

Nanotechnologie – Chance oder Risiko?

Harald Fuchs

Materie auf molekularer und atomarer Skala untersuchen und gezielt verändern zu können, ist ein alter Traum der Naturwissenschaften. Auf dem modernen Gebiet der Nanowissenschaften beginnt dieser Traum Realität zu werden – und damit eröffnen sich neue technologische Möglichkeiten in nahezu allen Technologiebereichen einschließlich der Medizin und der Umwelttechnik. Oberflächenveredelung, intelligente nanoskalige Materialien, schnellere Elektronik, Optik, Sensoren und Nanomotoren sind nur einige Beispiele dieses interdisziplinären Gebietes. Noch steckt die Nanotechnologie in den Kinderschuhen, erste Ergebnisse und Anwendungen lassen jedoch ein enormes Potential erwarten. Besonders der 'biologische Ansatz' der Selbstorganisation ist äußerst vielversprechend, weckt aber andererseits zahlreiche diffuse Ängste hinsichtlich der Beherrschbarkeit dieser Querschnittstechnologie insgesamt. Wie groß sind die Chancen wirklich und welche Risiken können wir heute absehen? Einige Beispiele und gesellschaftlich wichtige Aspekte werden in diesem Artikel diskutiert.

Die Nanometerskala

Die Technologieentwicklung der letzten Jahrzehnte war geprägt durch eine stetige Miniaturisierung, die zur Produktion von immer leistungsfähigeren elektronischen Produkten führte, die schließlich als Massenprodukte für jeden einzelnen erschwinglich wurden. Seit der Erfindung des Transistors wurden große technologische Anstrengungen unternommen, hochintegrierte elektronische Bausteine zu entwerfen, die heute weit über 100 Mio. Transistorfunktionen auf einem einzigen Siliziumchip vereinigen. Dennoch gehorchen auch die hochkomplexen Computerchips von heute noch den selben physikalischen Gesetzen, nach denen auch die ersten experimentellen Spitzentransistoren funktionierten. Extrapoliert man nach dem Moore'schen Gesetz die bisherige Entwicklung, so wird absehbar, daß innerhalb der nächsten beiden Jahrzehnten eine physikalische Grenze der Strukturgrößen erreicht sein wird, unterhalb derer ein Technologiewechsel notwendig wird, weil zunehmend quantenmechanische Effekte die Funktion elektronischer Bauelemente dominieren.

Eine charakteristische Skala hierfür ist der Bereich unterhalb von 100 nm, der in bestimmten Strukturen heutiger Chips bereits unterschritten wird. Hier kann man bereits von Nanotechnologie sprechen, die sich von der konventionellen Mikrosystemtechnik und Mikroelektronik vor allem dadurch unterscheidet, daß hier qualitativ neue Effekte abrupt auftreten, die nicht durch eine weitere Miniaturisierung vorhandener Technologien zu erreichen sind. Dies ist ein erstes wichtiges Charakteristikum der Nanotechnologie. Für sie sind völlig neue technologische Konzepte und Verfahren erforderlich. Ein Nanometer ist ein ungeheuer kleines Längenmaß, es ent-

spricht etwa dem 50.000stel des Durchmessers eines Haares und damit etwa 4-5 aneinandergereihten Atomen. Die zweite Aufgabe der Nanotechnologie ist es, diese Skala zu beherrschen und vor allem einzelne Atome und Moleküle gezielt und individuell zu adressieren. Ein dritter wichtiger Aspekt der Nanotechnologie ist der 'biologische Ansatz', bei dem es um die Erzeugung von *komplexen funktionalen Strukturen* geht, ein Standardverfahren der Natur. Alle biologischen Funktionsstrukturen, wie sie in Form von Proteinen und in Zellmembranen mit einer Dicke von etwa 5 nm vorliegen, sind auf geordneten komplexen Nanostrukturen aufgebaut, wobei diese super- und supramolekularen Strukturen qualitativ andere Eigenschaften aufweisen als die einzelnen Moleküle, aus denen sie zusammengesetzt sind. Dieses Konzept technologisch umzusetzen, ist eine der größten Herausforderungen der Nanotechnologie insgesamt, da bisher nur wenig darüber bekannt ist, wie die Programmierung des Aufbaues komplexer Strukturen in der Biologie eigentlich vonstatten geht. Gerade dieser Gesichtspunkt wird in den nächsten Jahrzehnten zu einem zentralen Thema der Nanotechnologie werden.

