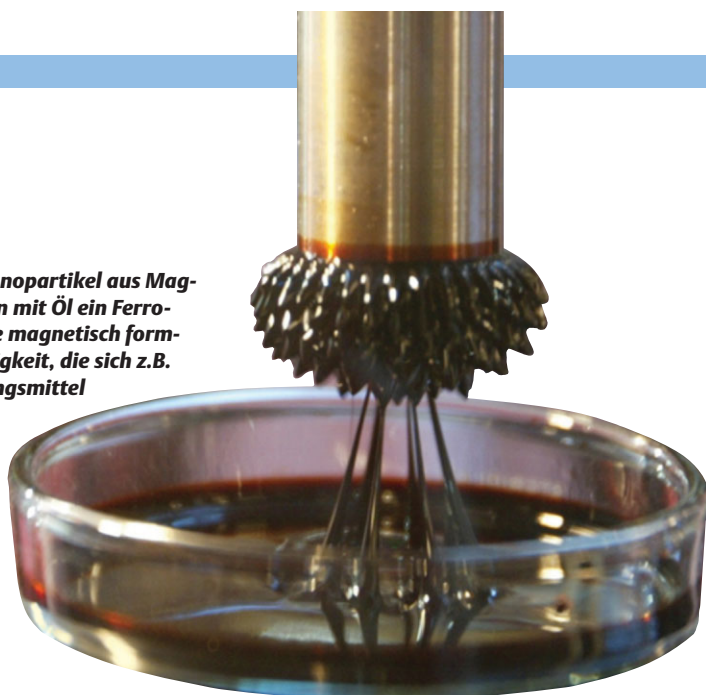


Abb. 1 Nanopartikel aus Magnetit bilden mit Öl ein Ferrofluid – eine magnetisch formbare Flüssigkeit, die sich z.B. als Dichtungsmittel eignet.



Die Nanotechnologie wird zukünftig in immer stärkerem Maße die Technikfelder der heutigen Mikrotechnologie ablösen. Dennoch ist unter „Nanotechnologie“ mehr zu verstehen als nur die nächste Stufe der Miniaturisierung. Auf der Nanoskala verbinden sich physikalische, chemische und biologische Funktionen zu Lösungen, welche die heutige Mikrotechnologie nicht erreicht.

Nanoanwendung: enormes wirtschaftliches Potenzial

Von der Höhlenmalerei zur Schlüsseltechnologie

PETER OTTERSBACH | CHRISTIANE SCHMITZ | JOHANNES AVERDUNG | LOTHAR HEINRICH | ANDREAS GUTSCH

Physikalische Eigenschaften wie elektrische Leitfähigkeit, Magnetismus, Farbe oder mechanische Härte ändern sich beim Übergang von der makroskopischen zur Nanometer-Dimension. So ist Gold mit einer Primärpartikelgröße im Nanometerbereich rötlich gefärbt, das uns vertraute makroskopische Gold jedoch seinem Namen entsprechend goldfarben. Nanotechnologie spielt sich in einem Übergangsbereich zwischen individuellen Atomen und Molekülen einerseits und größeren Gruppen von Atomen und Molekülen andererseits ab. In diesen Bereichen treten Phänomene auf, die man an makroskopischen Gegenständen nicht beobachtet. Verursacht werden diese „neuen“ Eigenschaften durch die enorm großen Oberflächen, die nanoskalige Partikel im Vergleich zu ihrem Gewicht besitzen.

Geschichtliche Entwicklung

Die Verwendung von Materialien mit Nanodimensionen ist für die Menschheit nichts Neues. Schon die Höhlenmalereien unserer frühen Vorfahren bestehen aus kleinsten Ruß-Partikeln im Nanometerbereich. Viele auf Nanodimensionen beruhende Effekte werden schon lange genutzt, wenn auch ihre Ursachen teilweise nicht verstanden wurden. So wird die Färbung des bereits im Mittelalter beim Kirchenbau verwendeten rubinroten Fensterglases durch im Glas eingelagerte 5 bis 30 Nanometer große Goldpartikel verursacht. In der Renaissance wurden Nanopartikel zur Herstellung von Keramik verwendet. Blattgold, oft ver-

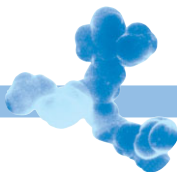
wendet zur Vergoldung von Kirchturmspitzen, besitzt eine Schichtdicke in der Dimension von 100 Nanometern. Von diesen historischen Anwendungen trennt die heutige Nanotechnologie insbesondere ein umfassenderes Verständnis der Zusammenhänge und ihrer Anwendungsmöglichkeiten.

Als wichtiger Wegbereiter der modernen Nanotechnologie wird der Physik-Nobelpreisträger von 1965, Richard Feynman, genannt, der in seinem visionären Vortrag mit dem Titel „*There's plenty of Room at the Bottom*“ 1959 am California Institute for Technology über die Zukunft der Miniaturisierungstechnik sprach (genauer: über die Manipulation und Steuerung von Materie in atomaren Maßstäben und über Computer, die auf der Basis weniger Atome rechnen) – lange, bevor es kommerzielle Taschenrechner gab und auch bevor der Begriff Nanotechnologie eingeführt wurde.

