

Das Fachmagazin für Elektronikentwickler und Elektronikanwender

elektronik report

Elektronik · Wirtschaft · Management

juli/august 2008 **78**

■ ■ ■ ■ **seite 40**
Entwicklung von Feature-Applikationen Qt Framework
Naren Karattup, Trolltech



topthema ■ ■ ■ ■ **seite 6**
Power mit Nano
Kleiner, schneller, günstiger



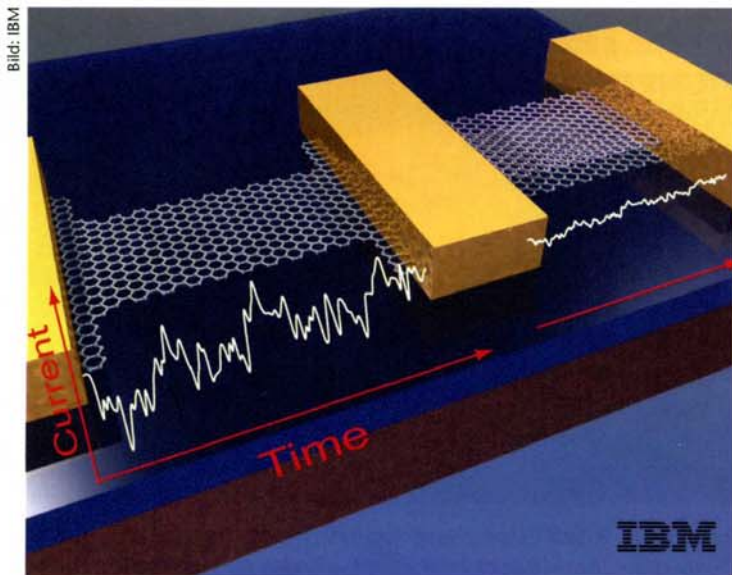
■ ■ ■ ■ **seite 35**
elektronik
Rack-Mounted Instrument
Barriere zwischen Funktionstest und Boundary-Scan durchbrochen

■ ■ ■ ■ **seite 46**
wirtschaft
F&E-Kompetenzzentrum
Neues Bürogebäude für Forschung, Entwicklung und Innovation

■ ■ ■ ■ **seite 52**
management
Unternehmensgründung
Umfrage beleuchtet Erwartungen österreichischer Unternehmer



■ ■ ■ ■ **seite 12**
Potentialdifferenzkiller
Signalkonverter von WAGO für alle gängigen Analoggrößen



Graphene als „Lärmdämmung“.

Kleiner, schneller, günstiger

Power mit Nano

Der enorme Beitrag für den Fortschritt und das wirtschaftliche Potential sind sicher – aber die Gesundheits- und Umweltfolgen noch nicht ausreichend erforscht.

Die Euphorie für Nano ist ungebrochen, denn die kleinen Dimensionen mit riesiger Wirkung gelten nach wie vor als Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts. Bereits ins vierte Jahr geht die Förderung der österreichischen NANO Initiative durch das BMVIT – Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie und darf sich wieder eines ansehnlichen Betrages von 19 Millionen Euro für heuer erfreuen. „Der Beitrag, den Nanotechnologien zum technologischen Fortschritt leisten und das damit verbundene wirtschaftliche Potenzial sind enorm. Aktuelle Schätzungen zufolge beträgt das Marktpotential der Produkte, die durch Nanotechnologien entstehen, derzeit weltweit etwa 100 Milliarden Dollar, und diese Zahl soll sich bis 2015 zumindest verzehnfachen,“ erklärte Forschungsstaatssekretärin Christa Kranzl anlässlich des Kick-Offs der neuen

Ausschreibungen der Österreichischen NANO Initiative 2008. In der ersten Phase der Österreichischen NANO Initiative stellte das BMVIT 35 Millionen Euro für die Förderung kooperativer Forschungs- und Entwicklungsprojekte und eine Reihe weiterer Maßnahmen im Bereich der Na-

nowissenschaften und Nanotechnologien zur Verfügung. Seither wurden in diesem Programm über 150 Projekte mit der Beteiligung von knapp 200 Organisationen gefördert. „Von 1998 bis 2006 haben sich die staatlichen Investitionen in Nanoforschung und -entwicklung weltweit von 600 Millionen auf sechs Milliarden Dollar verzehnfacht“, beschrieb die Staatssekretärin den internationalen Trend.

