



Informationsbroschüre

Nano! Nanu?

publifocus «Nanotechnologien und ihre Bedeutung
für Gesundheit und Umwelt»

Inhalt

Editorial

- S. 1 *Nano – eine Dimension wird zum Renner*
- S. 4 *Eine neue technische Welt*
- S. 6 *Vom Fensterglas bis zum Krebsmittel*
- S. 8 *Problematische Nanopartikel*
- S. 10 *Perspektiven für Umwelt und Gesellschaft*
- S. 11 *Risikodiskussion und Nanoforschung in der Schweiz*
- S. 12 *Ausblick und weiterführende Angaben*

Impressum

Diese Broschüre kann bei TA-SWISS oder auf www.ta-swiss.ch bestellt werden.

Titelfoto: Quelle BASF
«Nanocubes»: Poren im Nanometerbereich können Wasserstoff speichern.

Editorial

Informatik, Elektro- und Materialwissenschaften kommen. In der Öffentlichkeit ist die Bedeutung der Nanotechnologien jedoch noch wenig bekannt.

In den Nanotechnologien wird auf der Ebene von einzelnen Atomen und Molekülen geforscht und experimentiert. In dieser Dimension von einem bis 100 Milliardstel-Meter ändern sich die Eigenschaften von Stoffen teilweise radikal. Genau das eröffnet der Technik neue Möglichkeiten. Doch es gibt auch Risiken. Was als Mikro-Partikel (Millionstel Meter) harmlos ist, kann als Nano-Partikel für Mensch und Umwelt bedenklich sein. In den USA haben im Mai 2006 acht Umwelt- und Konsumentenschutzverbände die Regierung aufgefordert, alle Kosmetikprodukte mit künstlich hergestellten Nanopartikeln (Titanoxid und Zinkoxid) vom Markt zu nehmen, da sie ein mögliches Gesundheitsrisiko darstellen könnten. Die amerikanischen Gesundheitsbehörden und die Kosmetikindustrie verneint eine mögliche Gefahr für den Menschen. Ähnliche Diskussionen um Sonnencrèmes mit Nanopartikeln gibt es auch in der Schweiz. Obwohl auch hier die Behörden entwarnen, sind Fragen der Regulation und Deklaration in der Nanotechnologie nicht geklärt. Vieles bleibt noch zu erforschen und zu entscheiden.

Die Politik verfolgt die technischen Entwicklungen aufmerksam. Wie bei allen neuen Technologien, so ist auch bei den Nanotechnologien herauszufinden, welche Möglichkeiten sie bietet und wo die Grenzen liegen. Zudem ist zu bestimmen, welche Vorteile es sinnvoll erscheinen lassen, auch gewisse Risiken in Kauf zu nehmen. Studien helfen, diese Chancen und Risiken abzuwägen

und ihre Folgen einzuschätzen. Allenfalls nötige Gesetze müssen aber auch die Meinungen der Bevölkerung miteinbeziehen. TA-SWISS, das Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung will aufzeigen, wie die Bevölkerung im Jahr 2006 Nanotechnologien beurteilt und wie dabei argumentiert wird. Dazu führt TA-SWISS im September 2006 ein publifocus mit Veranstaltungen in allen Landesteilen durch. An einem publifocus diskutieren pro Abend 15 zufällig ausgewählte Personen verschiedene Fragen, in diesem Fall zu Nanotechnologien. Diese Informationsbroschüre ist eine Grundlage für die Diskussionen. Sie zeigt, was Nanotechnologien sind, welche Anwendungen und Visionen bestehen, wo Chancen und wo Gefahren liegen und wer in der Schweiz an Nanotechnologien beteiligt ist. Die Meinungen der publifocus-Teilnehmenden werden bis Ende 2006 in einem Bericht zusammengestellt, der der Information des Parlaments und der interessierten Öffentlichkeit dient.

Der publifocus «Nanotechnologien und ihre Bedeutung für Gesundheit und Umwelt» wird von den Bundesämtern für Gesundheit (BAG) und Umwelt (BAFU) und der Zürcher Hochschule Winterthur (ZHAW) aktiv mitgetragen. Eine breit abgestützte Gruppe mit Expertinnen und Experten aus Politik, Forschung, Wissenschaft, Wirtschaft, Gesellschaft, Medien und Konsumentenschutz begleitet das Projekt kritisch.

*Michael Emmenegger,
Projektleiter publifocus
«Nanotechnologien und ihre Bedeutung für Gesundheit und Umwelt»*

Nano – eine Dimension wird zum Renner

Mit «Nanotechnologie» ist ein neues Entwicklungsfeld entstanden, das bereits grosses wirtschaftliches Interesse findet. Die Schweizer Forschung gehört zu den Pionieren der revolutionären Technik.

Das Shampoo «Nanoguard» soll schon nach 30 Tagen Anwendung den Haarverlust deutlich reduzieren. Eine mit «Aaabsolut Nano» versiegelte Autoscheibe lässt Regen und Schnee abperlen. Das Tennisracket «NanoSpeed» der Firma Yonex verleiht dem Ball zusätzlichen Energieschub.

Solche Verheissungen finden in neuerer Zeit vermehrt den Weg in die Medien. Dabei soll «Nano» wie ein Zauberwort wirken – eine Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts, die schliesslich fast alle Bereiche unseres Alltags beeinflussen möchte.

Was heisst «Nano»?

Was bedeutet «Nano» überhaupt? Nano im Wortsinn ist simpel und steht für die Grössenordnung ein Milliardstel (10^{-9}). Gemeint ist im Falle der Nanotechnologie ein Nanometer (nm), also ein Milliardstel Meter (ein Millionstel Millimeter). Zum Vergleich: ein Zuckermolekül von ungefähr einem nm Grösse verhält sich zur Grösse eines Apfels, wie dieser zur Grösse der Erde. Die Nanowelt ist die Welt der Atome und Moleküle. Ein Wasserstoffatom hat einen Durchmesser von 0,1 nm. Das DNA-Molekül, Träger der genetischen Information im Zellkern, ist 2,5 nm, ein Menschenhaar bereits 50'000 nm dick. Unter dem Begriff der «Nanotechnologien» fasst man heute

jene Materialien und Strukturen zusammen, die man gezielt mit technischen Prozessen in Dimensionen zwischen 0,1 und 100 nm herstellt.