Den Begriff „Nanotechnologie“ nutzte erstmals Norio Taniguchi im Jahr 1974, als er Herstellungsmethoden beschreiben wollte, für deren Präzision der Mikrometerbereich nicht mehr ausreichte.

Der entscheidende Durchbruch der Nanotechnologie begann in der ersten Hälfte der 1980er Jahre mit der Entdeckung des Rastertunnelmikroskops. Damit gelang es erstmals, atomare Strukturen sichtbar zu machen und so das Verständnis für die Zusammenhänge zwischen Struktur und Funktion eines Materials zu verbessern.

Die Nanotechnologie ist keine Basistechnologie im klassischen Sinne. Sie beschreibt vielmehr neuartige interdisziplinäre Herangehensweisen, um Fortschritte in der Biotechnologie, Elektronik, Optik oder neuen Materialien zu generieren.



Nanomaterialien

Durch die Möglichkeit, Materialeigenschaften unabhängig von der chemischen Zusammensetzung zu gestalten, öffnen sich Wege, völlig neuartige Materialien zu schaffen.

Die Nanotechnologie, so wie sie sich heute darstellt, hat sich primär aus drei Hauptrichtungen entwickelt. Hierzu zählen physikalisch-technische Verfahren, die supramolekulare Chemie und die Biotechnologie.

Physikalisch-technische Verfahren waren in den letzten Jahrzehnten vorwiegend Treiber zur Erzeugung immer komplexerer Schaltkreise und damit kleinerer Strukturen. Immer höher getaktete Prozessoren, kapazitätsreiche Speicherbausteine und Festplatten erfordern immer kleinere Strukturgrößen, die inzwischen die 100 nm-Grenze unterschreiten.

Komplexchemie und **supramolekulare Chemie** haben zum gezielten Aufbau hochmolekularer, funktional chemischer Verbindungen mit einem enormen Anwendungspotenzial in der Katalyse, Membrantechnik, Sensorik und Schichttechnologie geführt.

Schließlich hat die Biochemie und **Biotechnologie** ihr Wissen auf zellulärer wie molekularer Ebene entscheidend ausgebaut. Der Informationsfluss vom Gen zum Protein, die Selbstorganisation von Molekülen, die Photosynthese, all diese Abläufe sind durch höchste Funktionalität und Komplexität gekennzeichnet. Die Herausforderungen an die Nanotechnologie bestehen darin, diese hocheffizienten Prinzipien auf technische Systeme zu übertragen. Daneben bietet der immer umfangreichere verfahrenstechnische Werkzeugkasten der Biotechnologie die Möglichkeit zum Design maßgeschneiderter, funktionaler Moleküle, die den Einsatz biologisch-technischer Hybridsysteme für Implantate, Neurochips oder künstliche Retina in greifbare Nähe rücken lassen.

Zur Untersuchung oder gezielten Strukturierung nanoskaliger Objekte bedient man sich primär physikalischer Verfahren. Die Herstellung der Partikel ist hingegen eine bevorzugte Aufgabe der Chemie. Biologische Nanoobjekte entstehen demgegenüber durch Selbstorganisation nach Bauplänen der Natur, wobei ein Großteil der zugrundeliegenden Prozesse auf der molekularen und damit der Nanoskala stattfindet.

Eine wachsende Herausforderung besteht in der „Verschaltung“ von Makro- und Nanowelt. Dieser Aufgabe widmen sich Systemintegrationstechniken wie Verfahren und Werkzeuge zu Entwurf und Simulation, Aufbau- und Verbindungstechnik, Testmethoden und Fertigungsverfahren. Wesentliche Anforderungen an die zugrundeliegende Aufbau- und Verbindungstechnik am Mikro-Nano-Interface sind die Realisierung der notwendigen mechanischen, elektromagnetischen oder biochemischen Verbindungen sowie die

Platzierung und Kontaktierung von Nanobausteinen mit Hilfe der Mikrosystemtechnik.

Beispiele für Anwendungen nanoskaliger Techniken

Als Rohstoffe für Nanomaterialien dienen Polymere, Keramiken, Gele aus Titan, Gold oder Wolfram. Aus Kohlenstoff können röhrenförmige Strukturen mit Durchmessern unter einem Nanometer synthetisiert werden. Diese Nanotubes verhalten sich je nach Struktur wie ein Metall oder wie ein Halbleiter (vgl. Aufsatz auf Seite XX ff. in diesem Heft). Superhydrophile oder ultraharte Nanomaterialien befinden sich schon im Vermarktungsstadium. Ultradünne Beschichtungen von Gläsern wehren unerwünschte Strahlen ab, Lacke und spezielle Klebstoffe auf Basis von Nanomaterialien haften gut und lassen sich dennoch leicht wieder lösen (Abbildung 2). Kunststofffolien werden durch Aufbringung dünnster Schichten nanoskaliger Teilchen reißfester. Sensormaterialien können durch ein nanoskaliges Design in ihrer Einsatzfähigkeit und Empfindlichkeit optimiert werden. Reaktivität, Selektivität und Lebensdauer von Katalysatoren können durch nanoskaliges „surface design“ deutlich verbessert werden.

In der Krebstherapie zählen Nanomaterialien zu den großen Hoffnungsträgern. Superparamagnetische Nanopartikel aus Eisenoxid könnten beispielsweise Tumore zerstören, wenn von außen ein schnell wechselndes Magnetfeld angelegt wird.

