



Unsichtbare neue Welt

Die Technik des 21. Jahrhunderts trägt die Vorsilbe „Nano“. Davon sind neben Trendforschern und Börsianern auch viele Wissenschaftler überzeugt - aus guten Gründen.

523-mal schafften die Begriffe Nanotechnologie oder Nanotechnik zwischen 2000 und Anfang 2008 den Sprung in die Frankfurter Allgemeine Zeitung - deutlich häufiger als die „Pharmaforschung“ (83-mal) und selbst als „Dieter Bohlen“ (230-mal). Das verdankt die Technologie, deren Vorsilbe sich vom griechischen Wort für Zwerg ableitet, riesigen Erwartungen: Demnach soll sie den menschlichen Alltag einmal ähnlich revolutionieren wie Dampfmaschine oder Computer. Dabei, so hoffen Unternehmen, gibt es viel Geld zu verdienen - ein heißes Thema also auch für Wirtschaftsmedien. Doch selbst in Feuilletons und Kulturmagazinen findet die Nanotechnologie dank der Visionen einiger Science-Fiction-Autoren Widerhall.

„Viele Menschen verknüpfen daher mit der Nanotechnologie ausschließlich Zukunftsaussichten. Kaum jemandem ist bewusst, dass jeder von uns ihr heute schon täglich begegnet“, sagt Professor Thomas Schimmel, Sprecher des Kompetenznetzes „Funktionelle Nanostrukturen“ Baden-Württemberg. So enthalten Leuchtdioden (LEDs) raffinierte, nanotechnologisch erzeugte Schichtsysteme, die Strom sehr effizient in Licht umwandeln. Doch LEDs sind nicht nur energiesparend, sondern leuchten bei einem Stromstoß auch schneller auf als herkömmliche Lampen. Daher kommen sie in hochwertigen Autobremsslichtern zum Einsatz. Der nachfolgende Fahrer kann aufgrund der gewonnenen Zeit sein Fahrzeug womöglich noch rechtzeitig zum Halten bringen.

Sollte es trotzdem zu einem Auffahrunfall bei geringer Geschwindigkeit kommen, so schützen Stoßstangen aus Kunststoff vor größeren Blechschäden. „Geschickt verteilte, gummiartige Bereiche auf der Nanometerskala sind dafür verantwortlich, dass der eigentlich harte und spröde Kunststoff der Stoßstange auch bei niedrigen Außentemperaturen noch ausreichend elastisch ist und den Aufprall auffangen kann“, sagt Schimmel, der an der Universität Karlsruhe und dem Forschungszentrum Karlsruhe lehrt und forscht.

Manche abrupten Bremsmanöver würden sich durch vorausschauendes Fahren vermeiden lassen. Das fällt leichter, wenn Brillengläser und Windschutzscheiben sauber sind. Auch dazu kann Nanotechnologie etwas beitragen: Einige teure Brillengläser sind mit einer Schicht ausgerüstet, die den Schmutz dank eingebauter Nanoteilchen abweisen. An selbstreinigenden Windschutzscheiben wird derzeit noch intensiv geforscht. Rund um das Auto gibt es viele weitere nanotechnologisch optimierte Produkte, darunter kratzfestere Lacke, abriebbeständigere Reifen und effizientere Abgaskatalysatoren.

Nach Angaben des VDI Technologiezentrums hat der weltweite Umsatz mit Nanotechnologie die 100-Milliarden-Euro-Marke längst passiert. Und allein in Deutschland hängen direkt von ihr bereits mehr als 50.000 Arbeitsplätze ab. Trotz Medienbegleitung zieht die Nanotechnologie dabei eher still in unseren Alltag ein. Schimmel nennt dafür ein weiteres Beispiel: „Nahezu unbemerkt verwandelt sich gerade die Mikroelektronik zur Nanoelektronik.“ Denn die Strukturen auf den massengefertigten Chips in Computern, Handys und Co. sind inzwischen meist kleiner als ein Mikrometer (tausendstel Millimeter) und oft sogar als 100 Nanometer (100 millionstel Millimeter).

Ein Bündel aus mehreren 100 Millionen Nanodrähten hat eine kleinere Querschnittsfläche als ein menschliches Haar. Oder anders betrachtet: Ein Nanometer entspricht dem Durchmesser von drei bis vier Atomen. In dieser Dimension gelten andere Regeln als in unserer sichtbaren Welt. Es greifen die Gesetze der Quantenmechanik, die den gesunden Menschenverstand strapazieren. Danach sind Teilchen gleichzeitig Wellen. Sie befinden sich zu einer bestimmten Zeit nicht an einem bestimmten Ort. Außerdem haben viele Materialien in Nanogröße andere Eigenschaften als normalerweise, verändern etwa Farbe oder elektrische Leitfähigkeit.