Der Begriff der «Nanotechnologie» ist allerdings in der Praxis noch nicht exakt definiert. So stellt sich die Frage, ob bereits die Nanogrösse ein Teilchen zum Nanopartikel macht, etwa Russ im Rauch eines Holzfeuers. Oder soll man erst von Nanopartikeln reden, wenn die Teilchen synthetisch, also künstlich hergestellt worden sind? Auch wird etwa verlangt, dass Nanomaterialien neuartige physikalische oder chemische Eigenschaften zeigen müssen, die erst dank der Kleinheit der Teilchen entstehen. So erscheint Titandioxid als Pulver für Malerfarben weiss. Als Nanopartikel etwa für den UV-Schutz in Sonnencremen ist es dagegen farblos und durchsichtig. Hier international verbindliche Definitionen zu finden, ist nötig, um



künftigen gesetzlichen Regelungen und Vorschriften eine eindeutige Basis zu geben. Dies gilt insbesondere für Produkte und Anwendungen mit synthetisch hergestellten Nanopartikeln.

Nano oder nicht Nano?

«Nano» ist auch ein Modewort und manchmal kann das zu grosser Verwirrung führen. Ende März 2006 machte der in Deutschland neu in den Handel gebrachte Haushaltspray «Magic Nano» negative Schlagzeilen. Angepriesen als Versiegelung für Glas- und Keramikoberflächen, löste das Mittel bei über 110 Personen Atemnot aus; sechs Patienten mussten wegen einem Lungenödem im Spital behandelt werden. Man befürchtete, dass Nanopartikel im Spray die Gesundheitsprobleme ausgelöst haben. Untersuchungen zeigten dann: Im problematischen Haushaltspray



waren keine Nano-Partikel enthalten. Es waren die durch das Treibmittel erzeugten, ultrafeinen Tröpfchen und die darin enthaltenen Chemikalien, die die Beschwerden verursachten. Ein Nano-Produkt ist der Spray aber trotzdem, denn der Versiegelungsfilm, den er auf

der Oberfläche hinterlässt, ist nur einige Nanometer «dick».

Auch Teil der Natur

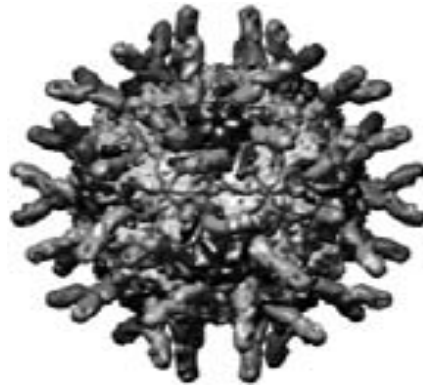
Die Nanowelt ist keine Erfindung des Menschen. Eine Nanostruktur auf der Oberfläche der Blätter lässt bei der Lotusblume Wasser mit hoher Geschwindigkeit abperlen, was auch Schmutzteilchen mitreisst (Bild S. 2). Dieser «Lotuseffekt» wird nun im Fall der selbstreinigenden Autoscheibe durch



industriell erzeugte Nanoprodukte, die die Oberfläche versiegeln, imitiert. An den Füssen der Geckos ermöglicht eine Vielzahl extrem feiner Härchen, dass sich der Fuss auf wenige Nanometer nah an die Unterlage anschmiegt. Bei solch geringer Distanz wirken anziehende Kräfte zwischen den Molekülen der Haare und der Unterlage, was dem Gecko ein problemloses Spazieren kopfüber an der Zimmerdecke erlaubt (Bild S. 2). Nanodimensionen können auch stark machen: Während Kalziumkarbonat als Wandtafelkreide eher weich ist, verleiht es in einer nanometerfeinen Schichtstruktur dem Panzer

der Abalonenmuschel extreme Härte.

Nanoteilchen finden sich als natürliche Kolloide (kleine Molekülhaufen) ebenfalls in zahllosen Lebensmitteln, etwa Kasein (100 nm) und Molkenprotein (3 nm) in der Milch. Und Viren (Bild rechts) mit ihren Dimensionen von meist weniger als 100 nm können dank solcher Kleinheit in das Innere von Körperzellen schlüpfen und dort ihr Unwesen treiben. Nanostrukturen und Nanopartikel gehörten also schon immer zu unserem Alltag – auch wenn wir erst seit neuerer Zeit von «Nano» reden. Dass Nano zum aktuellen Thema geworden ist, hat nicht zuletzt Schweizer Wurzeln. Die Welt der Atome und Moleküle war noch bis vor kurzem für das menschliche Auge unsichtbar klein. Dank neuartiger in der Schweiz entwickelter Mikroskope wurde es schliesslich möglich, auch Nanostrukturen sichtbar zu machen und sogar ein-

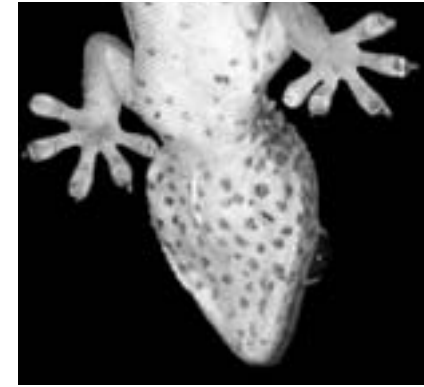


Modell eines Virus, University of California

zelne Atome gezielt zu manipulieren.

Wie Nano sichtbar wurde

Das ab dem 17. Jahrhundert benutzte Lichtmikroskop war für Entdeckungen in der Biologie und der Medizin sehr erfolgreich gewesen. Die naturgegebenen Wellenlängen der Lichtstrahlen be-



Kellar Autumn, Lewis & Clark College

grenzen die Sichtbarkeit jedoch auf einige hundert Nanometer, was ungefähr einer 150fachen Vergrößerung entspricht. Damit sind wohl Gewebezellen und Bakterien sichtbar, nicht aber Viren oder einzelne Moleküle. Ein enormer Fortschritt brachte die Entwicklung des Elektronenmikroskops in den 1930er Jahren. Damit liess sich der Vergrößerungsfaktor um das 100- bis 1000fache bis in den Nanometerbereich steigern, was beispielsweise ein Beobachten der für die genetische Information im Zellkern verantwortlichen Molekülfäden der DNA (Desoxyribonukleinsäure) erlaubt.