Die technisch-wissenschaftlichen Herausforderungen der Nanotechnologie lassen sich grob in zehn zentrale Bereiche einteilen:

1. Nanomaterialien

Die Erzeugung von nanoskaligen Materialien ist bereits in vollem Gange und wird – technologisch betrachtet – einer der ersten wirtschaftlich interessanten Bereiche sein. Hierbei geht es um die Nutzung von physikalischen Effekten, die in bestimmten geordneten oder ungeordneten nanoskaligen Materialien auftreten, und die an makro-

skopischen, beispielsweise polykristallinen Festkörpern der gleichen chemischen Zusammensetzung nicht zu beobachten sind. Hierzu gehören z.B. Quantenpunktstrukturen, metallische und halbleitende Nanocluster sowie kompaktierte Nanopulver, aber auch gezielt hergestellte Ruße, wie sie für die Autoreifenproduktion erforderlich sind. Zu den technologischen Effekten gehören z.B. spezielle Markermaterialien für die Biologie und Medizin, aber auch Aerogele mit ihrer hohen Wärmedämmungseigenschaft, selbstreinigende Oberflächen und vieles andere.

2. Verbesserung bestehender Produkte

Ein wichtiger Anwendungszweig nanotechnologisch hergestellter Produkte dürfte in der näheren Zukunft im Bereich der Oberflächenveredelung und der Effizienzsteigerung von Katalysatoren liegen. Hierbei geht es nicht um die Herstellung völlig neuartiger Materialien, sondern um die Verbesserung und wirtschaftlichere Herstellung bereits vorhandener Produkte wie kratzfeste Autolacke und selbstheilende Oberflächen, reibungsmindernde Schichten und Korrosionsschutzschichten, die sich zum Teil sogar selbst regenerieren können. Auch wenn es hierbei nicht um eigenständige Nanoprodukte geht, ist das Marktpotential in diesem Bereich erheblich.

3. Lernen von der Biologie

Die Biologie erzeugt zahlreiche Verbundmaterialien durch Selbstorganisation, die auch technologisch gesehen äußerst interessante Eigenschaften haben. Hierzu gehören z.B. Muschelschalen, die eine hohe mechanische Festigkeit besitzen, obgleich sie zu 98 % aus sehr spröden mineralischen Stoffen bestehen. Der geschickte Einsatz eines geringen Anteils von organischen Zwischenschichten, die für sich gesehen sehr weich und elastisch sind, aber keine große mechanische Stabilität aufweisen, führt im geeigneten Verbund, zumeist über nanoskalig geordnete Schichtsysteme, zu einem hochzähen Material, welches genau die richtige Kombination von Bruchfestigkeit und Elastizität aufweist. Dieses Prinzip ist auch in unseren Skelettknochen durch den Verbund von kalziumkarbonathaltigen Anteilen und Kollagen realisiert. Das Konzept der nanoskaligen Strukturierung von Verbundmaterialien wird bereits in der Kunststoffherstellung sowie bei Keramiken und metallischen Legierungen gezielt eingesetzt.

Ein anderer, technologisch bisher kaum genutzter Effekt ist der Lotuseffekt, der sich in der Biologie in vielen Bereichen sowohl in der Flora als auch in der Fauna in selbstreinigenden Oberflächen ausdrückt. Durch eine geeignete wasserabweisende chemische Beschichtung, in der Natur zumeist Wachse, und Oberflächenstrukturierung