Alle beschriebenen Eigenschaftsveränderungen beruhen in hohem Maße auf einem synergistischen Wechselspiel von Dimension, Form und Zusammensetzung. Auf diese Weise lassen sich vielfältigste physikalische, chemische und biologische Effekte generieren.

Nanowerkstatt – vom Molekül zur Massenfertigung

Kolloidaler Schwefel oder Sulfide, jedem Chemiestudenten im analytischen Grundpraktikum bestens bekannt, Aerosole in der Atmosphäre oder aus Kraftwerksabgasen – hier sieht man sich einem ungewollten und gleichsam unliebsamen Massenauftritt nanoskaliger Partikel gegenüber.

Die Entstehung von Nanopartikeln aus Flammprozessen (Abbildung 3) ist ebenso eine bekannte Erscheinung wie der Umgang mit kolloiden Lösungen. Demgegenüber weitaus anspruchsvoller ist die Steuerung der Prozesse, um enge Partikelgrößenverteilungen sicherzustellen, eine Stabilisierung gegen Oxidation zu erreichen bzw. andere Folgereaktionen auszuschließen oder Agglomerationen zu handhaben. Um Nanostrukturen für neue technische Anwendungen zu nutzen, die in vielen Fällen bereits als Laborentwicklungen bekannt sind, sind neue Herstellungs-

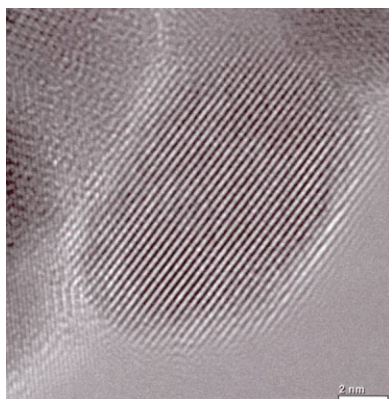


Abb. 2 Leitfähiges Indiumzinn-oxid (ITO) eignet sich als Material für antistatische Beschichtungen. Die sollen verhindern, dass Kunststoff- und Lackoberflächen sich elektrostatisch aufladen – ein Phänomen, bei dem es zu plötzlichen Entladungen kommt, in deren Folge elektronische Bauteile etwa im Computer beschädigt werden können. Bislang kommt in Antistatik-Beschichtungen vor allem Carbon Black zum Einsatz, mit dem sich jedoch keine transparenten oder beliebig farbige Beschichtungen formulieren lassen.

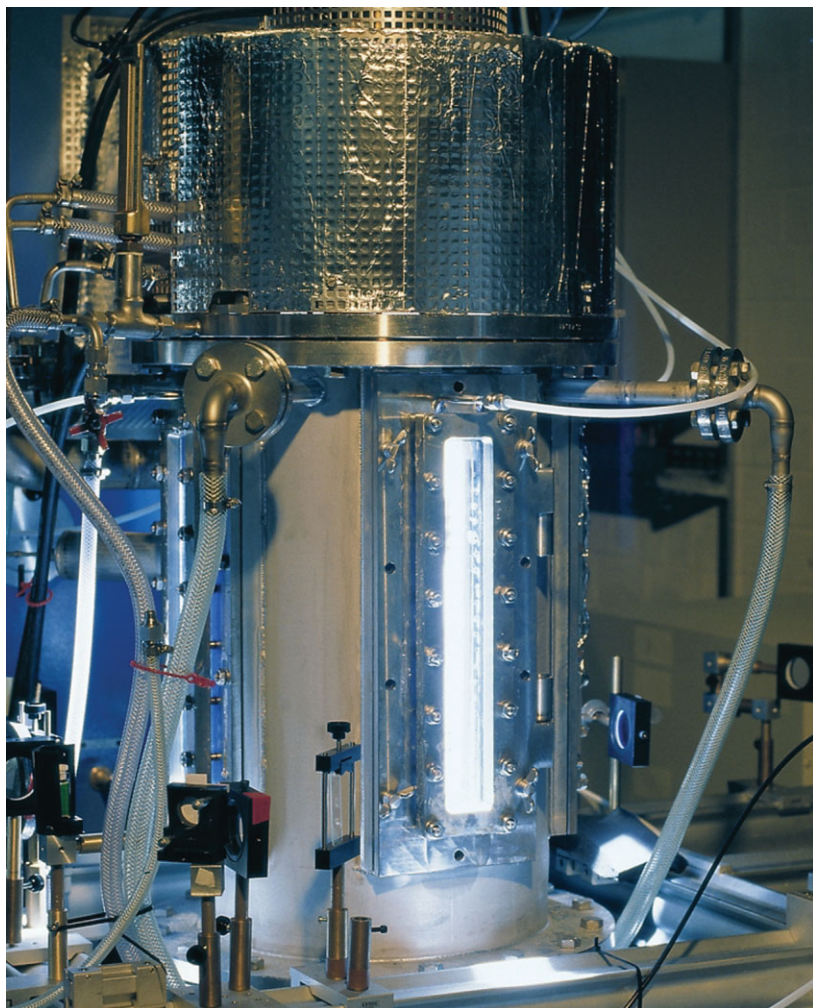


Abb. 3 Plasma-reaktor zur Herstellung von Nanopartikeln.

verfahren für komplexe Strukturen erforderlich. Obwohl man davon ausgehen kann, dass Produktionsmengen für Nanomaterialien begrenzt bleiben und die Anlagenkapazitäten nicht vergleichbar sein werden mit denen der Grundstoffchemie, stehen Ingenieure und Verfahrenstechniker doch vor vergleichbar hohen Herausforderungen.