Das Rastertunnelmikroskop (RTM) brachte der Forschung im Jahre 1981 neue Möglichkeiten. Heinrich Rohrer und Gerd Binnig vom IBM-Forschungslabor in Rüschlikon bei Zürich bauten ein Mikroskop mit einer beweglichen Nadel aus Wolfram, deren Spitze zuvorderst nur noch ein einziges Metallatom trägt. Nähert man diesen nanometerkleinen Tastfinger einer elektrisch leitenden Oberfläche, kommen sich bei einem Abstand von etwa einem Nanometer die Atome von Tastfinger und Oberfläche so nahe, dass Elektronen zu flies-

sen beginnen, obschon sich die beiden Materialien nicht berühren. Dieser (nur mit der Theorie der Quantenmechanik zu verstehende) «Tunnelstrom» fließt desto stärker, je näher sich Oberfläche und Metallsonde kommen. Führt man die Metallsonde nun in einem Raster (also Zeile um Zeile) über eine zu untersuchende Oberfläche und zeichnet den jeweils fließenden Strom auf, entsteht ein dreidimensionales Abbild dieser Oberfläche. Das RTM erlaubt den Blick in Dimensionen von Hundertstel eines Nanometers – eine Landschaft, in der sich Atome wie Billardkugeln ausmachen.

Mit dem RTM lassen sich Atome nicht nur «sehen», sondern auch «begreifen». Denn setzt man die Spitze der Sonde direkt auf das zu untersuchende Material, bleiben Atome daran hängen. So vermag der Nanofinger Atome einzeln zu packen und an anderer Stelle wieder auf der Unterlage abzusetzen. Eine Methode, die nun in den Nanowissenschaften und Nanotechnologien zum Einsatz kommt. Das Rasterkraftmikroskop (RKM), eine Weiterentwicklung des RTM, erlaubt, auch nichtleitende Materialien zu untersuchen und eröffnete so den atomaren Blick in die Biowelt (Bild S. 3).

Enormes wirtschaftliches Potential

Dank der neuen Mikroskope öffnete sich die Nanowelt in ihrer ganzen Vielfalt der Forschung und Entwicklung. Die Zunahme der Förderungsgelder in den letzten Jahren ist eindrücklich: Investierten im Jahre 1998 die Regierungen weltweit um die 600 Millionen Dollar in die Forschung und



New World Landscapes
www.lotusan.de

www.lotuseffect.de
BASF

Entwicklung der Nanotechnologien, waren es im Jahr 2002 bereits 2,1 Milliarden und 2006 dürften es 6 Milliarden Dollar sein. Dabei investieren Europa, die USA und Japan etwa ähnlich grosse Summen. Mindestens nochmals so grosse Beträge wendet heute die Industrie für Nanotech-Projekte auf. In den USA haben bereits zwei Drittel der 30 grössten Firmen Nanoprogramme gestartet. Und weltweit gegen 2000 Jungunternehmen entwickeln Nanoprodukte. Allein in Deutschland dürften heute um die 100'000 Arbeitsplätze direkt oder indirekt von der Nanotechnologie abhängen. Der nationale Forschungsschwerpunkt Nanowissenschaften geht davon aus, dass in der Schweiz rund 500 Personen in der Nano-Forschung und nochmals so viele in der Nano-Industrie tätig sind. Schätzungen zufolge fliessen jährlich ungefähr 50 Mio Franken staatliche Fördergelder in die Nanotech-Forschung und verwandte Bereiche. Gemäss Seco liege die Schweiz gemessen an der Zahl der Einwohnerinnen und Einwohner damit weltweit an der Spitze.



Der jährliche Umsatz mit Nanotech-Produkten in der Schweiz ist nur sehr schwer zu beziffern, da es keine genaue Abgrenzung gibt, was darunter fällt. Der Umsatz dürfte aber um die 150 Mio. Franken betragen, Tendenz steigend. Die mittlerweile von der Finanzwelt als Risikokapital investierte Milliarde Dollar ist ein weiteres Zeichen der enormen Erwartungen. Im Falle der Nanotechnologie beginnt nun eine immer höher werdende Woge neuer Produkte in den Weltmarkt zu schwappen. Beträgt das globale Marktvolumen derzeit noch 80 Milliarden Dollar, werden für das Jahr 2015 gegen 1000 Milliarden Dollar prognostiziert.

Dass dabei auch manch alter Hut mit dem Nano-Label neu geschmückt wird, ist die Kehrseite der Goldgräberstim-



Labor Hans-Josef Hug, NCCR Nanoscale Science



mung. So kann jeder Reifenhersteller oder auch der Lieferant von schwarzer Druckfarbe mit Nano werben, denn Rüstteilchen in Nanogrösse sind schon seit Jahrzehnten in den betreffenden Produkten. Und wenn jetzt der «iPod nano» 1000 Songs in einer Elektronikbox so gross wie eine Feuerzeug speichert, ist das Wunderding zwar (laut Werbung) «unglaublich klein», mit Nanotechnologie hat die Sache jedoch wenig zu tun. Auch die Wissenschaft hat mittlerweile gelernt, wie man mit «Nano» an Forschungsgelder kommt. So gestand ein schwedischer Forscher, dass er unlängst von der EU im Rahmen eines Programms für «Nanobiotechnologie» 1,7 Millionen Euro erhielt – obschon seine Projektbeschreibung zur Herstellung miniaturisierter Stützstrukturen für künstliche Gewebe auch ohne das Label «Nano» ausgekommen wäre.

Nanosurf, Liestal

Eine neue technische Welt

Die extreme Kleinheit verleiht den Nanoteilchen völlig neuartige Eigenschaften. Besonders interessant sind die aus Kohlenstoff hergestellten Nanoröhrchen und Nanohohlkugeln.