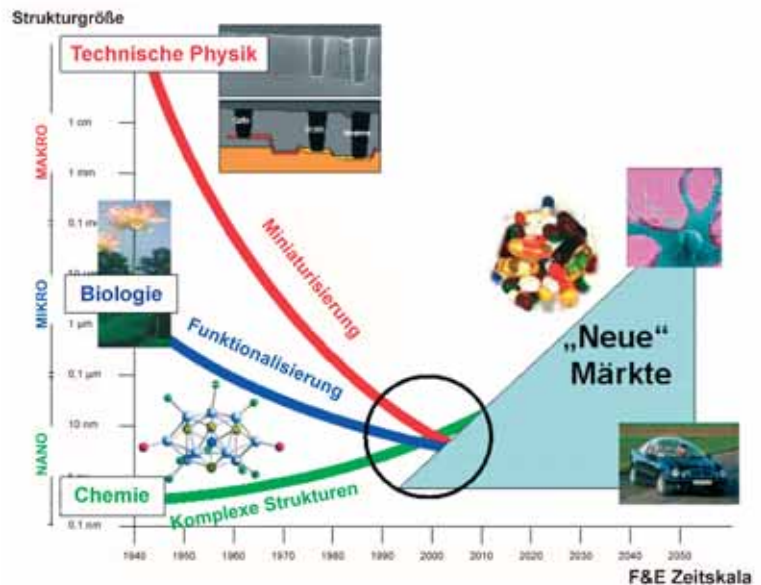


Abb. 1

Entwicklung der Physikalischen Technologien über die letzten 60 Jahre und Trends in den chemischen und biologischen Wissenschaften. Während im Bereich der Technik (rote Kurve) Strukturen immer kleiner, schneller und billiger wurden, versucht man im Bereich der Chemie (grüne Kurve) tendenziell immer komplexere und größere molekulare Strukturen und Systeme aufzubauen. In der Biotechnologie (blau) wurden immer kleinere funktionale Systeme hergestellt (z.B. Biosensoren). Im Bereich der Nanometerskala (vertikale Achse) werden die klassisch getrennten naturwissenschaftlichen Disziplinen (Physik, Chemie, Biologie (blaue Kurve)) zusammengeführt (schwarzer Kreis). Daraus entstehen zukünftig neue Arbeitsfelder und Märkte u. a. im Bereich des Automobilbaus, der Pharmaindustrie und der Medizin (z.B. Kopplung neuronaler Strukturen mit elektronischen Bauteilen).

von der Nanoskala bis zur Mikroskala können Oberflächen erzeugt werden, die durch Wasser, aber auch z.T. durch Öle und Fette nicht mehr benetzt werden können. Mit diesem Trick gelingt es der Natur, Oberflächen herzustellen, die praktisch nicht mehr verschmutzen können bzw. bei denen vorhandener Schmutz durch Regenwasser ohne weitere mechanische Einwirkung einfach abgewaschen wird. Obschon dieses Konzept in der Natur Jahrtausende alt ist, wird es technisch bisher kaum genutzt. Die Methode eignet sich jedoch außer zur Herstellung von schmutzabweisenden Fensterscheiben oder Autolacken, auch zum Einsatz in völlig anderen Bereichen, etwa der Diagnostik zur Herstellung von miniaturisierten Labors (Lab-on-a-chip, vgl. Beitrag Hesselbach). Die Übertragung eines bestimmten Prinzips in verschiedenste Technologiebereiche ist typisch für die Nanotechnologie. Es zeigt sich hierbei auch, daß dieses Gebiet nicht auf die

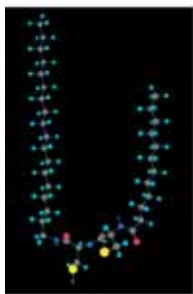


Abb. 2
Beispiel für ein chirales Molekül (links), das aus relativ einfachen Einheiten komplexe Strukturen an einer Wasser/Luftgrenzfläche erzeugt (rechtes Bild, Größe: 6x4mm). (Synthese: Prof. Erker, Inst. F. Organische Chemie, WWU Münster, Bilder: PD Dr. L.F. Chi, Physikalisches Institut, WWU Münster)

Elektronik beschränkt ist, sondern viele bekannten Technologiebereiche betrifft.

4. Elektronik und Computertechnologie

In diesem Bereich haben sich in den letzten Jahrzehnten die technologisch rasantesten Entwicklungen abgespielt. In Deutschland erkannte man erst relativ spät, daß die Erzeugung von winzigen Siliziumchips (im Vergleich zu Stahl, Kohle und Automobilindustrie) zur eigentlichen Schlüsseltechnologie wachsen würde, da keines der anderen Technologiefelder ohne Mikroelektronik auskommt [1] und so die Technologieführerschaft auch im Automobilbau oder im Bereich der Konsumelektronik entscheidend davon abhängt, von welchem Land die weitestentwickelten elektronischen Chips hergestellt werden.