Nanodimensionierte Strukturen gezielt und reproduzierbar herzustellen, wird bereits im Labormaßstab im wesentlichen von den analytischen Methoden zur Charakterisierung und Qualitätssicherung bestimmt. Das chemische Design funktionaler Nanomaterialien mit bestimmten physikalisch-chemischen Eigenschaftsprofilen, beispielsweise schneller Elektronenübergänge in Halbleitern oder einer selektiven Antibody-Antigen-Kopplung zur Auslösung eines gezielten Drug Release-Effektes, erfordern analytische Geräte mit Auflösungen im Bereich der nm-Skala und Techniken und Werkzeuge, die ein „Nanoengineering“ ermöglichen.

Die Analytik

Als im Juli 1993 den Teilnehmern des 2. Internationalen Schwab-Symposiums in Berlin durch die Arbeitsgruppe von Prof. Dr. Block die Ad- und Desorptionsdynamik von Gasmolekülen auf Palladium real mit Hilfe eines Feldemissi-

onsmikroskops visualisiert werden konnte, waren Fachpublikum und -presse tief beeindruckt. Diese neue Methode konnte weiterentwickelt werden und ihre praktische Anwendung auf dem Gebiet der heterogenen Katalyse demonstrieren.

Wenngleich Rasterelektronenmikroskopie kombiniert mit wellen- und energiedispersiver Röntgen-Mikroanalyse bereits seit Jahrzehnten zum Stand der Technik gehörte, erschlossen sich damit Dimensionen nur bis etwa 100 nm. Ende der 1960-iger Jahre standen erste Raster-Transmissionselektronenmikroskope zur Verfügung, deren Auflösungsgrenze bei 0,1 nm lagen. Um derartige Geräte im vollem Umfang zu nutzen, bedarf es eines hochentwickelten Know-hows in der Präparationstechnik und Handhabung. Die aufwendige Vakuumtechnik und Elektronik sowie das erforderliche hochspezialisierte Personal hemmten zunächst die Verbreitung der Geräte.

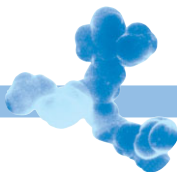
Mit der Entwicklung der Rastersondenmikroskope in den 1980-iger Jahren, die auf die Nobelpreisträger Gerd Binnig und Heinrich Rohrer zurückgingen, standen hochauflösende Geräte zur Verfügung, deren Preise weit unter denen der Elektronenmikroskope lagen. Darüber hinaus bedarf es zu ihrer Nutzung in der Regel keines Hochvakuums, um Materialoberflächen mit hoher Präzision und Auflösung zu untersuchen.

Die Nutzung des optischen Nahfelds vor der Interferenzbildung war zur Verbesserung der Auflösung im Prinzip bereits in der 30 bis 50iger Dekade des letzten Jahrhunderts bekannt. Die rasteroptische Nahfeldmikroskopie konnte sich aber erst durch verbesserte optische Fasern und eine breite Verfügbarkeit preiswerter und leistungsfähiger Laser durchsetzen. Rasteroptische Nahfeldmikroskopie und Konfokale Laser-Rastermikroskopie erreichen zwar nicht die Auflösungen der Rastersondenmikroskopie, dennoch sind sie nützliche Werkzeuge für die Untersuchungen funktionaler Nanomaterialien, der Charakterisierung adsorbierter Spezies aber auch zur Bearbeitung von Oberflächen.

So erlauben die Messspitzen der Geräte, auch Kanti-lever genannt, im *contact mode* Oberflächen mit einer Präzision im Nanometer-Bereich zu verändern oder zu dotieren. Dagegen lassen sich mit Hilfe chemisch oder auch biochemisch modifizierter Sonden im *tapping mode* spezielle molekulare Wechselwirkungen oder physikalisch-chemische Eigenschaften im nm-Kosmos untersuchen.

Das Scannen bzw. „Rastern“ setzt voraus, dass die Substrate mit hoher Genauigkeit in der Ebene und bisweilen auch in der Vertikalen bewegt werden können. Präparation und Funktionalisierung erfordern die reproduzierbare Einstellung der Positionen. Zu diesem Zweck wurden Nanomanipulatoren entwickelt, die inzwischen kommerziell verfügbar sind.

Hierzu gehören Probenstische, die die Substrate mit hoher Präzision computergesteuert in x-, y- und z-Richtung bewegen. Desweiteren auch „Nanomotoren“, die eine exakte Bearbeitung mit speziellen Spitzen oder miniaturi-



sierten Präzisionsgreifern gestatten. Diese mechanischen Systeme lassen sich zu „Nanowerkbänken“ kombinieren, die gegenwärtig im wesentlichen zu Forschungszwecken eingesetzt werden.