NIL Austria

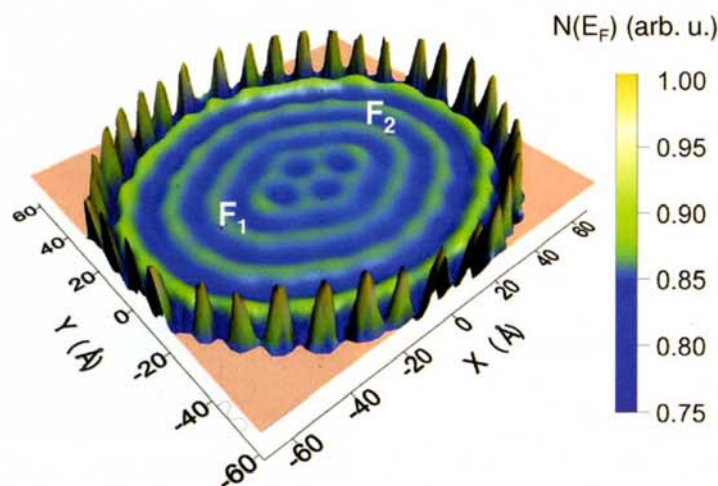
„Österreich ist Technologie-Basis für Nanoimprint Lithographie (NIL)“, sagt Friedrich Mader, Geschäftsführer PROFACTOR Gruppe. „Einfache Prozesse, niedrige Kosten, hohe Durchlaufleistung und eine sehr hohe Auflösung sind die Charakteristika der Nanoimprint Lithographie (NIL), die dazu geführt haben, dass diese Technologie für industrielle Anwender als Unter-30-Nanometer-Lithographie, aber auch für Anwendungen mit weniger hohen Auflösungsanforderungen ein sehr großes Potential besitzt.“ Durch die Kosteneffizienz bietet NIL aber nicht nur der Großindustrie sondern auch KMUs eine kostengünstige und flexible Möglichkeit der Massenproduktion. Gefertigt werden könnten beispielsweise Komponenten für elektronische, optische, photonische und biologische Anwendungen. Im neuen Verbundprojekt

der Österreichischen NANO Initiative „NILAustria“ soll nun durch die Vernetzung von Partnern aus Wissenschaft und Industrie die Anwendungsmöglichkeit der Nanoimprint Lithographie erweitert werden, wobei sich alle sieben Einzelprojekte am Bedarf potentieller Anwender orientieren. Entwickelt würden beispielsweise Prozesse für Biochips, die auf einem einzigen Chip tausende Reaktionen gleichzeitig messen können, des weiteren NIL-Prozesse zur Herstellung von Festplatten der nächsten Generation oder Verfahren zur kosteneffizienten Fertigung von NIL-Stempel. „Die Ergebnisse von NILAustria werden



Friedrich Mader, Geschäftsführer PROFACTOR: „Österreich ist Technologie-Basis für NIL.“

die Nanoimprint Lithographie für eine große Anzahl industrieller Anwender interessant machen und den österreichischen Aktivitäten auf diesem Gebiet auch internationale Sichtbarkeit verschaffen“, ist Friedrich Mader überzeugt. PROFACTOR forscht seit Jahren an NIL, koordiniert den groß angelegten Projekt-Cluster und vereint somit eine Reihe der wichtigsten im Bereich NIL tätigen Forschungsinstitutionen, Gerätehersteller und Unternehmen des Landes, die an Anwendungen der Nanoimprint Lithographie interessiert sind. „Nanotechnologie steht am Rande ihrer vollen kommerziellen Wirkung. Gerade jetzt könnte NIL das ausschlaggebende Instrument sein, um das volle Potential zur



Ein ellipsenförmiger Pterch aus Kobalt-Atomen, die auf einer Unterlage aus Kupferatomen aufgesetzt wurden.

Geltung zu bringen“, sagt PRO-FACTOR-Geschäftsführer Friedrich Mader. Dem vorerst auf drei Jahre, mit Beginn in 2008, angelegten Projekt-Cluster NIIAustria steht ein Förderbudget von 4 Millionen Euro zur Verfügung. Das gesamte Projektvolumen beläuft sich auf 4,9 Millionen Euro. Erklärtes Ziel ist es, das Projekt auch nach 2011 weiter zu führen.