Daher ist „nano“ nicht einfach kleiner als „mikro“, sondern anders klein. Und Nanotechnologie ist mehr als das weitere Schrumpfen von elektronischen Bauteilen, an das wir uns seit Jahrzehnten gewöhnt haben. Ein Bonmot des Schweizer Physikers und Nobelpreisträgers Heinrich Rohrer verdeutlicht das: „Nanotechnologie bedeutet nicht kleiner, schneller, billiger. Nanotechnologie heißt: intelligenter, intelligenter, intelligenter.“

Ein Schild „Hier betreten Sie Nano-Neuland“ hat die Natur nicht aufgestellt. Das lässt Forschern oder Unternehmen mit ihren Marketingexperten Platz für Etikettenschwindel. „Klar: Jeder kann entdecken, dass Moleküle Abmessungen im Nanometerbereich besitzen“, schmunzelt Physiker Schimmel. Und ergänzt: „Doch darum geht es in der Nanotechnologie eben nicht.“ Noch in anderer Hinsicht ist der Begriff Nanotechnologie etwas unscharf: Unter seinem Dach versammeln sich sehr unterschiedliche Forschungsprogramme. Sie zielen beispielsweise darauf, den Krebs erfolgreicher zu bekämpfen, neue Materialien, Datenspeicher und optische Bauteile zu entwickeln oder eine umweltschonendere, effizientere Energiegewinnung zu ermöglichen. Deshalb hat etwa der Darmstädter Wissenschaftsphilosoph Alfred Nordmann vorgeschlagen, stets von Nanotechnologien im Plural zu sprechen. Tatsächlich kann man Chancen und Risiken konkreter diskutieren, wenn man nicht „die Nanotechnologie“ betrachtet, sondern getrennt voneinander Nanoelektronik, Nanobiologie und Nanomaterialwissenschaft.

„Von der Nanoelektronik beispielsweise geht wohl kaum eine Gesundheitsgefahr aus“, ist Schimmel überzeugt. Und weiter: „Dagegen sind die Bedenken, Nanopartikel könnten etwa beim Einatmen auch unerwünschte Wirkungen auf Mensch und Umwelt haben, durchaus begründet.“ Nanoteilchen in der Atemluft sind aufgrund ihrer Kleinheit in der Lage, tief in die

Lunge vorzustößen und von da über das Blut nahezu ungefiltert in Körperzellen einzudringen. Der Körper wehrt sich gegen die Invasion, Entzündungen oder Allergien können die Folgen sein. Wie groß die Gefahren tatsächlich sind, wird intensiv untersucht: Das Bundesforschungsministerium fördert die entsprechende Forschung, an der auch die Industrie beteiligt ist, bis zum Jahr 2009 mit acht Millionen Euro. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft stellt für die nächsten sechs Jahre 10 Millionen Euro bereit. Bislang steht für die meisten Experten fest: Sicherheitsvorkehrungen, wie sie in der chemischen Industrie ohnehin weit verbreitet sind, machen die Risiken bei der Nanoteilchen-Produktion beherrschbar. Und in Materialien finden sich die Nanopartikel zumeist in festgebundener Form, so dass der Verbraucher mit einzelnen Teilchen gar nicht in Berührung kommt.

Laut den Schreckensvisionen einiger Schriftsteller und Vordenker gehen von Nanopartikeln in Form von künstlichen Nanowesen noch Bedrohungen ganz anderer Art aus. In Michael Crichtons Bestseller „Beute“ schließen sich nanoskalige Maschinenorganismen zu Schwärmen zusammen, die Menschen jagen. Und in einer Vision von Eric Drexler, Ingenieur und eigentlich ein Nano-Euphoriker, bedroht „Graue Schmiere“ die Welt, eine Wolke aus missratenen Nanorobotern. Solche Szenarien werden von kaum einem Wissenschaftler ernst genommen. Augenzwinkernd sagt Schimmel: „Die Warnungen kommen zu spät, denn solche hochgefährlichen, winzigen Wesen, die in unseren Körper eindringen, sich vermehren und uns bedrohen, gibt es schon längst.“ Und fügt nach kurzer Pause hinzu: „Ich rede von Bakterien und Viren.“ Tatsächlich gibt es viele prinzipielle Einwände gegen die Vorstellung, dass sich Nanoroboter baukastenmäßig Atom für Atom zusammenfügen lassen und sich gar von selbst vervielfältigen.