Nanopowders und nanoskalige Pigmente werden bereits heute industriell hergestellt. Die Qualitätsanforderungen wachsen und damit die Herausforderungen an die Verfahrenstechnik. Trenntechniken für Nanopartikel sind verfügbar, aber ihre verfahrenstechnische Nutzung zur Realisierung kostengünstiger Produktionen erfordert noch erheblichen Entwicklungsaufwand. Dies gilt gleichermaßen für die biomedizinische Nutzung, welche die hochreine Herstellung von Pharmaka und ihre Separierung, die Entwicklung von Organersatz oder therapeutische Direktmaßnahmen im Fokus hat.

Gute Aussichten mit Nanos

Die chemische Industrie erwirtschaftet schon heute Milliardenumsätze aus der Herstellung von nanoskaligen Oxiden, z.B. für Farbeffekte von Lacken, in der Kosmetik, in der Kunststoff-, Silikon- oder in der Elektronikindustrie. Mit UV-Schutzsystemen, die nanostrukturiertes Titandioxid enthalten, wird ein jährlicher Umsatz von annähernd 50 Millionen Euro erwirtschaftet.

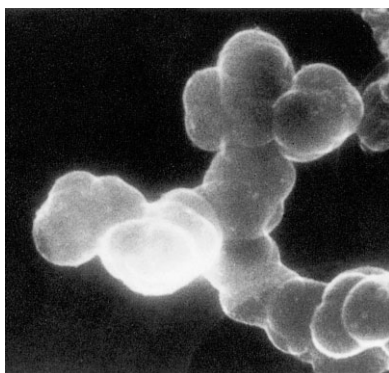
Die Degussa ist bereits seit längerem auf Teilgebieten der Herstellung und Vermarktung von feinteiligen Oxiden und Ruß tätig. Beispiele hierfür sind pyrogene Kieselsäuren, Titandioxid, Aluminiumoxid und Carbon Black (Abbildung 4). Im Bereich der pyrogenen Kieselsäure hat das Produkt AE-ROSIL® eine bereits sechzigjährige Erfolgsgeschichte: Konzipiert als „weißer Ruß“, um den schwarzen Ruß als Gummifüllstoff in der Reifenindustrie abzulösen, wurde es Anfang der 1940er Jahren erfunden. Die besonderen physikalisch-chemischen Eigenschaften der pyrogenen Kieselsäure sorgen für eine Vielfalt von Einsatzmöglichkeiten, insbesondere als Verstärkerfüllstoff in Silikonkautschuk und als Verdickungsmittel in Kunststoffen, Druckfarben und Zahnpasten. Pyrogene Kieselsäure verbessert das Fließverhalten von Pulvern, da es vor Verklumpen schützt. In modernen Druckerpapieren ermöglichen nanostrukturierte pyrogene Kieselsäuren und Aluminiumoxide hochglänzende Ink-Jet-Ausdrucke. Der schwarze Ruß, Carbon Black, findet sowohl in der Reifenindustrie zur Erhöhung der Abriebbeständigkeit, Haftung und Elastizität als auch als Schwarzpigment für Tinten, Lacke, Beschichtungen und Kunststoffe Verwendung.

Effektiver Sonnenschutz wird durch den Einsatz von nanostrukturiertem Titandioxid bzw. Zinkoxid als UV-Filter in Sonnenschutzformulierungen gewährleistet. Je kleiner diese Teilchen sind, umso größer ist ihre Oberfläche und umso mehr UV-Licht können sie absorbieren. Dies ermöglicht

hohe Lichtschutzfaktoren bei gleichzeitiger Transparenz und einem guten Hautgefühl (vgl. Aufsatz über Sonnenschutz in ChiuZ 2/2004).

Auf dem Gebiet der Oberflächenbehandlung von Mikrochips, dem Chemical Mechanical Polishing, helfen nanoskalige Teilchen in Dispersionen beim Polieren, ultraglatte Oberflächen zu erzeugen. Sie polieren die Funktionsstrukturen der Mikrochips nahezu „atomar glatt“. Hohe Abtragungsraten lassen sich so mit einer hohen Planarität verbinden (vgl. Aufsatz über Wafer in ChiuZ 3/2003).

Kratzfeste Autolacke lassen sich unter Verwendung von Nanopartikeln auf Basis von Siliciumdioxid erzeugen. Kombiniert mit einer umhüllenden Schicht aus organischen Silanen entstehen so Nanokapseln mit einem sehr harten Kern und einer weichen Schale. Dieser Aufbau gestattet den direkten Eintrag der Nanokapseln in das Bindemittel der Lacke, so dass keine weiteren Lösemittel eingesetzt werden müssen. Als Ergebnis erhält man Hybridlacke, deren Kratz- und Abriebfestigkeit bis zu zehnmal höher ist als bei herkömmlichen Acryllacken. Mercedes-Benz hat als erste Automobilmarke weltweit Ende vergangenen Jahres Nanoklarlacke in die Serienproduktion eingeführt.



