forums wurde Dr. Rolf-Jürgen Ahlers gewählt, Vorsitzender der Geschäftsführung der ASG Luftfahrttechnik und Sensorik GmbH. Auch die Steinbeis-Stiftung ist im Vorstand vertreten.

## Neuerscheinungen in der Steinbeis-Edition

**Tagungsband Forum Luft- und Raumfahrt Baden-Württemberg**  
ISBN 3-938062-15-0

Das Buch ist der erste Band einer Begleitreihe zum Forum Luft- und Raumfahrt Baden-Württemberg, das erstmals 2004 im Haus der Wirtschaft in Stuttgart stattfand.

Das Forum wurde als eine regionale Organisation geschaffen, um mit konkreten Vorhaben die Interessen der baden-württembergischen Luft- und Raumfahrt zu vertreten. Die Beiträge des Tagungsbandes machen deutlich, wie leistungsfähig Industrie, Hochschulen und Forschungseinrichtungen in Baden-Württemberg auf diesem strategisch bedeutsamen Gebiet sind.

Zu beziehen über die Steinbeis-Edition:  
Britta Lücke  
Fon: 0711/18 39-776  
E-Mail: luecke@stw.de  
Internet: www.Steinbeis-Edition.de

Neuerscheinung im Container-Verlag mit der Steinbeis-Edition:

**Wertermittlung von Architektur- und Ingenieurbüros**  
PreiBing, Werner  
2. überarbeitete Auflage 2005  
ISBN 3-938408-01-4

Werner PreiBing ist Vorstand der Unternehmerberatung Ing. PreiBing AG und Lei-

ter der Vertiefungsrichtung Architekturmanagement am Steinbeis-Transfer-Institut Business Administration Studies and International Entrepreneurship der Steinbeis-Hochschule Berlin.

Der Autor vermittelt mit seiner Publikation ein praxisorientiertes Verfahren zur Wertermittlung, das seit vielen Jahren mit großem Erfolg in Architektur- und Ingenieurbüros, aber auch in anderen Planungsbüros angewendet wird.

Das Buch ist strukturiert als Leitfaden, der den Leser von den ersten Überlegungen und

Datenbeschaffungen bis zum fertigen Gutachten und dem Abschluss von Verträgen bei jedem Schritt begleitet. Fallbeispiele, Formularvorlagen und nicht zuletzt das Vorstellen einfacher Verfahren zur übersichtlichen Berechnung, helfen auch spezielle Einzelsituationen einzuschätzen.

Zu beziehen über:  
Container-Verlag Mainz  
Fon: 06131/66 97 82  
Internet: www.container-verlag.de



## Veranstaltungen

### Oktober 2005

10./2005 – 07/2006 Baden-Württemberg

#### **St. Galler Management Seminar**

STI Systemische Qualifizierung

Weitere Informationen: stz569@stw.de

04.10.2005 Pforzheim

#### **Erfolgreiches Suchmaschinenmarketing**

STZ Unternehmensentwicklung Hochschule Pforzheim

Weitere Informationen: stz587@stw.de

05.10.2005 Stuttgart

#### **Projektmanagement**

STZ Produktion und Qualität

Weitere Informationen: stz120@stw.de

05.10.2005 Pforzheim

#### **Content-Management-Systeme für den Mittelstand – Einführung in die praktischen Einsatzmöglichkeiten einer Open Source Software**