Realen Risiken der Nanotechnologie und Schreckensfantasien stehen viele Verheißungen gegenüber. Auch hier gilt, dass man nicht alles für bare Münze nehmen darf. So sagen die Marktforscher von Lux Research voraus, dass im Jahr 2014 mit Nanotechnologie weltweit 2900 Milliarden US-Dollar umgesetzt werden. Der Vorsitzende des bayrischen Landesverbandes der chemischen Industrie, Dr. Rudolf Staudigel, taxierte dagegen kürzlich den Weltmarkt im Jahr 2015 auf 750 Milliarden Euro, was nach derzeitigem Kurs etwa 1,2 Billionen Dollar entspräche. Unabhängig von solchen Abweichungen, sind die im Raum stehenden Summen auf jeden Fall gewaltig. Auf sie lässt sich allerdings nur dann kommen, wenn man mit dem Wert des Endproduktes statt mit dem bloßen Materialwert der Nanokomponente rechnet. Das heißt zum Beispiel: Angesetzt werden der Wert für transparente Sonnencremes und nicht die wenigen Cent für die enthaltenen Titandioxid-Nanopartikel, die vor der gefährlichen UV-Strahlung schützen. Weil die Nanokomponente über die Wettbewerbsfähigkeit des Produktes entscheidet, eine durchaus berechtigte Kalkulation. „Die Nanotechnologie hat eben eine große Hebelwirkung. Die Nanoprodukte an sich haben zwar zumeist einen relativ geringen Wert, doch ohne sie wären heute schon viele Produkte vom Rechner bis zum Auto nicht mehr konkurrenzfähig“, kommentiert Schimmel.

Eine treibende Kraft der Nanotechnologie ist die umsatzstarke Computerindustrie, von deren Fortschritt längst alle anderen Industriezweige abhängen. Sie erhofft sich von den Nanoforschern, dass sie die Grenzen der CMOS-Transistortechnik überwinden, die derzeit in Computerprozessoren arbeitet. Zwar sagen Fachleute schon seit rund 40 Jahren voraus, dass diese Technik in jeweils zehn bis fünfzehn Jahren ausgedient hat. Doch heute hat die Elektronikindustrie tatsächlich einen zwingenden Grund anzunehmen, dass sich die fortwährende Verkleinerung der Chipstrukturen nicht fortsetzen lässt: Wenn die Schicht des Isolators im Transistor nur noch wenige Atomlagen dick ist, kann aufgrund eines quantenmechanischen Effekts Strom durch sie hindurchfließen. Daher bekommt das

elektronische Schleusensystem Löcher. Dann helfen nur noch neue Prozessorarchitekturen, die mit Hilfe der Nanotechnologie realisiert werden sollen.

Die Forscher verfolgen diverse Konzepte: Im Kompetenznetz „Funktionelle Nanostrukturen“ in Baden-Württemberg arbeiten an einer Elektronik, bei der einzelne Atome als Schalter fungieren. Mit Erfolg: So haben Wissenschaftler der Universität Karlsruhe kürzlich den weltweit ersten atomaren Transistor entwickelt. „Durch das kontrollierte Umlagern eines einzigen Silberatoms wird hier ein elektrischer Stromkreis geöffnet und geschlossen“, sagt Schimmel. Das neue Nanobauteil verbraucht nur ein Zehntausendstel des Stroms, den ein Transistor in einem heutigen Hochleistungsprozessor benötigt. Andere Wissenschaftler arbeiten an Spintronik-Bauelementen, die zusätzlich zu den elektrischen Eigenschaften des Elektrons dessen magnetische Eigenschaften ausnutzen, ihren Spin. Am umwälzendsten, aber auch am schwersten zu verwirklichen, ist der sogenannte Quantencomputer: Anders als traditionelle Rechner arbeitet der Quantencomputer nicht mit Bits, die nur die Werte Eins und Null annehmen können, sondern mit Quantenzuständen etwa von Atomen oder Photonen. Ein Quantencomputer könnte komplizierteste Rechnungen in wenigen Schritten und rasend schnell durchführen.

Während die meisten Nanotechnologen daran feilen, Bedürfnisse der Menschheit zu erfüllen, sind manche einfach davon fasziniert, was machbar sein könnte. So unterstützt die Weltraumagentur NASA Pläne, einen Fahrstuhl ins All zu konstruieren. Dabei soll ein Band aus extrem zugfesten Kohlenstoff-Nanoröhrchen - einen Meter breit und dünner als Papier - mit konventioneller Raketen- und Satellitentechnik 100.000 Kilometer in den Weltraum gespannt werden. An ihm entlang könnten tonnenschwere Nutzlasten in den Erdorbit gebracht werden.

Weniger aufsehenerregend, aber viel bedeutsamer: Inzwischen nutzen die Forschungs- und Entwicklungsabteilungen vieler Branchen die Methoden und grundlegenden Erkenntnisse der Nanowissenschaftler - egal ob sie preiswertere und leistungsstärkere Solarzellen, schaltbare Glasfassaden, Kraftstoffzusätze, schmutzabweisende Textilien, organische Leuchtdioden für Bildschirme, elektronische Nasen zur Umwelt- und Lebensmittelüberwachung oder langzeitdosierbare Medikamentendepots herstellen wollen. „Kaum ein Zweig der Wirtschaft und kaum ein Lebensbereich werden von den Auswirkungen der Nanotechnik unberührt bleiben“, ist Schimmel überzeugt.