Wirtschaftliches Potenzial

Nanomaterialien besitzen ein enormes wirtschaftliches Potenzial. Schon heute umfasst der Markt für Nanomaterialien, nanoskalige Systeme und Nanowerkzeuge gut 7,5 Milliarden Dollar (BCC, USA 2004). Das Volumen des heutigen Weltmarktes für nanotechnologische Produkte ist nach Abschätzungen der amerikanischen In-

dustrievereinigung Nano Business Alliance (NBA, USA 2001) und der DG Bank jedoch größer als 50 Milliarden Euro. Nach Angaben der DG Bank betrug der Nanotechnologieumsatz im Jahr 2001 54 Milliarden Euro. Er setzt sich zusammen aus den Bereichen Nanopartikel und -composite (23 %), Schichten (44 %), Systeme zur Analyse von Nanostrukturen (6 %), Oberflächenbearbeitungsverfahren (24 %) und laterale Nanostrukturen (3 %). Vielfach handelt es sich hier um schon lange bekannte, etablierte Produkte. So ist der Umsatz von ca. 13 Milliarden Euro für Nanopartikel und -composite zu 95 % auf etablierte Nanopartikel wie nanoskaliges Siliciumdioxid, Titandioxid, Aluminiumoxid und Eisenoxid zurückzuführen.

Für das Jahr 2010 prognostiziert die DG Bank einen Nanotechnologie-Umsatz von 220 Milliarden Euro. Die DG Bank nimmt für diese Prognose ein Wachstum von 15 – 17 Prozent pro Jahr an. Ein weitaus größeres Potenzial schreibt die NBA der Nanotechnologie zu: schon im Jahre 2005 soll ein Marktvolumen von 225 Milliarden US \$ erreicht sein und für 2008 wird ein Umsatz von 700 Milliarden US \$ mit von Nanotechnologie beeinflussten Produkten und Dienstleistungen prognostiziert. Im deutlichen Unterschied hier-

Abb. 4 Carbon Black ist ein unter festgelegten Bedingungen und bei weit über 1.000 Grad Celsius hergestellter Industrieruß.

VON DER IDEE ZUM START-UP

Im Jahr 2003 hat Degussa das interne Start-Up „Degussa Advanced Nanomaterials“ aus der Taufe gehoben. Es beschäftigt sich mit der Entwicklung und Vermarktung innovativer Nanomaterialien. Seinen Ursprung hat das Start-up im früheren Projekthaus Nanomaterialien, das Degussa zum 1.1.2000 gestartet hatte, um gemeinsam mit verschiedenen Hochschulen neue Nanomaterialien und Herstellungstechnologien zu entwickeln.

Ein Produkt, welches das interne Start-up bereits zur Marktreife gebracht hat, ist nanoskaliges Zinkoxid. Es kommt als UV-Filter in Sonnencremes zum Einsatz und ermöglicht hohe Lichtschutzfaktoren in Kombination mit einem angenehmen Hautgefühl und hoher Transparenz.

Ein weiteres Beispiel einer neuen Anwendung ist das „Bonding and Debonding on Demand“, also ein reversibler Klebeprozess, der ein kontrolliertes Härten und Lösen von Klebverbindungen mittels elektromagnetischer Wechselfelder ermöglicht. Herzstück des Verfahrens sind funktionsgebende Nanokomposite. Sie werden in einem Flammenprozess hergestellt, wobei 5 bis 25 Nanometer große Eisenoxid-Kristalle isoliert in eine nanoskalige Matrix aus Siliciumdioxid eingebaut werden (Abbildung 5). Aufgrund ihrer geringen Größe sind die Kristalle superparamagnetisch, können also mittels hochfrequenter Wechselfelder erwärmt werden. Auf diese Weise wird selektiv der Klebstoff erwärmt und in wenigen Minuten sind so hohe Festigkeitswerte erreichbar.

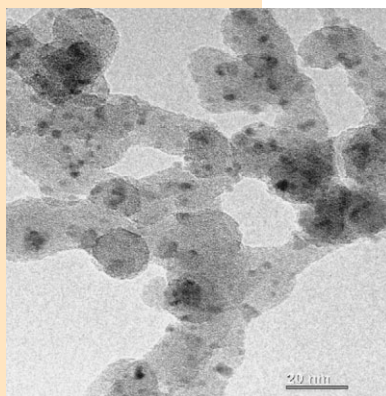


Abb. 5
Eisenoxidanopartikel

zu schätzt BCC den Markt für Nanomaterialien im Jahr 2008 konservativ auf nur 29 Milliarden US\$.

Die enorme Spannbreite zwischen den Marktschätzungen lässt sich vor allem durch die schwierige Abgrenzung der Nanotechnologie von herkömmlichen Technologien erklären. Das Marktforschungsinstitut BCC beschränkt sich hauptsächlich auf originär nanoskalige Materialien und Systeme, die DG-Bank und in noch größerem Ausmaß die NBA berücksichtigen darüber hinaus auch von Nanotechnologie beeinflusste Produkte. Zukünftig werden in zunehmendem Maße auf Nanotechnologie basierende Komponenten in heute schon etablierten Produkten integriert werden. Bei solchen Produkten ist es sehr schwierig, die auf Nanotechnologie basierenden Wertschöpfungsanteile zu bestimmen. Relativ zuverlässige Marktabschätzungen sind nur für ursprüngliche Nanoprodukte, z. B. Nanopartikel, möglich. Marktprognosen werden zudem auch durch die unterschiedlichen Entwicklungsgrade der Nanotechnologie in den einzelnen Anwendungsfeldern erschwert. Da viele potenzielle Anwendungen sich noch in einem frühen Entwicklungsstadium befinden, gibt es große Unsicherheiten im Hinblick auf Zeitpunkt und Umfang der zu erwartenden wirtschaftlichen Auswirkungen.