STZ Unternehmensentwicklung Hochschule Pforzheim

Weitere Informationen: stz587@stw.de

06.–07.10.2005 Ulm

#### **Projektmanagement**

STZ Managementsysteme

Weitere Informationen: stz325@stw.de

06.–07.10.2005 Heidelberg

#### **Erfolgreich Markenführung im Mittelstand**

STZ Logistik und Marketingmanagement

Weitere Informationen: stz850@stw.de

07.–08.10.2005 Karlsruhe

#### **Steinbeis-Technologie-Seminar**

Mikroelektronik: Systemintegration – von der Baugruppe zum Praxiseinsatz

Mikrosystemtechnik – Systemarchitektur im µ-Bereich

STI InTech

Weitere Informationen: stz697@stw.de

11.10.2005 Pforzheim

#### **Erfolgreiches Suchmaschinenmarketing**

STZ Unternehmensentwicklung Hochschule Pforzheim

Weitere Informationen: stz587@stw.de

12.10.2005 Ulm

#### **Informations- und Wissensmanagement**

STZ Managementsysteme

Weitere Informationen: stz325@stw.de

12.10.2005 Pforzheim

#### **E-Commerce – Shopsysteme in der praktischen Anwendung**

STZ Unternehmensentwicklung Hochschule Pforzheim

Weitere Informationen: stz587@stw.de

13.10.2005 Stuttgart

#### **Technische Inhalte überzeugend präsentieren**

STZ Produktion und Qualität

Weitere Informationen: stz120@stw.de

13.–14.10.2005 Ulm

#### **Prozessmanagement**

STZ Managementsysteme

Weitere Informationen: stz325@stw.de

17.–18.10.2005 Ulm

#### **Innovatives Qualitätsmanagement**

STZ Managementsysteme

Weitere Informationen: stz325@stw.de

18.10.2005 Stuttgart

#### **Bewerbertag für die berufsbegleitenden Weiterbildungsprogramme Steinbeis-Technologie-Seminar und TechnologyBBA**

STI InTech

Weitere Informationen: stz697@stw.de

19.10.2005 Pforzheim

#### **Content-Management-Systeme für den Mittelstand – Einführung in die praktischen Einsatzmöglichkeiten einer Open Source Software**

STZ Unternehmensentwicklung Hochschule Pforzheim

Weitere Informationen: stz587@stw.de

19.10.2005 Stuttgart

#### **Betriebswirtschaftliches Führungswissen in der Praxis**

STZ Produktion und Qualität

Weitere Informationen: stz120@stw.de

19.10.2005 Ulm

#### **Umweltmanagement und Umweltrecht**

STZ Managementsysteme

Weitere Informationen: stz325@stw.de

21.10.2005 Ulm

#### **Distributionslogistik**

STZ Managementsysteme

Weitere Informationen: stz325@stw.de

21.10.2005 Rosenheim

#### **Die Lohn.Methode – Das Fundament für Ihre Problemlösungskompetenz**

STZ Karriere – Nachfolge – Strategie

Weitere Informationen: stz869@stw.de

21.–22.10.2005 Karlsruhe

#### **Steinbeis-Technologie-Seminar**

Nanotechnologie – Miniaturisierung grenzenlos?

Mikrosystemtechnik (Umsetzung)

STI InTech

Weitere Informationen: stz697@stw.de

24.10.2005 Pforzheim

#### **Erfolgreiches Suchmaschinenmarketing**

STZ Unternehmensentwicklung Hochschule Pforzheim

Weitere Informationen: stz587@stw.de

25.10.2005 Pforzheim

#### **E-Commerce – Shopsysteme in der praktischen Anwendung**

STZ Unternehmensentwicklung Hochschule Pforzheim

Weitere Informationen: stz587@stw.de

27.10.2005 Stuttgart

#### **Erfolgreiche Auftragsakquisition und Effektives Angebotsmanagement**

STZ Produktion und Qualität

Weitere Informationen: stz120@stw.de

27.–28.10.2005 Ulm

#### **Produktion und technische Prozesse**

STZ Managementsysteme

Weitere Informationen: stz325@stw.de

27.–28.10.2005 Heidelberg

#### **Erfolgreiche Markenführung im Mittelstand**

STZ Logistik und Marketingmanagement

Weitere Informationen: stz850@stw.de

### November 2005

02.11.2005 Stuttgart

#### **Produktmanagement**

STZ Produktion und Qualität

Weitere Informationen: stz120@stw.de

02.11.2005 Pforzheim

#### **Content-Management-Systeme für den Mittelstand – Einführung in die praktischen Einsatzmöglichkeiten einer Open Source Software**

STZ Unternehmensentwicklung Hochschule Pforzheim

Weitere Informationen: stz587@stw.de

03.11.2005 Ulm

**Versuchsplanung**

STZ Managementsysteme

Weitere Informationen: stz325@stw.de

04.11.2005 Ulm

**Zuverlässigkeitsmanagement**

STZ Managementsysteme

Weitere Informationen: stz325@stw.de

07.-08.11.2005 Stuttgart

**Kundenorientiert handeln und telefonieren**

STZ Mittelstandsberatung

Weitere Informationen: stz367@stw.de

08.11.2005 Pforzheim

**Erfolgreiches Suchmaschinenmarketing**

STZ Unternehmensentwicklung Hochschule

Pforzheim

Weitere Informationen: stz587@stw.de

09.11.2005 Pforzheim

**Customer-Relationship-Management-Systeme im Einsatz bei mittelständischen Unternehmen am Beispiel einer Open-Source-Lösung**