Neue Nano-Architektur

Einer Forschergruppe an der Freien Universität Berlin um den Experimentalphysiker Leonhard Grill ist es in Zusammenarbeit mit Chemikern der Humboldt-Universität Berlin und theoretischen Physikern der University Liverpool erstmals gelungen, molekulare Bausteine auf atomarer Ebene präzise miteinander zu verbinden. Die Wissenschaftler verknüpften Module der Größe von einem Nanometer, also einem Milliardstel Meter, chemisch so miteinander, als wären es Lego-Bausteine. Top-Experte Grill ist Österreicher, studierte Physik in Graz, arbeitete anschließend im italienischen Triest am Laboratorio TASC-INFN im Gebiet der Oberflächenphysik und leitet nun an der Freien Universität Berlin eine eigene Forschungsgruppe, die sich mit der Untersuchung und Manipulation einzelner Moleküle mit einer bestimmten Funktion wie beispielsweise Schalten, Rollen usw. beschäftigt. „Die faszinierende Vision der Nanotechnologie besteht in der kontrollierten Anordnung von Materie auf der Nanometer-Skala“, sagt Dr. Grill. Eine zentrale Idee bestehe darin, stabile Strukturen aus einzelnen molekularen Bausteinen in einer vorgegebenen Architektur auf atomarer Ebene zu bauen – etwa zu Schaltkreisen, Sensoren und Nanomaschinen. Bisher konnten jedoch keine Moleküle auf einer Oberfläche in solchen Netzwerken von vorgegebener Struktur chemisch verknüpft werden. „Um solche Nanostrukturen aufzubauen, werden Moleküle mit einer gewünsch-

Bild: BMVIT



Christa Kranzl, Forschungsstaatssekretärin im BMVIT:
„Das Marktpotential für Nanoprodukte liegt derzeit bei 100 Milliarden Dollar.“

ten Zahl symmetrisch angeordneter Seitengruppen, quasi Beinen, auf eine Oberfläche aufgebracht“, erklärt Dr. Grill. Durch geschicktes Erwärmen ließen sich einzelne Atome von den Seitengruppen kontrolliert abspalten, sodass Beine aktiviert würden, das heißt chemisch reaktive Stellen am Molekül entstehen. Anschließend verknüpfen sich laut Physiker Grill die Moleküle auf der Oberfläche zu geordneten Strukturen mit definierter Form, wobei sich eine hohe Selektivität daraus ergibt, dass sie ausschließlich dann eine kovalente Bindung bilden,



Das Modell einer Graphen-Membran - mit einer Dicke von nur einem Atom.

wenn zwei aktivierte Beine aufeinandertreffen. Obwohl die Ergebnisse dieser interdisziplinären Arbeit der Grundlagenforschung zuzuordnen sind, könnten sie von großem Interesse für künftige Anwendungen sein, da die atomare Größenordnung einen enormen Fortschritt in der Mini-

aturisierung darstellt. „Aus den geringen Abmessungen der molekularen Bausteine ergibt sich eine Dichte von mehr als 10^{13} pro cm^2 in einem solchen Netzwerk – das ist mehr als 10.000 mal höher als die Dichte von Transistoren in integrierten Schaltkreisen oder Computerchips“, sagt Dr. Grill. In Anwendungen könnten die einzelnen Moleküle in Zukunft mit Funktionen ausgestattet werden, um zum Beispiel als elektronische Schaltkreise oder Sensoren auf atomarer Skala zu arbeiten.

Nanopartikel nach Maß

Egal ob optisch, elektrisch oder chemisch – die Eigenschaften von Nanopartikeln hängen von ihren Maßen und ihrer Gestalt ab. Wie sich diese gezielt beeinflussen lassen, haben Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Dynamik komplexer technischer Systeme in Magdeburg nun untersucht, und zwar an Bariumsulfat-Teilchen in einer Mikroemulsion. Nanopartikel lassen sich auf vielfältige Weise herstellen – etwa durch Abscheiden von Dampf, Ätzen oder Mahlen. Manche davon sind sehr aufwendig, andere liefern keine Teilchen von einheitlicher Größe, und sie eignen sich immer nur für bestimmte Substanzen.