Nach der Einführung der integrierten Schaltung durch Jack Kilby in den 70er Jahren, konnte im Bereich der Computerindustrie eine dramatische Miniaturisierungsentwicklung erreicht werden, die uns die 'Personal Computer' beschert hat. Über die weltweite Vernetzung durch das Internet, hat diese Technologie massive Veränderungen des Kommunikationsverhaltens bewirkt, welches sich sowohl in der Wirtschaft als auch im Freizeitverhalten vieler Millionen Menschen niederschlägt. In nahezu allen Bereichen des täglichen Lebens, im Haushalt, in fast allen Bereichen der beruflichen Tätigkeit, im Auto-, Schienen- und Luftverkehr ist nur noch mit der Unterstützung modernster Computerelektronik ein reibungsfreier Ablauf gewährleistet. Die weitere Miniaturisierung stößt jedoch an physikalische Grenzen, sobald die Quanteneffekte, vor allem Elektronentunneln und ballistische Effekte mit zunehmender Verringerung der Strukturgrößen wichtig werden. Bereits heute arbeiten viele Firmen, bisher vorwiegend noch im Bereich der exploratorischen Forschung, an neuen elektronischen Konzepten, wie z.B. der Nutzung von Quantenphänomenen in Quantenpunktstrukturen für neue Laser oder der molekularen Elektronik, d.h. Elektronik, die auf einigen wenigen Molekülen aufbaut, oder der sog. Spintronik, die nicht

mehr die Elektronen selbst, sondern deren Kreiseigenschaft zur Informationsverarbeitung nutzt (s. Beitrag Waag). Welche dieser Möglichkeiten technologisch umgesetzt werden kann, hängt nicht nur von weiteren Grundlagenerkenntnissen, sondern auch von wirtschaftlichen Grenzen ab, die möglicherweise schon lange vor dem Erreichen der physikalischen Grenzen der weiteren Miniaturisierung der Elektronik erreicht werden könnten. Selbst weltweit organisierte Konsortien im Bereich der Elektronikindustrie, die gemeinsam den Aufbau von neuen sog. 'Fabs' zur Herstellung von hoch integrierten Schaltungen der nächsten Generationen betreiben, werden sehr bald an wirtschaftliche Grenzen stoßen, oberhalb derer ein weiterer Miniaturisierungsschritt aufgrund extremer Kosten nicht mehr sinnvoll ist.

Zunehmend wird neue und billige Elektronik eine Rolle spielen, bei der nanotechnologische Konzepte wichtig werden, ohne daß extrem geringe Strukturgrößen per se für die Funktion erforderlich sind. Dazu gehören etwa druckbare elektronische Schaltungen auf Polymerbasis, die zur Herstellung von intelligenten Preisschildern in Warenhäusern, oder als in Kleidungsstücke integrierte Elektronik auf den Markt kommen werden. Diese „Wegwerfelektronik“ wird bestimmte nützliche oder wünschenswerte Funktionen einführen, die wir in dieser Form heute noch nicht kennen, wie etwa ein in die Kleidung integriertes Telefon, Satellitennavigationssystem oder ein Warnsystem vor herannahenden Fahrzeugen. Denkbar wäre auch ein elektronischer, in die Kleidung integrierte Ausweis, der den Besitzer an bestimmten biomimetischen Eigenschaften automatisch erkennt und so seinem Träger den Zugang zu den ihm erlaubten Bereichen in Gebäuden, bei seiner Kontoführung oder beim Starten seines Fahrzeuges ohne konventionelle Schlüssel erlaubt. Diese elektronischen Helfer im Umfeld eines Menschen könnten sich selbständig und adaptiv miteinander vernetzen, ohne daß ein Benutzer aktiv eingreifen muß (und kann).

5. Energieverbrauch und Umweltschutz

Die durch die Nanotechnologie zu erwartende Miniaturisierung von neuen Funktionselementen für die Informationsverarbeitung hat wie die bisherige Miniaturisierungswelle im Bereich der Mikroelektronik ein erhebliches Potential im Bereich der Energieeinsparung und damit des Umweltschutzes. Laut einer Statistik der Fa. IBM aus dem Jahre 2001 wurden für das Erhebungsjahr weltweit ca. 550 Mrd. US-Dollar für Energiekosten zum Betrieb aller aktiven Computer verbraucht. Diese Kosten werden sich in naher Zukunft nicht wesentlich verringern, obwohl die einzelnen Computer immer weniger Energie verbrauchen, weil durch fallende Preise zugleich

Carl Zeiss SMT

**Je kleiner die Dimensionen werden,
desto größer wird der Maßstab, in dem man
denken muss.**



Enabling the Nano-Age World®
Nanotechnologie erfindet die Welt von Grund auf neu. Und je kleiner die Strukturen, desto größer der Anspruch an die Werkzeuge, mit denen man sie analysiert und manipuliert. Die Carl Zeiss SMT besitzt als führender Anbieter innovativer Lösungen der Nanotechnologie

das Know-how und die Ressourcen, um die Nanowelt im großen Maßstab zu erschließen. Auf Basis einer einzigartigen Kombination von Kernkompetenzen in Licht- und Elektronenoptik bereiten wir der Nanotechnologie den Weg – mit neuen Ideen, Prozessen und Werkzeugen. Von innovativen Manipulations-

techniken wie CrossBeam® bis zu höchstauflösenden Elektronenmikroskopen.