Jedes chemische Element hat seine Eigenschaften, was wir als Farbe, Härte, Elastizität, elektrische Leitfähigkeit, Schmelztemperatur usw. wahrnehmen. Macht man Gegenstände aus einem bestimmten Material kleiner und kleiner, können sich beim Übergang von der Makro- und Mikrowelt zur Nanowelt die Eigenschaften radikal ändern. So hat ein Ehering aus Gold eine gelbe Farbe, Nanopartikel aus Gold aber sind rot. Kohlenstoff als Graphit in einer Bleistiftmine ist relativ weich. Kohlenstoff in

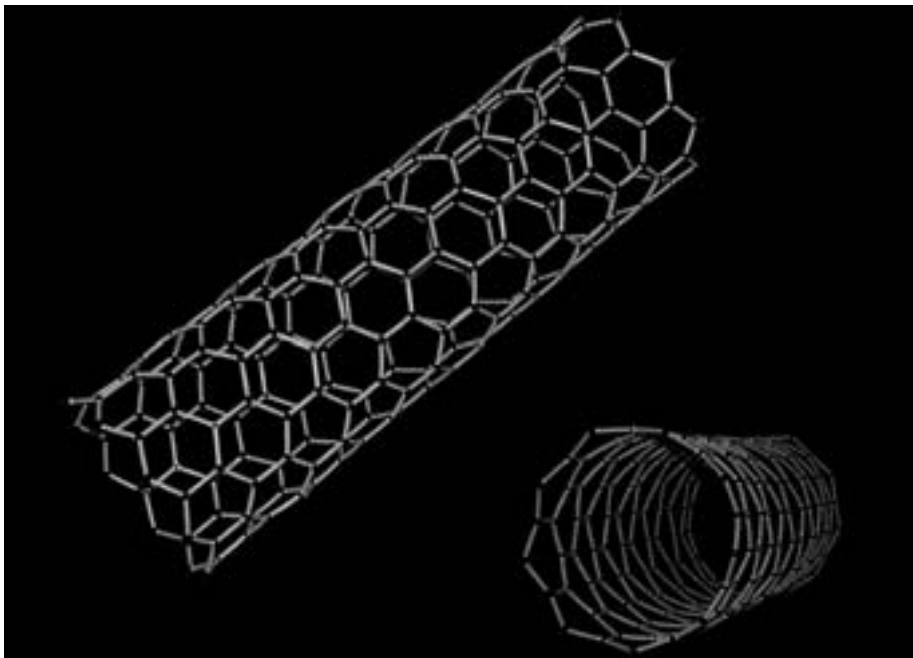
Form von nanometergrossen Röhrchen aber ist hundertmal belastbarer als Stahl. Aluminium als Getränkedose ist harmlos. Produziert man Aluminium jedoch als nanometergrosse Partikel, wird ein explosiver Stoff daraus, der sich als Katalysator in Raketentreibstoffen verwenden lässt.

Warum Nano anders ist

Der Grund für solchen Wandel ist in manchen Fällen ein Übergang zu anderen physikalischen Gesetzen. Regie-

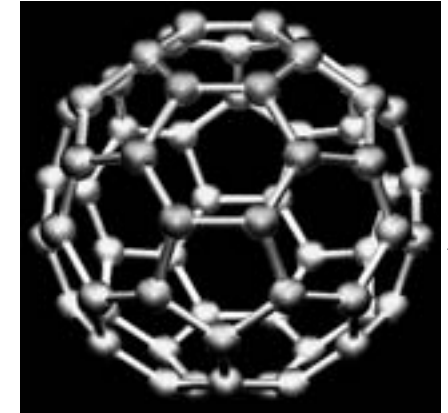
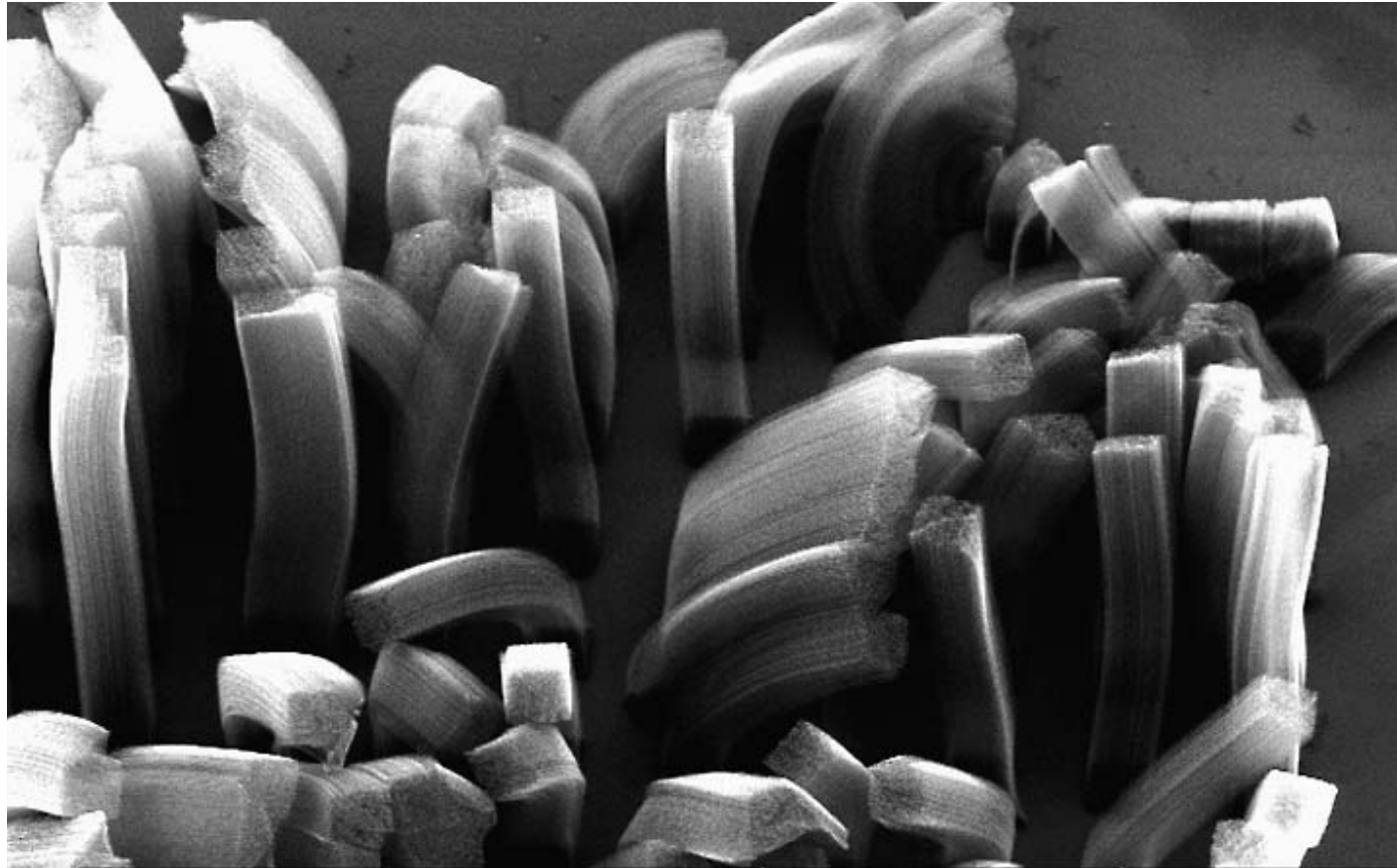
ren in der Makrowelt unseres Alltags die Gesetze der klassischen Mechanik, dominieren im Nanobereich die Effekte der Quantenmechanik, die erst bei kleinsten Dimensionen eine merkbare Wirkung entfalten.