die andere. Die Tröpfchen schließen sich dann kurzzeitig zusammen, und sofort bilden sich winzige Kristalle, die allmählich wachsen. Weil die Tröpfchen nur sechs Nanometer messen, werden auch die Kristalle zunächst nicht größer. Das Wachstum stoppt hier nur, wenn die Forscher Emulsionen miteinander vermengen, welche die Ausgangsstoffe in jeweils gleicher Konzentration enthalten. Unterscheiden sich die Konzentrationen in den beiden Emulsionen, wachsen die Nanopartikel weiter: bis sie rund 16 Nanometer groß sind, wenn die Forscher einen Ausgangsstoff zehnfach konzentrierter einsetzen als den anderen, und sogar bis zu etwa 36 Nanometer bei einem 20-fachen Konzentrationsunterschied. Warum der Überschuss eines Salzes wachstumsfördernd auf die Bariumsulfatpartikel wirkt, ist noch nicht völlig geklärt. Bei Bedarf können die Wissenschaftler mithilfe der Mikroemulsionen auch Mischungen von Partikeln zweier Größen und Formen herstellen: Mit unterschiedlich stark konzentrierten Ausgangsstoffen züchten sie erst größere Partikel. Anschließend leiten sie in dasselbe Reaktionsgemisch eine Emulsion, die das Defizit des geringer

Größe und Form der Partikel werden sowohl von den Mengenverhältnissen der Ausgangsstoffe als auch von der Art und Weise bestimmt, wie die Wissenschaftler diese zusammenbringen. Sie nutzen die Tröpfchen einer Mikroemulsion als Nanoreaktoren und leiten die eine Emulsion rasch in

konzentrierten Stoffes ausgleicht – jetzt entstehen kleinere Teilchen.

Atome bewegen

Wissenschaftlern der Universität Regensburg und von IBM in San José, Kalifornien, ist es erstmals gelungen, jene winzigen Kräfte zu



Dr. Michael Nentwich, Direktor ITA – Institut für Technikfolgen-Abschätzung an der Akademie der Wissenschaften:
„Eine vorausschauende Nanotech-Politik ist notwendig.“

messen, die bei der Konstruktion der kleinstmöglichen künstlichen Strukturen aus einzelnen Atomen wirken. Diese fundamentalen Messungen sind wichtig für die Informationstechnologie und zwar zur Identifizierung der geeigneten chemischen Elemente künftiger Schaltelemente mit atomaren Dimensionen – Computerchips, Speicherelemente und andere. Das Verständnis der Kräfte, die beim Anordnen einzelner Atome auf Oberflächen wirken, ist grundlegend für die Planung und den Bau jeglicher Konstrukte atomarer Dimensionen. Zum Beispiel braucht man für den Bau eines Motors auf der Nanoskala lose gebundene Atome für bewegliche Teile wie Zahnräder, Hebel und Schalter. Für ein stabiles Gehäuse dagegen wäre es wichtig, Atome zu finden, die fester an der Oberfläche haften und nicht so leicht verschoben werden können. Die Wissenschaftler zeigten, dass eine Kraft von 210 Piconewton nötig ist, um ein Kobaltatom über eine glatte Platinoberfläche zu bewegen, während sich ein Kobaltatom auf einer Kupferoberfläche schon mit einer Kraft von 17 Piconewton bewegen lässt. Zum Vergleich: Um einen Euro-Cent mit einer Masse von etwa 3 Gramm auf einer Oberfläche zu bewegen, muss eine Kraft von etwa 30 Milliarden

Piconewton aufgewendet werden. „Dieses Resultat zeigt den Weg zu neuen Datenspeicherelementen und wird auch das Verständnis biologischer Strukturen und molekularer Wechselwirkungen verbessern“, sagt Gian-Luca Bona, Senior Manager des Bereichs Science & Technology am IBM Almaden Research Center. Dieses Wissen gebe ein tieferes Verständnis für Prozesse, welche die Grundlage der Nanotechnologie bilden und unterstütze den industriellen Fortschritt in der Medizin und der Informationstechnik auf der Nanoskala. Die Kenntnis der Kräfte, die bei der atomaren Manipulation wirken, schließe eine bedeutende Wissenslücke: das Verstehen und Steuern des Baus von Nanostrukturen – Atom für Atom.