STZ Unternehmensentwicklung Hochschule

Pforzheim

Weitere Informationen: stz587@stw.de

10.-11.11.2005 Ulm

**Entwicklung und Innovation**

STZ Managementsysteme

Weitere Informationen: stz325@stw.de

11.-12.11.2005 Stuttgart

**Seminar „Wissenschaftliches Arbeiten: komplexe Lernstoffe, Methodik wissenschaftlichen Arbeitens, Projektmanagement“**

STI InTech

Weitere Informationen: stz697@stw.de

16.11.2005 Ulm

**Benchmarking**

STZ Managementsysteme

Weitere Informationen: stz325@stw.de

17.11.2005 Ulm

**KVP – Gruppen**

STZ Managementsysteme

Weitere Informationen: stz325@stw.de

17.11.2005 Stuttgart

**TRIZ als Managementwerkzeug**

STZ Prozessmanagement in Produktentwicklung,

Produktion und Logistik

Weitere Informationen: stz632@stw.de

18.11.2005 Ulm

**Six Sigma**

STZ Managementsysteme

Weitere Informationen: stz325@stw.de

18.-19.11.2005 Freiburg

**Steinbeis-Technologie-Seminar**

Mikrosystemtechnik

Exkursion IMTEK, Freiburg

Das MST-Business: Trends – Strategien –

Lösungen

STI InTech

Weitere Informationen: stz697@stw.de

21.11.2005 Pforzheim

**E-Commerce – Shopsysteme in der praktischen Anwendung**

STZ Unternehmensentwicklung Hochschule

Pforzheim

Weitere Informationen: stz587@stw.de

22.11.2005 Ulm

**Produktaudits**

STZ Managementsysteme

Weitere Informationen: stz325@stw.de

23.11.2005 Pforzheim

**Content-Management-Systeme für den Mittelstand – Einführung in die praktischen Einsatzmöglichkeiten einer Open Source Software**

STZ Unternehmensentwicklung Hochschule

Pforzheim

Weitere Informationen: stz587@stw.de

24.11.2005 Ulm

**Prozessorientierte Audits**

STZ Managementsysteme

Weitere Informationen: stz325@stw.de

25.11.2005 Ulm

**Kostenorientierte Umweltaudits**

STZ Managementsysteme

Weitere Informationen: stz325@stw.de

25.11.2005 Würzburg

**Die LohnMethode – Das Fundament für Ihre Problemlösungskompetenz**

STZ Karriere – Nachfolge – Strategie

Weitere Informationen: stz869@stw.de

**Dezember 2005**

01.12.2005 Ulm

**Teamführung und Moderation**

STZ Managementsysteme

Weitere Informationen: stz325@stw.de

01.-02.12.2005 Stuttgart

**Präsentations- und Visualisierungstechniken**

STZ Mittelstandsberatung

Weitere Informationen: stz367@stw.de

02.12.2005 Ulm

**Problemlösungsmethoden für Teams**

STZ Managementsysteme

Weitere Informationen: stz325@stw.de

07.12.2005 Ulm

**Engineering-Methoden – QFD**

STZ Managementsysteme

Weitere Informationen: stz325@stw.de

08.12.2005 Ulm

**Engineering-Methoden – TRIZ**

STZ Managementsysteme

Weitere Informationen: stz325@stw.de

09.12.2005 Ulm

**Engineering-Methoden – FMEA**

STZ Managementsysteme

Weitere Informationen: stz325@stw.de

15.12.2005 Ulm

**Engineering-Methoden – Wertanalyse**

STZ Managementsysteme

Weitere Informationen: stz325@stw.de

16.12.2005 Ulm

**Engineering-Methoden – SPC**

STZ Managementsysteme

Weitere Informationen: stz325@stw.de

**Steinbeis-Symposium**

**„Elektronik im Kfz-Wesen“**

4. – 6. April 2006

Haus der Wirtschaft, Stuttgart

Themenfelder:

- Qualität und Zuverlässigkeit
- Innovation durch Kfz-Elektronik im Spannungsfeld Entwicklung, Produktion, After Sales
- Life Cycle Management und servicegerechte Automobilelektronik
- Verteiltes und vernetztes Entwickeln, Systemintegration und Supply Chain Management

Weitere Informationen: stw@stw.de

## Impressum

Transfer. Das Steinbeis Magazin  
Zeitschrift für Mitarbeiter und Kunden des Steinbeis-Verbundes  
Ausgabe 2/2005

### Herausgeber:

Steinbeis-Stiftung  
Willi-Bleicher-Str. 19  
70174 Stuttgart  
Fon: 0711 - 18 39-5  
Fax: 0711 - 2 26 10 76  
E-Mail: [stw@stw.de](mailto:stw@stw.de)  
Internet: [www.stw.de](http://www.stw.de)

### Verantwortlich für den Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. Sylvia Rohr

### Redaktion:

Anja Reinhardt

### Satz und Druck:

Straub Druck + Medien, Schramberg

### Fotos und Abbildungen:

Fotos stellen die im Text genannten  
Steinbeis-Unternehmen und Firmen zur Verfügung.

### Titelfoto:

Das Transfer Titelbild entstand bei einem **Ritztest mit einer Diamantkugel** (Radius 50 µm) in eine 5 µm dicke Goldschicht. Das Bild wurde aufgenommen von Wissenschaftlern am Steinbeis-Transferzentrum in Rossendorf.