Ein weiterer Grund der nanotypischen Andersartigkeit liegt in der Wellenlänge des sichtbaren Lichts. Wir sehen Farbe, wenn sich Lichtwellen an einem Material reflektieren. Da sichtbares Licht Wellenlängen zwischen 400 und 800 Nanometer hat, erscheinen manche Nanomaterialien, die sich aus kleineren Partikeln zusammensetzen, durchsichtig, wie wir im Falle des Titandioxids in der Sonnencreme gesehen haben. In vielen Fällen beruht der Nanoeffekt auf dem geänderten Verhältnis von Oberfläche zum Volumen (Bild rechts). Macht man einen Würfel kleiner und kleiner, wird das Verhältnis von Oberfläche zum Volumen laufend grösser. So besteht ein Würfel mit der Kantenlänge von einem Mikrometer (1000 nm) aus etwa einer Milliarde Molekülen, von denen 0,6 Prozent an der Würfeloberfläche sitzen. Ein Würfel der Kantenlänge 10 Nanometer enthält noch 1000 Moleküle, wovon nun aber 50 Prozent an der Oberfläche sind. Es ist diese enorme Zunahme an Oberfläche, welche aus üblicherweise chemisch wenig aktiven Substanzen hochreaktive Nanopartikel machen kann. Und das lässt das Material dann viel rascher schmelzen, viel stärker absorbieren (etwa UV-Strahlen in der Sonnencreme oder Moleküle an einem Biosensor) oder eben explosionsgefährlich werden. So eignet sich sogar Gold, ein Edelmetall, das in der Makrowelt chemisch sehr träge ist, in Nanogrösse als reaktionsfreudiger Katalysator in Brennstoffzellen.



www.nccr-nano.org/nccr

Eine im März 2006 vom Woodrow Wilson International Center for Scholars in Washington veröffentlichte Übersicht beschreibt weltweit 212 Nanoprodukte, die als Konsumgüter angeboten werden (128 in den USA, 42 in Ostasien, 35 in



www.nccr-nano.org/nccr

www.nccr-nano.org/nccr

Europa und 7 in der restlichen Welt). Dazu kommen schätzungsweise 600 verschiedene Rohmaterialien und Komponenten aus dem Nanobereich. Wie viele weitere Produkte ebenfalls Nanopartikel oder Nanostrukturen enthalten, aber von den Firmen nicht entsprechend deklariert werden, ist unbekannt. In den Produktebeschreibungen der 212 Nanoprodukte werden als Hauptmaterialien Kohlenstoff (29 Produkte), Silber (25), Quarz (14), Titandioxid (8), Zinkoxid (8) und Ceriumoxid (1) genannt.

Nanotubes and Buckyballs

Der am häufigsten verwendete Kohlenstoff hat in Nanogrösse völlig neuartige Strukturen, die ihn zum Paradepony (aber auch zum Sorgenkind, wie wir noch sehen werden) der Nanotechnologie machen. Im Jahre 1991 entwickelte der japanische Elektrokonzern NEC die ersten Kohlenstoff-Nanoröhrchen (Nanotubes) (Bild S. 4). Schickt man einen Stromstoss oder einen Laserblitz in eine Hochdruckkammer, gefüllt mit einem Gas reich an Kohlenstoffmolekülen,

bilden sich aus den Kohlenstoffatomen längliche Hohlzylinder (Bild oben).

Mit einem Durchmesser von einem Nanometer und bis zu mehreren tausend Nanometer lang sind diese «Kohlenstoff-Spaghetti» sechsmal leichter, aber hundertmal belastbarer als Stahl und trotzdem flexibel. Sie sind extrem hitzebeständig und leiten Wärme besser als Diamant (ein ebenfalls hervorragender Wärmeleiter aus Kohlenstoff) und können, je nach Produktionsverfahren, elektrisch leitend, halbleitend

oder ein Isolator sein. Die Nanotubes sind zum Inbegriff der nanotechnischen Möglichkeiten geworden. Sie machen Sportgeräte wie Tennis- und Golfschläger leichter und steifer; aus ihnen lassen sich äusserst reissfeste Garne spinnen und transparente Folien ziehen, die in der Lage sind Wärme abzugeben oder zu leuchten. Nanotubes eignen sich auch als molekulare Transportbehälter für Wirkstoffe etwa in der Medizin. Oder sie könnten künftig in ultraschnellen Computerchips die Transistoren ersetzen und in TV-Bildschirmen für höchste Bildauflösung sorgen.

Weitere Nano-Superstrukturen sind die Buckminster-Fullerene (C₆₀), im Nanojargon «Buckyballs» genannt. Sie setzen sich aus 60 Kohlenstoffatomen zusammen, die (wie die fünf- und sechseckigen Lederlappen eines Fussballs) zu einer Hohlkugel mit einem Durchmesser von 0,7 nm zusammengebaut sind (Bild oben). In diesen Nanokugeln sollen künftig medizinische und andere Wirkstoffe transportiert werden. Geplant ist auch der Einsatz in Solarzellen mit hohem Wirkungsgrad.

Vom Fensterglas zum Krebsmittel

Ein Streifzug durch die Palette der existierenden Nanoprodukte sowie den Ideen und Visionen an denen gearbeitet wird, zeigt Vielfalt und Möglichkeiten der Nanotechnologie.