Haltung in der Mikrowelt

Für einige Anwendungen sind Wafer, auf denen Mikrochips prozessiert werden, mittlerweile so dünn, dass Ihre Handhabung schwierig ist. Eine elegante Lösung für die Herstellung extrem dünner mikroelektronischer Komponenten, die Realisierung von verlustarmen Leistungselektronik-Bausteinen oder die Entwicklung von 3D-integrierten Chip-Aufbauten hat nun das Fraunhofer IZM entwickelt. Die

Bild: Fraunhofer IZM



Träger im Ofen bei 400 °C

Technik ist deshalb besonders interessant, weil durch sie auch dünnste Wafer im Dickenbereich von 20–50 µm in den vorhandenen Prozessanlagen der Halbleiterindustrie weiter prozessiert werden können. Dazu kommen die zu dünnenden Produkt-Wafer auf einen spezifisch präparierten Träger-Wafer und werden anschließend durch Aufladen einer

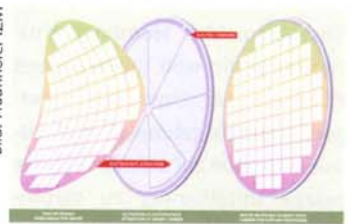
großflächigen Elektrodenstruktur elektrostatisch fixiert. Bei Auswahl einer geeigneten dielektrischen Beschichtung auf dem Träger-Substrat ist eine lang andauernde elektrische Polarisierung zu erzielen. Der dünne Wafer bleibt somit auch nach Abkopplung der Ladespannung sicher auf dem Träger fixiert und kann weitere Prozessschritte durchlaufen. Nach Beendigung der Fertigungssequenz wird die Elektrodenstruktur entladen, und der gedünnte Wafer kann leicht wieder entfernt werden. Das Trägersubstrat selbst ist ein Silizium-Wafer, der in Dünnschichttechnik strukturiert und an der Kontaktfläche zum fixierten dünnen Wafer vollständig elektrisch isoliert ist. Die Kontaktstellen zum Aufladen der Elektroden können an der Vorder- oder Rückseite des Trägersubstrats realisiert werden. Die elektrostatische Haltekraft ist auch bei Temperaturen über 400 °C noch aktiv. Somit bietet diese Träger-technik erstmals die Möglichkeit, Prozessschritte an sehr dünnen Wafern bei hohen Temperaturen auszuführen. Beispiele hierfür sind das Legieren von Rückseitenmetallisierungen oder das Aufbringen und Plasma-Ätzen von dielektrischen Schichten. Potenzielle Anwendungsgebiete der elektrostatischen Trägertechnik sind neben der Leistungselektronik auch opto-elektronische Produkte, Bumping-Prozesse an dünnen Wafern, die Herstellung noch dünnerer Solarzellensubstrate und viele weitere Technologiefelder, bei denen fragile Substrate prozessiert werden sollen.

Sehr dünne Nanoblätter

In einem durch die VW-Stiftung geförderten Vorhaben sollen die Herstellung, die physikalischen und chemischen Eigenschaften und mögliche Anwendungen von frei aufgehängten, monolagigen „Nanoblättern“ untersucht werden. Die Nanoblätter bilden ultradünne Membranen mit der Dicke eines einzelnen Moleküls von ein bis zwei Nanometern. Sie ba-

sieren auf vernetzten, selbstorganisierenden Monoschichten, die sich von ihrem Substrat ablösen lassen und als freistehendes Nanomaterial stabil sind. Die Eigenschaften dieses allein durch seine Dünne einzigartigen, neuen Materials zu erforschen verspricht aus Sicht der Grundlagenforschung sehr spannende Ergebnisse. Es geht dabei um die Untersuchung der mechanischen Eigenschaften wie Moduli, Zugfestigkeiten und Resonanzfrequenzen, aber auch die elektrischen Eigenschaften wie Leitfä-