Es ist zu erwarten, dass zukünftig die Nanotechnologie als Querschnittstechnologie in nahezu allen Bereichen der Technik eine herausragende Rolle spielen wird. Die damit verbundenen wirtschaftlichen Chancen sind zweifelsohne enorm.

Nanotechnologie und Gesellschaft

Nanotechnologie wird heute von vielen als die entscheidende Schlüsseltechnologie angesehen, die das 21. Jahrhundert maßgeblich prägen wird. Wie bei vielen avantgardistischen Themen gibt es immense Erwartungen und Hoffnungen, aber auch Ängste und Besorgnisse. Insbesondere das Potenzial möglicher Anwendungen und ihrer Folgen wird sehr unterschiedlich beurteilt.

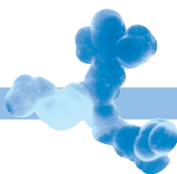
Das vielfältige Innovationspotenzial für Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft macht Nanotechnologie zu einem außerordentlich visionären Thema. Die öffentliche Diskussion beinhaltet kurzfristige Visionen zu Potenzialen und wirtschaftlichen Chancen. Daneben werden auch Risiken für Wirtschaft, Gesundheit und Umwelt diskutiert. Letztere sind stark geprägt von den utopisch anmutenden Gedanken der Autoren K. Eric Drexler, Bill Joy und Ray Kurzweil. Zentraler Ausgangspunkt dieser Utopien sind Anfang der 1980er Jahre von Drexler veröffentlichte Überlegungen zur Möglichkeit von universellen Fertigungsprozessen auf der molekularen Ebene. Er entwickelte die Vision, dass Nanofertigungsprozesse für den Bau von Nanomaschinen entwickelt werden, mit denen sich zukünftig alles konstruieren lasse, was von den Naturgesetzen her möglich ist.

Von Drexlers Ideen inspiriert ist auch die Annahme, dass Nanomaschinen bzw. Nanoroboter zukünftig intelligent und selbstreplizierend sein könnten. Hierauf basieren pessimistische Utopien, die Schreckensvisionen von einer unkontrollierbaren Technik zum Inhalt haben. Die technische Realisierung intelligenter, sich unkontrolliert vermehrender Nanomaschinen wird Science Fiction bleiben. Grundsätzliche physikalische Grenzen wie die der Thermodynamik stehen einer Verwirklichung entgegen, und es gibt kaum Vorstellungen dazu, wie diese Barrieren überwunden werden können.

Positive, einschließlich eher utopisch anmutende Visionen zur Nanotechnologie können eine für ihre Weiterentwicklung förderliche öffentliche Aufmerksamkeit erzeugen. So wird insbesondere in den USA die durch futuristische Visionen geweckte Begeisterung bewusst als Mittel zur Förderung der Technologieentwicklung genutzt. Bei der Diskussion von Chancen und Risiken der Nanotechnologie ist Sensibilität gefragt. An den Beispielen Atomenergie und Gentechnik lässt sich ablesen, wie schwer es ist, eine sachliche Diskussion zu führen, wenn die gesellschaftliche Akzeptanz beschädigt und die öffentliche Meinung überwiegend von Ängsten geprägt ist.

Zusammenfassung

Nanomaterialien und ultradünne Beschichtungen von Nanopartikeln werden die Eigenschaften vieler künftiger Produkte bestimmen: Ultraharte Oberflächen, superschnelle Computer, schmutzabweisende Oberflächen, neuartige Krebsbehandlungsmethoden, kratz feste Beschichtungen, preiswerte Solar-



zellen, preiswerte Displays und druckbare Elektronik. Der Markt für Nanotechnologieprodukte wächst zweistellig und wird im Jahr 2010 mehrere hundert Milliarden US-Dollar betragen.

Summary

Nanomaterials and ultra-thin functional coatings of nanoparticles will determine the utility of many products in the future: superhard materials, superfast computers, dirt-repellent surfaces, new cancer treatments, scratch-proof coatings, low cost solar cells, low cost displays and printable electronics. The market for products manufactured by nanotechnology is already registering double-digit growth rates and will amount to hundreds of billions of US Dollar by 2010.

Schlagworte

Nanotechnologie, Nanomaterialien, Nanotronics, Advanced Nanomaterials

Die Autoren



Johannes Averdung, geb. 1965, studierte Chemie und Germanistik an der Universität Münster. Nach Diplomarbeit und Dissertation in organischer Chemie bei Prof. J. Mattay in Münster und Kiel und Tätigkeit als Trainee in Forschung & Entwicklung bei der Hüls AG in Marl trat er Anfang 1998 in den Bereich Innovationen & Technologie-Monitoring der Creavis GmbH, nun Degussa AG, Creavis Technologies & Innovation, ein. 2003 wechselte er in den Bereich Exploration & Validierung und ist derzeit als F&E-Manager im Rahmen der Science-to-Business-Aktivitäten der Degussa für Kooperationsprojekte und öffentliche Förderung zuständig.