Die vom Woodrow Wilson Center veröffentlichte Übersicht nennt auch die Verwendungsgebiete der 212 nanotechnischen Konsumgüter. Dabei entfällt mehr als die Hälfte (125) auf den Bereich «Gesundheit und Fitness», gefolgt von «Elektronik und Computer» (30), «Heim und Garten» (21) und «Nahrungsmittel und Getränke» (19). Auf den Autobereich entfallen 10 Produkte; 3 Produkte wurden speziell für Kinder entwickelt. Betrachtet man die wichtigste Produktegruppe «Gesundheit und Fitness» näher, zeigt sich ein Schwergewicht im Textilbereich (34 Produkte), gefolgt von Sportartikeln (33), Kosmetik (31), Körperpflege (23) sowie Sonnenschutz (8). Bereits stark verbreitet sind Versiegelungen mit nanometerdünnen Beschichtungen auf Gebrauchsgegenständen. Indem man die mikroskopisch

feinen Vertiefungen an den Oberflächen von Glas, Keramik, Metall oder Lackierungen mit einer festen Schicht von Nanopartikeln (z.B. Titandioxid) füllt, wird eine äusserst glatte Oberfläche erzielt, die Wasser abperlen lässt und Schmutzteilchen keinen Halt mehr bietet. So gibt es jetzt selbstreinigende Fenstergläser und Gebäudefassaden, die Duschkabine ohne Kalkflecken, die Edelstahloberfläche der Küche ohne Fingerabdrücke. Nanobeschichtung kann auch Autolacke kratzfester machen und Metalloberflächen vor Rost schützen. In Deutschland bereits entwickelt ist auch eine Zahncreme für kalte- oder wärmeempfindliche Zähne: Ein Wirkstoff aus Nano-Kalziumphosphat und Eiweiss imitiert das natürliche Zahnmaterial und versiegelt die für den Schmerz verantwortlichen feinen Risse im Zahnschmelz.

Eine Silber-Nanoschicht auf der Innenseite eines Kühlschranks kann gegen Bakterien und Pilze wirken. Den gleichen Effekt erzielt man auch mit Nano-Silberpartikeln, die in die Kunstfasern von Textilien eingearbeitet werden, z.B. in Radsporthosen und -leibchen oder Sportsocken. Sie sollen während dem Tragen der Kleider das Wachstum von Bakterien hemmen und so dem Schweißgeruch entgegenwirken. Auf dem Markt sind Seifen mit Nano-Silber und Waschmaschinen, in denen während dem Waschvorgang Silberionen abgegeben werden, um die Wäsche so zu «desinfizieren».

Titandioxid oder Zinkoxid sind als UV-Blocker in Sonnencremen schon weit verbreitet. Als winzige mineralische Spiegel reflektieren oder absorbieren sie die UV-Strahlen und schützen so die Haut. Die Anwendung der Pigmente im Nanomassstab hat in erster Linie ästhetische Gründe, da die Nano-Partikel durchsichtig scheinen, wobei die früher verwendeten Partikel in Mikrogrösse einen weissen Film auf der Haut zurückliessen. Verbesserte Haltbarkeit liefern



www.lancome-usa.com

C60-Fullerene in einer Gesichtsscreme, indem sich für das Ranzigwerden von Fettstoffen verantwortliche Moleküle auf den Oberflächen der Kohlenstoff-Nanokugeln ablagern. Seit kurzem technisch möglich ist, Fassaden, Fensterglas, Möbel, Teppiche oder Wohnzimmerwände mit Titandioxid zu beschichten. Unter dem Einfluss von Sonnenlicht sollen sich so Dreck, Fett-, Kaffee- oder Tintenflecken abbauen. Mit demselben Verfahren lassen sich – mindestens in der Versuchsanordnung – auch organische Schadstoffe in der Raumluft reduzieren.

Nano in der Lebensmittelindustrie

In Kunststofffolien und -behälter eingearbeitete Nanopartikel aus Tonerde, Siliziumdioxid, Zinkoxid oder Titandioxid machen diese Verpackungen reiss- und schlagfester oder setzen deren Durchlässigkeit für Wasserdampf, Sauerstoff und UV-Strahlung herab. Wenn sie mit Nanopartikel aus Silber versehen sind, kann sich durch den Austausch von Silberionen die Keimbildung an der Oberfläche von Lebensmitteln, die darin eingepackt sind, verringern, was sie



www.edlebauer.com



Spirig Pharma AG



www.sharperimage.com



TA-SWISS

Nanosphere, Inc.
Northbrook USA

haltbarer machen kann. Eine Nano-Innenbeschichtung bei Bierflaschen und -büchsen kann andererseits den Verlust von Kohlensäure verhindern und damit wiederum die Haltbarkeit verlängern. In Visionen werden bereits Schutzverpackungen beschrieben, die ihre Farbe ändern, wenn der Inhalt verdorben ist.

Nano kann auch direkt im Lebensmittel sein. Schon heute werden natürliche Farbstoffe, Aromen und Vitamine in Nanokapseln eingehüllt und Getränken beigemischt. Damit lösen sich die Zusatzstoffe in der Flüssigkeit besser auf und der Organismus kann sie schneller aufnehmen und umwandeln. Noch am fernen Horizont ist jedoch die viel zitierte Tiefkühlpizza mit verschiedenen Nanokapseln, die im Mikrowellengrill je nach gewählter Leistung aktiviert werden und einen spezifischen Geschmack haben: 400 Watt für Margherita, 800 Watt für Prosciutto e funghi und 1200 Watt für Quattro stagioni.

Obschon sich Nahrungsmittelkonzerne intensiv mit Nanofood befassen, gibt sich die Branche – im Gegensatz zur Sportartikelindustrie – betreffend «Nano» diskret. Vermutlich nicht zu-

letzt aus der Erfahrung mit Genfood, wo Kritikerinnen und Kritiker sowie Sicherheitsbedenken der Konsumenten vielerorts die Lancierung entsprechender Produkte verhinderte.

Medizinische Hoffnungen

Intensiv erforscht werden nanotechnische Möglichkeiten in der Medizin. Mit dem «Lab-on-a-Chip» sind Geräte in Entwicklung, die auf wenigen Quadratzentimetern Fläche als Reagenzien Hunderte von verschiedenen Sorten von Molekülen tragen und damit innert Kürze einen Blutstropfen auf eine Vielzahl von Inhaltsstoffen untersuchen können. In Entwicklung sind auch «Nanokristalle», die unter UV-Strahlung aufleuchten. Heftet man solche Nanokristalle in Blut- oder Urinproben an die im Körper während einer Infektion gebildeten Antikörper, sind diese Infektionsanzeichen schon aufzuspüren, wenn sie erst in geringen Mengen vorhanden sind.

Angestrebt werden auch Nanomedikamente. Nanokleine Hohlstrukturen könnten zu Transportgefäßen für Wirkstoffe gemacht und, versehen mit spezifischen Suchmolekülen, gezielt zum

Krankheitsherd geschickt werden. Solche Medikation käme mit einem Bruchteil der bisherigen Wirkstoffmengen aus. Nanotechnologie könnte eine Dauermedikation patientenfreundlicher gestalten.