Bild: Fraunhofer IZM



Schema des elektrostatischen Trägers

higkeit und Kapazität und chemische Eigenschaften wie Oberflächenfunktionalisierung und Gasadsorption sollen charakterisiert werden. Die drei beteiligten wissenschaftlichen Partner sind Arbeitsgruppen der Universität Bielefeld, der Universität Heidelberg und der PTB – Physikalisch-Technischen Bundesanstalt. Sie wollen auch mögliche praktische Anwendungen dieser Nanoblätter erforschen wie für ultradünne, elektronentransparente Substrate in der hochauflösenden Transmissionselektronenmikroskopie, oder sie könnten auch als höchstempfindliche Gassensoren eingesetzt werden und elektrisch leitfähige Nanoschichten und -drähte sein. Die VolkswagenStiftung fördert Forschungsvorhaben aller Disziplinen und hilft, zukunftsweisende Wissensgebiete zu etablieren. So auch die Entstehung von neuen Materialien mit vielversprechenden Eigenschaften an der Schnittstelle von Biologie, Chemie und Materialwissenschaften. Die fünfjährige Förderinitiative „Komplexe Materialien: Verbundprojekte der Natur-, Ingenieur- und Bio-



wissenschaften“ ist inzwischen beendet, aber für die Erforschung der Nanoblätter im Kooperationsvorhaben „Preparation, characterization and applications of free-standing unimolecular nanosheets“ wurden nun nochmals Gelder bewilligt.

Mit Graphen verkleinern

Forscher der University of Manchester haben jetzt den kleinsten Transistor der Welt präsentiert. Er ist nur ein Atom dick und zehn Atome breit und aus dem Kohlenstoff-Material Graphen gefertigt, das einen entscheidenden Vorteil für die weitere Verkleinerung von elektronischen Schaltkreisen hat. Graphen verbessert die Leistung, wenn die Transistoren kleiner werden, was vor allem für Größen unter zehn Nanometern gilt, wo andere Materialien wie Silizium versagen. Die Wissenschaftler haben gezeigt, dass Graphen sich dafür eignet, insbesondere Transistoren von zehn Nanometern Größe – rund hundert Atomen und weniger zu bauen. Damit verhält sich Graphen ganz anders als insbesondere Silizium, das bei Größen von weniger als zehn Nanometern instabil wird. Bisher fehlen für den praktischen Einsatz allerdings noch die entsprechenden Design- und Fertigungstechniken. Technologien für eine Verarbeitung mit wirklich nanometergenauer Präzision existieren noch nicht – ein Problem, mit dem allerdings alle Ansätze für einen Silizium-Nachfolger zu kämpfen haben. Experten des IBM Forschungszentrums in Yorktown Heights, N.Y. haben in der Nanotechnologie erneut eine wichtige Entdeckung gemacht, die den Weg zum Einsatz von Kohlenstoff in zukünftigen IT-Generationen erleichtern könnte. Im Rahmen ihrer Arbeiten mit Graphit, wie es in normalen Bleistiften verwendet wird und das in der Zukunft ein möglicher Werkstoff für Leiterbahnen und Transistoren auf Nanoebene ist, konnten die Forscher eine mögliche Lösung dafür finden, wie elektri-

Bild: Freie Universität Berlin



Dr. Leonhard Grill, Freie Universität Berlin:
„Stabile Strukturen auf atomarer Ebene bauen.“

schen Störungen, die auf atomarer Ebene die Weitergabe von Signalen bisher behindern, unterdrückt werden können. Bisher kommt bei Experimenten in diesem Kontext ein Material namens Graphen zum Einsatz, das aus einer monoatomar dünnen Schicht Kohlenstoff besteht und gerollt für Nanoröhren oder als Schicht für den Aufbau von Nanotransistoren verwendet werden kann. Dabei entsteht aber aufgrund von elektrischen Ladungen innerhalb des Materials ständiger „elektrischer Lärm“, der eine kontrollierte Signalgebung im Material stört. Die Lösung der Forscher: Sie fügen einfach eine zweite Schicht Graphen dazu. Die beiden Schichten verstärken den Lärm nicht, sondern bilden vielmehr eine Art Dämmstoff und unterdrücken damit die Störungen dauerhaft.

Euphorie und Risiko?