Mehr Informationen:
www.smt.zeiss.com
Tel. +49 73 64 / 20 44 88
info-nts@smt.zeiss.com

Nano Technology
Systems Division



immer mehr Computer angeschafft werden, vor allem im privaten Bereich und in großen Mengen in Schwellenländern wie China und Indien. Eine dramatische Reduktion des Energieverbrauchs könnte durch die molekulare Elektronik entstehen, die nach heutiger Schätzung vielleicht nur noch ein Millionstel der für unsere heutigen PCs benötigten Energie für die gleiche Rechenleistung benötigt. Daher loten einige Konzerne wie Hewlett Packard in Palo Alto, Kalifornien, derartige Potentiale aus. Ein Ziel dieser Technologieentwicklung ist es, die Rechenkapazität eines heutigen Supercomputers auf die Größe einer Armbanduhr zu reduzieren bei einem Energieverbrauch, der etwa dem der elektronischen Armbanduhren entspricht. Gelingt dies, könnte der Energieverbrauch für Rechner tatsächlich um etliche Größenordnungen gesenkt werden und damit eine Vielzahl von Kraftwerken, die mit fossilen oder atomaren Brennstoffen betrieben werden, überflüssig werden. Daraus ergibt sich indirekt auch ein wichtiger Beitrag der Nanotechnologie zum Umweltschutz.

6. Komplexe Strukturen

Die Erzeugung von Komplexität und selbstorganisierten Strukturen ist die Grundlage für den Erfolg, den die Natur im Laufe der biologischen Evolution erreicht hat. Alle biologischen Organismen beruhen letztlich auf Selbstorganisationsprinzipien und haben die Fähigkeit der Selbstreparatur. Die hierdurch erreichbare Komplexität ist beeindruckend.

Im Bereich der Nanotechnologie wird versucht, durch die Kombination von physikalischen Techniken und speziellen chemischen Methoden wie die supramolekulare Chemie, komplexe Strukturen zumindest in einfachster Form zu erzeugen. Damit könnte es gelingen, molekulare Schalter und Motoren herzustellen, die weitaus mehr 'können' als die Einzelmoleküle, aus denen sie aufgebaut sind. Allerdings sind selbst scheinbar einfache Funktionselemente wie Linearmotoren, aus denen unsere Muskeln aufgebaut sind, und rotierende Motoren, die sowohl als Generatoren als auch als Pumpen in unseren Zellmembranen arbeiten, von einer ungeheuren Komplexität, die synthetisch bisher nicht nachgeahmt werden kann. Technologisch wird man daher möglicherweise zunächst den Weg der Erzeugung von Hybridstrukturen gehen, d.h. biologische Grundstrukturen und Motoreinheiten mit künstlichen Stellgliedern versehen, die schließlich in großen Mengen, z.B. auf flachen Trägern angeordnet, bestimmte Pump- oder sonstige Aktuatorfunktionen übernehmen könnten. Noch steckt dieses Gebiet in seinen Anfängen, und es ist unabsehbar, wann aus diesen ersten Gehversuchen praktische Produkte werden können. Aus der Betrachtung der molekularen Struktur von

Flagellenmotoren von Bakterien wird jedoch schnell klar, daß der Aufbau von Nanorobotern auf synthetischer Basis heute überhaupt nicht denkbar ist. Das Gefahrenpotential aus dieser Richtung, auf welches interessierte Einrichtungen publikumswirksam immer wieder versuchen hinzuweisen, ist als sehr gering einzustufen.