Die ersten Tests bereits bestanden hat eine in den USA entwickelte Nanokapsel, die Zellen enthält, welche Insulin ausscheiden. In Form eines künftigen Medikaments würden solche Kapseln ständig im Blutstrom von Zuckerkranken zirkulieren und dem Patient laufend das nötige Insulin liefern.

Hoffnungen werden auch in die Therapie von Krebserkrankungen durch Nanotechnologie gesetzt. In Deutschland bereits am Menschen erprobt ist eine Therapie mit Eisenoxid-Molekülen. Dabei werden die magnetisierbaren Nanopartikel direkt ins Tumorgewebe gespritzt. Setzt man nun ein starkes äußeres Magnetfeld an die entsprechende Stelle, beginnen die Eisenoxidteilchen zu vibrieren und schädigen mit der so erzeugten Hitze die bösartigen Tumorzellen. Die ersten klinischen Tests erfolgten bei Hirntumoren, Eierstockkrebs, bei Karzinomen am Gebärmutterhals sowie bei Tumoren der Prostata. Ob diese

«MagForce Nanocancer Therapy» tatsächlich die hohen Erwartungen erfüllt, muss aber noch abgewartet werden.

Etlliche Versuche betreffen auch Krebsmedikamente, die in den Tumor gespritzt werden und sich dort an die Krebszellen anlagern. So sind an Mäusen mit Erfolg Prostata Tumore behandelt worden, indem man Krebsmittel in Nano-Kunststoffkügelchen verpackte, die sich dann im Tumor direkt an die Oberfläche der Krebszellen hefteten und von den Zellen schliesslich samt der tödlichen Fracht verschluckt wurden.

In den Blutstrom injiziert – so die Hoffnung – könnten solche trojanische Pharmapferdchen vielleicht auch Krebs, dessen Zellen bereits als Metastasen über den ganzen Körper verteilt sind, bekämpfen.

Problematische Nanopartikel

So vielversprechend Nanotechnologien sein können, man weiss heute noch wenig über allfällige schädliche Nebenwirkungen. Gefahren könnten von den speziellen Strukturen und Oberflächen von Nanomaterialien, besonders aber von den künstlich hergestellten Nanopartikeln ausgehen.

Als grösste Sorge wird in der Fachwelt die Möglichkeit diskutiert, dass Nanopartikel in den menschlichen Körper eindringen und dort Schäden verursachen. Sind die Nanopartikel fest in einem Trägermaterial eingebunden, wie im Falle von Nanoteilchen im Autolack oder von Nanotubes im Tennisschläger, erscheinen die Produkte weniger heikel als in jenen Fällen, wo Nanoteilchen frei in der Umgebung treiben. Solche freien Nanoteilchen können über die Lungen eingeatmet, durch die Haut oder über den Magen-Darm Trakt aufgenommen werden. Dies gilt insbesondere für körpernahe Produkte wie Kosmetika, Textilien oder Lebensmittelverpackungen. Und überall dort, wo Nanopartikel direkt in Esswaren oder Getränken eingesetzt werden, ist die Aufnahme in den Körper sogar die Regel. Weniger Bedenken verursachen Nanopartikel, die vom Körper wie andere biologische Moleküle verdaut und abgebaut werden – etwa in geeignete Nanosubstanzen eingehüllte Vitamine oder Farbstoffe als Zusätze in Nahrungsmitteln. Handelt es sich bei den Partikeln aber um körperfremde Nanostrukturen, die sich im Körper nicht auflösen und deshalb vom Organismus nicht abgebaut werden können, muss mit einer langzeitigen Anwesenheit der Fremdstoffe im Körper gerechnet werden. Neben den nichtlöslichen Nanopartikeln könnten besonders auch die

Kohlenstoff-Nanoröhrchen (Nanotubes) und die Fullerene zu Sorgenkindern werden.

Erste Hinweise aus Tierversuchen

Tierversuche an Mäusen und Ratten in den USA weisen auf eine mögliche Gefährdung der Lungen durch Nanotubes hin. Nachdem den Tieren grössere Mengen von Kohlenstoff-Nanotubes in die Luftröhre appliziert worden waren, kam es zu Entzündungen und krankhaften Veränderungen im Lungengewebe. Inwieweit diese Ergebnisse auf eine Wirklichkeit, wo allenfalls wesentlich kleinere Mengen eingeatmet werden, übertragbar sind, ist eine noch offene Frage. Versuche mit jungen Forellenbarschen weisen auch für Fullerene auf eine mögliche Schädlichkeit hin. Im Wasser des Aquariums gelöste Buckyballs (C60) führten bei den Fischen zu Beeinträchtigungen der Hirnfunktionalität.

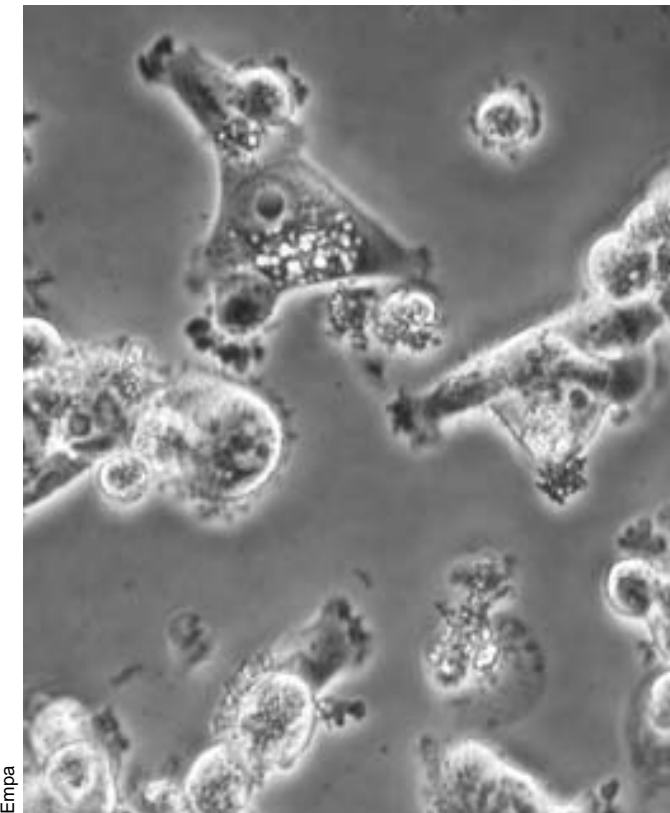
Schädlich für die Umwelt?