Die rasante Entwicklung von Nanotechnologien ist auch mit einer regen Diskussion über mögliche Gesundheits- und Umweltfolgen verbunden. Es geht dabei um Sorgen hinsichtlich eines möglichen Kontrollverlusts, um die weitgehend unbekanntes Folgen dieser Technologien und die gerechte Verteilung ihres Nutzens. Massiver Forschungs- und Kommunikationsbedarf besteht, dem das Projekt NanoTrust zumindest drei Jahre lang Rechnung tragen will. Die vorläufige Projektdauer ist von Oktober

2007 bis August 2010 anberaunt. „Bislang sind Sicherheitsaspekte noch zu wenig untersucht, um abschließende Einschätzungen über mögliche Umwelt- oder gesundheitliche Risiken geben zu können“, erklärt Dr. Michael Nentwich, Direktor des ITA – Institut für Technikfolgen-Abschätzung an der Akademie der Wissenschaften und Leiter des Projekts.

„Nicht zuletzt vor dem Hintergrund der Erfahrungen im Bereich der landwirtschaftlichen Gentechnik ist eine vorausschauende Nanotech-Politik notwendig, die auf profunden und entsprechend aufbereiteten Analysen aufbaut“, so der Projektleiter weiter. Kernstück des vom BM-VIT geförderten Forschungsprojektes ist es, den Wissensstand über mögliche Gesundheits- und Umweltrisiken der Nanotechnologie kontinuierlich zu heben, zu analysieren, zusammen zu fassen und zu kommunizieren. Das Projekt versteht sich als Informations- und Diskussionsdrehscheibe, die der Öffentlichkeit, den zuständigen Behörden und der

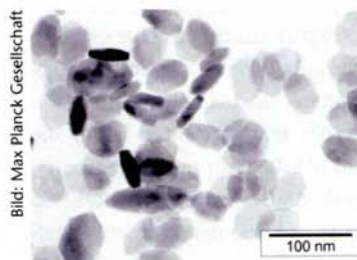


Bild: Max Planck Gesellschaft

Sechseckige, rund 36 Nanometer große Bariumsulfat-Partikel aus Mikroemulsionen

Nano-Community als Anlaufstelle für Fragen zu Sicherheitsaspekten dient. Ende letzten Jahres veröffentlichte das Deutsche Umweltbundesamt gemeinsam mit der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin sowie dem BfR – Bundesinstitut für Risikobewertung eine Forschungsstrategie zu Gesundheits- und Umweltrisiken von Nanomaterialien. Da die toxikologischen und ökotoxikologischen Risiken, die mit dieser expandierenden Technologie verknüpft sind, derzeit in

vielen Bereichen noch nicht beurteilt werden können, soll ihre Entwicklung begleitet, ihre Chancen und Risiken abgewogen und mit bereits etablierten Technologien verglichen werden. Aufgrund der bisherigen Kenntnisse sind insbesondere die unlöslichen und schwer löslichen Nanomaterialien toxikologisch relevant. Daher und zur sinnvollen Begrenzung des Themas bezieht sich die Forschungsstrategie auf diese Nanomaterialien und den Bereich der Chemikaliensicherheit an Arbeitsplätzen und im Verbraucher- und Umweltbereich. Die Forschungs- und Arbeitsgebiete betreffen unter anderem Themen wie

- die Identifikation der Nanomaterialien und Charakterisierung der physiko-chemischen Eigenschaften, Bestimmung der chemischen Reaktivität,
- die Exposition der Beschäftigten, der Verbraucherinnen und Verbraucher (oral, dermal, inhalativ), Entwicklung von Messverfahren,
- die Exposition der Umwelt (mit Entwicklung von Messverfahren, Anwendung von Nanomaterialien in der Umwelt, Lebenszyklusanalysen und Expositionsszenarien, Akkumulation und Persistenz etc.).

Problematisch wird im Rahmen dieser Forschungsstrategie die Bearbeitung von Zukunftsvisionen der Nanotechnologie, für die es noch keine naturwissenschaftlichen Anhaltspunkte zur Gestaltung und Umsetzung gibt. Dazu gehört auch die molekulare Nanotechnologie, die Atome und Moleküle gezielt und unabhängig von biotechnologischen Verfahren zu hochkomplexen und differenzierten Strukturen zusammensetzt. Eines ist jedenfalls klar: Die breiten Anwendungsmöglichkeiten der Nanotechnik und die sehr unterschiedlichen Nanomaterialien erfordern ein differenziertes Vorgehen bei der Beurteilung einer möglichen Gefährdung der Umwelt. Linda Wöss ■