7. Gefahrenpotentiale?

Wie jede neue Technologie birgt auch die Nanotechnologie ein gewisses Risiko, z.B. im Zusammenhang mit der Herstellung von lungengängigen nanoskaligen Materialien und Stäuben, deren langfristige Wirkung im Einzelnen jeweils untersucht werden muß. Dabei erscheint die Gesetzesgrundlage zur Freigabe von neuen Materialien und chemisch aktiven Stoffen zunächst ausreichend, da nach diesen Vorgaben jeder neue chemisch aktive Stoff nach sehr strengen Kriterien in toxikologischen Labors geprüft werden muß. Im Bereich der nanoskaligen Materialien wird ein besonderes Augenmerk auf die potentiell erhöhte chemische Aktivität dieser Stoffe gerichtet sein müssen, da bekannt ist, daß durch den erhöhten Oberflächen-zu-Volumen-Anteil derartiger Stoffe die katalytische Wirkung im Vergleich zu ausgedehnten Stoffen des gleichen Materials erhöht sein kann. Dieses wird, zumeist ohne große publikumswirksame Aktivität, bereits sehr intensiv in einer Reihe von Forschungsanstalten weltweit geprüft. Es ist erstaunlich, daß lungengängige Nanoteilchen, die als Nebenprodukte, z.B. im Abgas von Dieselmotoren oder durch Reifenabrieb entstehen, über viele Jahre gesellschaftlich geduldet wurden und erst in jüngerer Zeit industrielle Maßnahmen ergriffen wurden, um diese ultrafeinen Partikel, die tonnenweise pro Jahr entstehen, nicht in die Umwelt gelangen zu lassen. Über die möglichen Langzeitwirkungen ist bis heute noch wenig bekannt. Nach jetzigem Wissensstand scheint jedoch eine kurzfristige akute Bedrohung von diesen Teilchen nicht auszugehen. Diese unerwünschten Nebenprodukte sind keine gezielt hergestellten Produkte der Nanotechnologie. Diese hat jedoch entscheidend dazu beigetragen, mit neuen analytischen Methoden die chemischen und physikalischen Eigenschaften dieser Teilchen überhaupt untersuchen und einschätzen zu können.

8. Nanoanalytik

Die wichtigste Voraussetzung zur Einschätzung von Gefahrenpotentialen im Bereich der Nanomaterialien liefert die in den letzten Jahren intensiv gewachsene Nanoanalytik, die es erlaubt, Strukturen auf molekularer und atomarer Skala sichtbar zu machen, mechanische Eigenschaften von Nanoteilchen zu messen, aber auch ihre chemische Zusammensetzung zu identifizieren. Aus

all diesen Daten kann ein Gesamtbild der Eigenschaften derartiger Teilchen gewonnen werden, was dazu beiträgt, mögliche Gefahrenpotentiale quantitativ einzuschätzen.

Die Nanoanalytik wurde wie die gesamte Nanotechnologie und die Nanowissenschaften wesentlich durch die Erfindung des Rastertunnelmikroskops 1981 durch G. Binnig und H. Rohrer am IBM-Forschungslabor in Zürich geprägt. Damit gelang es zum ersten Mal, Strukturen auf atomarer Skala sichtbar zu machen und sie spektroskopisch zu charakterisieren.

Inzwischen gibt es eine Vielzahl von Derivaten dieser Technik, die unterschiedlichste Oberflächen und Grenzflächeneigenschaften zu untersuchen gestatten. Gleichzeitig konnte mit diesen Instrumenten der von dem amerikanischen Physiker Richard Feynman Ende der 50er Jahre gemachte Vorschlag erstmals realisiert werden, atomare und molekulare Strukturen auf Oberflächen gezielt in ihrer Position zu verändern und sogar chemische Reaktionen zwischen Molekülen gezielt auszulösen. Dies ist eine wichtige Voraussetzung für die Erzeugung neuer Speicherkonzepte auf atomarer und molekularer Skala.

9. Ausbildung

Bereits heute und verstärkt in der Zukunft, wird die Nanotechnologie dazu beitragen, die klassisch getrennten naturwissenschaftlichen Disziplinen Physik, Chemie, Biologie, aber auch große Teile der Medizin und der Ingenieurwissenschaften zusammenzuführen und daraus eine neue Qualität entstehen zu lassen, die man als Transdisziplinari-