Lothar Heinrich, Jahrgang 1944, nach Chemie-Ingenieur-Studium in Essen und Studium der Chemie 1979 Promotion in Physikalischer Chemie an der Universität in Münster erfolgte der Eintritt in die Verfahrenstechnik der Hüls AG im gleichen Jahr. Nach verfahrenstechnischer Forschung und Controlling-Aufgaben übernahm er die Leitung verschiedener Produktionsbetriebe und den Aufbau einer bereichsübergreifenden Forschung mit Ausrichtung auf Medizintechnik. Seit 1998 nimmt er in der Creavis Technologies & Innovation Aufgaben auf den Gebieten Venture Capital und Aufbau von F&E-Kooperationen mit Osteuropa wahr. Lothar Heinrich ist Mitglied des Vorstandes der AG Biomaterialien NRW und hat Lehraufträge an den Universitäten Kiew und Münster.



Christiane Schmitz, Jahrgang 1969, absolvierte grenzüberschreitende deutsch-französische Studien an den Universitäten Heidelberg, Saarbrücken und Metz (F). Nach ihrer Diplomarbeit trat sie 1997 in die Degussa AG, in den damaligen Geschäftsbereich Kautschukchemikalien und Pigmente ein. Es folgte ein berufsbegleitendes Studium der Betriebswirtschaftslehre mit Abschluss Diplom-Kauffrau (FH) und 2003 der Wechsel in das Degussa-interne Start-Up Advanced Nanomaterials in Hanau-Wolfgang. Christiane Schmitz ist mitverantwortlich für die Vermarktung der im Projekthaus Nanomaterialien entwickelten Produkte.

SCIENCE TO BUSINESS CENTER NANOTRONICS

Für die erfolgreiche Entwicklung neuer nanomaterialbasierter Produkte ist eine enge Verflechtung von Grundlagenforschung und Anwendungsentwicklung essenziell. Daher werden zukünftig wesentliche Nanotechnologie-Aktivitäten der Degussa in einem neuen „Science to Business Center Nanotronics“ bearbeitet, welches zur Zeit am Standort Marl entsteht.

Basis dieses Konzeptes ist eine Symbiose aus universitärer Grundlagenforschung und industriellem Anwendungs- und Marketing-Know-How. Dadurch kann die Zeitspanne von der Erfindung bis zum verkaufsfähigen Produkt drastisch verkürzt und so entscheidende Wettbewerbsvorteile gesichert werden.

Im „Science to Business Center Nanotronics“ werden Wissenschaftler von Universitäten, klein- und mittelständischen Unternehmen und Degussa gemeinsam im Rahmen eng vernetzter Kooperationen zusammenarbeiten. Mitarbeiter von Hochschulen und Instituten werden temporär in das Center integriert. Exzellente wissenschaftliche Expertise wird so mit industriellem Projektmanagement und der bedarfsorientierten Infrastruktur eines Chemiestandorts vereinigt.

Das „Center Nanotronics“ wird primär auf die Entwicklung elektronischer Systeme und Bauteile abzielen, deren Kernkomponenten aus neuartigen elektrisch funktionalen Nanomaterialien und -schichten bestehen. Anwendungsfelder sind u. a. preiswerte Displays, druckbare Elektronik, flexible Solarzellen und mobile Energiesysteme.

Die Labor- und Technikumseinrichtungen des Centers werden auf die zentrale Technologieplattform „Nanotronics“ ausgerichtet. Hierbei werden alle Stufen der Wertschöpfungskette, ausgehend von den chemischen Rohstoffen bis zu den Produkten der Endkunden, berücksichtigt. Vom ersten Versuch im Labor bis zur Pilotfertigung im Technikum sind Apparate und Maschinen zur Herstellung und Charakterisierung von funktionalisierten Nanomaterialien, Dispersionen und Formulierungen, Hybrid- und Kompositmaterialien, funktionalen Schichten, Halbzeugen und Demonstratoren vorgesehen.

Aktivitäten des „Science to Business Centers Nanotronics“ werden durch das Land NRW gefördert. Darüber hinaus wird eine projektbezogene Förderung durch BMBF- und DFG-Mittel angestrebt.

Dieses Projekt wird von der Europäischen Union kofinanziert.



Andreas Gutsch, Jahrgang 1964, studierte Chemieingenieurwesen an der Universität Karlsruhe. Nach seiner Diplomarbeit promovierte er auf dem Gebiet der Agglomeration feinsten Partikel und trat 1995 in die Verfahrenstechnik der damaligen Degussa AG ein, wo er auf dem Gebiet der Partikeltechnologie tätig war. Im Jahr 2000 übernahm er die Leitung des neugegründeten Projekthauses Nanomaterialien, seit 2002 leitet er die Creavis Technologies & Innovation.



Peter Ottersbach, geb. 1963, studierte Chemie an der Universität Bonn. Nach seiner Diplomarbeit und Dissertation in physikalischer Chemie bei Prof. Dr. Joachim Bargon trat er 1995 in die Hüls AG ein, wo er sich mit Oberflächenmodifizierungen von Kunststoffen für Medizinprodukte beschäftigte. Ab 1998 war er in der Creavis GmbH, heute Degussa AG Creavis Technologies & Innovation, für die Entwicklung einer Klasse neuartiger, intrinsisch antimikrobieller Polymere, ab 2001 für deren Vermarktung verantwortlich. Seit 2003 ist er als Projektverantwortlicher auf den Gebieten Innovationsmanagement und Kommunikation tätig.

Korrespondenz- adresse:

Dr. Peter Ottersbach,
Degussa AG
Paul-Baumann-Str. 1
45764 Marl
E-Mail: peter.ottersbach@degussa.com