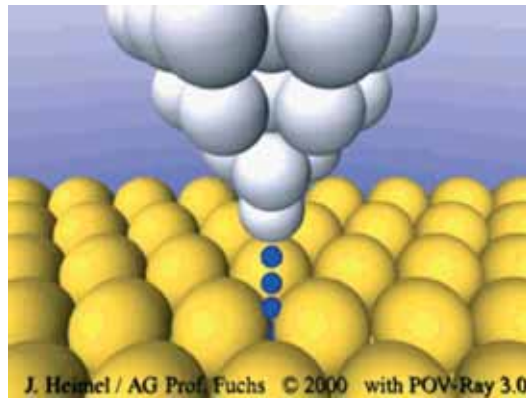


Abb. 3 Schema eines Rastertunnelmikroskops das zur Untersuchung von atomaren Strukturen auf Oberflächen den quantenmechanischen Tunneleffekt ausnützt

tät¹ bezeichnet. Dies erfordert u. a. neue Studien- und Ausbildungsgänge, aber auch die Vorbereitung junger Menschen auf ein neues faszinierendes Gebiet der Naturwissenschaften bereits in der Schule. Daher haben die Nanotechnologen auch die Aufgabe übernommen, im Bereich der Aus- und Weiterbildung neue Lehrkonzepte dieser Querschnittstechnologie zu entwickeln. In Schulen können inzwischen mit einfachsten Mitteln Mikroskope aufgebaut werden, die einen ersten faszinierenden Blick in die Nanowelt gestatten (<http://sxm4.uni-muenster.de>).

10. Vernetzung

Ein Querschnittsgebiet wie die Nanotechnologie kann nicht mehr umfassend an einer einzigen Forschungsstelle oder von einer einzigen Firma betrieben werden. Da viele Konzepte in unterschiedlichsten Bereichen anwendbar und über-

Entwicklungsstand und Anwendungsfelder der Nanotechnologie

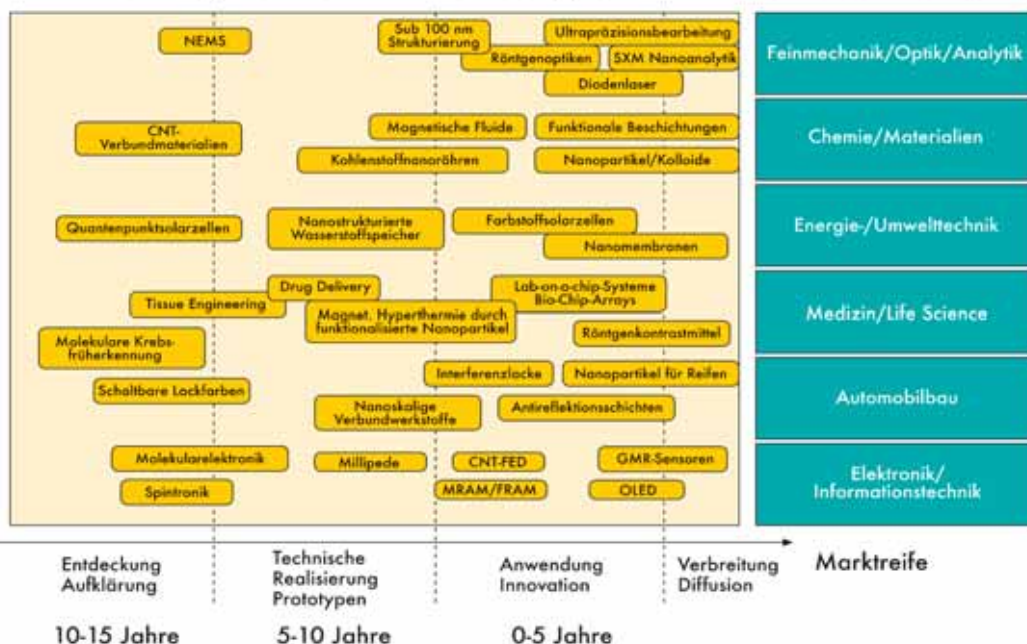


Abb. 4 Heutige und zukünftige Anwendungsfelder der Nanotechnologie. Die horizontale Zeitachse reicht (von rechts nach links) von heutigen bis zu zukünftigen (10-15 Jahre) Anwendungen (orange-farbene Felder). Die türkiserfarbenen Felder rechts weisen auf die heute bekannten wichtigsten Technologien der Nanotechnologie hin. (Quelle: VDI-TZ, Düsseldorf)

tragbar sind, ist es notwendig, Netzwerke zum Wissenstransfer und zum Austausch von Know-how aufzubauen. Dies geschieht sowohl auf nationaler Ebene, z.B. durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung, die DFG und die VW-Stiftung (www.nanonet.de), als auch in jüngster Zeit verstärkt durch die EU innerhalb des 6. Rahmenprogramms. Auch das in Vorbereitung befindliche 7. Rahmenprogramm wird dem Bereich der Nanotechnologie und insbesondere dem Bereich der Nano-Biotechnologie große Aufmerksamkeit widmen. Ähnliche umfangreiche Programme, z.T. mit erheblich höheren finanziellen Mitteln werden in den USA und in Japan durchgeführt. Hierbei geht es jeweils um die Erreichung eines Wissens- und Technologievorsprungs, der durch entsprechende Patentanmeldungen wirtschaftlich abgesichert werden kann. Dies ist von größter Bedeutung, weil die Nanotechnologie nicht auf ein einzelnes Technologiefeld, wie beispielsweise die Elektronik oder die Automobilindustrie beschränkt ist, sondern aufgrund ihres Querschnittscharakters in allen wichtigen Bereichen, beispielsweise der Materialwirtschaft, Umwelt und Energie, Medizin und Biowissenschaften sowie der Präzisionsverarbeitung von Oberflächen eine zentrale Rolle spielen wird.

Ausgehend von Konzepten der Oberflächen und Produktveredelung, der Herstellung von speziellen Membranen, organischen Leuchtdioden und speziellen magnetischen Sensoren sind in Zukunft neue Konzepte zu erwarten, wie etwa der

magnetischen Hyperthermie für die Krebsbehandlung, Nanoelektronik auf der Basis von Kohlenstoffnanoröhren und in fernerer Zukunft vielleicht Gewebedesign und Spintronik. Daher kann im Gesundheitswesen bei der Herstellung von biokompatiblen Oberflächen für künstliche Organe oder Gefäße und im Bereich des Umweltschutzes ein erheblicher Nutzen von der Nanotechnologie erwartet werden. Was davon tatsächlich erzeugt, angewandt und verkauft werden kann – darüber muß die Gesellschaft insgesamt entscheiden.

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. Harald Fuchs
Westfälische Wilhelms-Universität
Physikalisches Institut
Centrum für Nanotechnologie (CeNTech)
Wilhelm-Klemm-Straße 10
48149 Münster

Anmerkung

- ¹ Der Ansatz geht über das übliche Verständnis wissenschaftlicher Zusammenarbeit hinaus. Der Konstanzer Philosoph J. Mittelstraß definierte den Begriff der 'Transdisziplinarität' wie folgt: „Während wissenschaftliche Zusammenarbeit allgemein die Bereitschaft zur Kooperation in der Wissenschaft und Interdisziplinarität in der Regel in diesem Sinne eine konkrete Zusammenarbeit auf Zeit bedeutet, ist mit Transdisziplinarität gemeint, daß Kooperation zu einer andauernden, die fachlichen und disziplinären Orientierungen selbst verändernden wissenschaftssystematischen Ordnung führt. Dabei stellt sich Transdisziplinarität sowohl als eine Forschungs- und Arbeitsform der Wissenschaft dar, wo es darum geht, außerwissenschaftliche Probleme... zu lösen, als auch ein innerwissenschaftliches, die Ordnung des wissenschaftlichen Wissens und der wissenschaftlichen Ordnung selbst betreffendes Prinzip.“ [8]

Literatur

- [1] H. J. Queisser, Kristalline Krisen, Mikroelektronik – Wege d. Forschung, Kampf um Märkte, München ; Zürich: Piper, 1985. – ISBN 3-492-02947-7
- [2] N. Boeing, Nano?! Die Technik des 21. Jahrhunderts, Rowolt, 2004
- [3] G. Schmid, M. Decker, H. Ernst, H. Fuchs, W. Grünwald, A. Grünwald, H. Hofmann, M. Mayor, W. Rathgeber, U. Simon, D. Wyrwa, Small dimensions and materials properties – A definition of nanotechnology. Europäische Akademie, Graue Reihe, Nr. 35, ISSN 1435-487 X (2003)
- [4] H. Fuchs, Die Welt im Kleinen: Potenziale der Nanotechnologie. Das Magazin, Wissenschaftszentrum Nordrhein-Westfalen, 1/2001
- [5] N. Nestle, H. Fuchs, Rastersondenmikroskopie. Lexikon der Physik, ISBN 3-86025-294-1, Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg, Bd. 4, 414-416 (2000)
- [6] A. Schirmeisen, B. Anczykowski, H. Fuchs, Dynamic force microscopy. Springer Handbook of Nanotechnology, ISBN 3-540-01218-4, 449-473 (2004)



Abb. 5
Siehe Nachrichtenseite 73f.