Auch in Bezug auf eine mögliche Umweltgefährdung durch Nanopartikel und nanotechnische Produkte sind noch viele Fragen offen. Je nach Herstellungsverfahren und Art der Produkte können Nanopartikel in Gewässer, in die Luft, in den Boden und ins Grundwasser gelangen - zum Beispiel Silber-Nanopartikel, die aus Kleidern ausgewaschen werden. Für den Men-

schon stellen diese Partikel kaum eine Gefahr dar, für Wasserlebewesen sind Silber-Nanopartikel jedoch hoch giftig, wie die amerikanische Umweltorganisation für sauberes Wasser im Juni 2006 in der Washington Post ausführte. Nanoteilchen finden auch zunehmend Verwendung in Wegwerfartikeln, die früher oder später entsorgt oder recycelt werden. Auch scheinbar fest in den Produkten gebundene Nanopartikel können durch Abrieb, Korrosion sowie durch Alterung freigesetzt werden. Viele der künstlich hergestellten Nanopartikel werden in ihrer Art und Menge für die Umwelt neu sein. Sie könnten eine neue Klasse biologisch nicht abbaubarer Schadstoffe darstellen. Ihre langfristige Auswirkung auf die Umwelt ist heute noch kaum erforscht und damit schwer zu beurteilen. Es können auch noch keine Aussagen dazu gemacht werden, ob allfällige Schäden irreversibel wären oder ob langfristig gesehen, eine schädliche Wirkung rückgängig gemacht werden könnte. In die Umwelt gelangte Nanopartikel könnten für Mensch und Tier vor allem dann zum Problem werden, wenn sie sich im Laufe der Zeit über die Nahrungskette in Pflanze, Tier und Mensch anreichern sollten. Wie sich solche Fremdstoffe in der Umwelt nachteilig bemerkbar machen können, wissen wir seit längerem von den ultrafeinen Partikeln, die etwa vom Russ der Dieselmotoren in die Atmosphäre gelangen. Die Kohlenstoffpartikel solcher Ultrafeinstäube sind kleiner als 100 Nanometer. Je grösser nun die Anzahl der Partikel in einem Kubikmeter Atemluft ist, desto höher sind Erkrankungshäufigkeit und Sterblichkeit der lokalen Bevölkerung.

Und der Mensch?

Bezüglich einer Gefährdung des Menschen durch Nanopartikel und Nanostrukturen ist noch wenig im Detail bekannt. Versuche an Zellkulturen mit Kohlenstoff-Nanoröhrchen haben jedoch gezeigt, dass ein Grossteil der den Kulturen beigegebenen Nanotubes von den Zellen aufgenommen wird und in den Zellen verbleibt, wo es zu Schäden kommen kann. Ein Forschungsteam der Empa St. Gallen zusammen mit dem Labor für Funktionale Materialien der ETH Zürich hat verschiedene industriell wichtige Nanopartikel sowie Na-



notubes auf ihre Giftigkeit für menschliche Lungenzellen in Kurzzeittests (< 6 Tage) untersucht. Zum Vergleich wurde auch ein Referenzmaterial getestet, dessen giftige Wirkung auf Zellen seit langem bekannt ist. Die Empa-Versuche zeigten nun für Nanopartikel aus Siliziumoxid, Titanoxid und Ceroxid eine kurzfristige Beeinträchtigung des Stoffwechsels in den Lungenzellen. Eisen- und Zinkoxidpartikel jedoch setzten den menschlichen Lungenzellen erheblich zu (Bild S. 8). Und die Nanotubes? Zwar sind sie tausendmal kleiner als Asbestfasern. Klebten sie aber in den Experimenten der Empa zu grösseren Nadeln zusammen, glichen sie sowohl im Aussehen wie in der Giftigkeit den Asbestfasern und waren für die Zellen besonders schädlich.

Beim Menschen wird eine unerwünschte Aufnahme von Nanopartikeln in den Blutstrom am ehesten durch Einatmen befürchtet. In den Lungenbläschen, wo der Gasaustausch zwischen Atemluft und Blutkreislauf stattfindet, ist die trennende Gewebeschicht zwischen Luft und Blut an den dünnsten Stellen lediglich 100 nm dick. Mit dem Blut können die Nanopartikel auch ins Gehirn gelangen, wo sie vermutlich die normalerweise für Schadstoffe als Barriere wirkenden Blut-Hirnschranke durchbrechen. Über die Wirkung unlöslicher Fremdstoffe im Hirn ist noch wenig bekannt. Es gibt aber doch schon Hinweise auf entzündliche Veränderungen am Hirngewebe.

Ein Übertritt von Nanopartikeln durch die Schleimhaut von Magen und Darm ins Blut ist ebenfalls möglich, auch wenn hier die trennenden Gewebeschichten 10'000 und mehr Nanometer dick sind.

Infineon Technologies AG, Neubiberg DE



Auch durch die Hautoberfläche, wie sie etwa im Fall der Kosmetika und Sonnenschutzmittel zu erwägen ist, scheint eine Aufnahme möglich. Es ist ein Eindringen durch die Haartrichter und die Poren der Schweißdrüsen sowie durch Hautverletzungen denkbar.

Fehlende Regulierung

Laut Lebensmittel-, Gesundheits- und Umweltschutzgesetz müssen in der Schweiz die Herstellerfirmen dafür sorgen, dass ihre Produkte das Leben, die Gesundheit und die Umwelt nicht gefährden. Die physikalische Andersartigkeit der Nanostrukturen sprengt allerdings den Rahmen der bestehenden Gesetze und Vorschriften, was ein Erfüllen der gesetzlichen Sorgfaltspflicht für die Nanofirmen vorderhand noch schwierig macht. So dürften für die Toxikologie der Nanopartikel die Zahl der Partikel, ihre Gesamtoberfläche sowie die Beschaffenheit der Oberflächen wegen der damit verbundenen Reaktivität

wichtiger sein als die in der Toxikologie herkömmlichen Kriterien von Gesamtmenge und -masse. National und international wachsen die Bemühungen der Nano-Industrie und von Firmen, die Nano-Produkte in Verkehr bringen, vorsorglich aktiv zu werden und Risiko-untersuchungen koordiniert voranzutreiben.

Abklärungen der Nanorisiken sind vorderhand nicht nur durch fehlendes toxikologisches Wissen und noch nicht angepasste Gesetze erschwert, es fehlen in den nanotechnischen Entwicklungslabors auch die adäquaten Testeinrichtungen. Ja, man weiss nicht einmal, welche Tests überhaupt sinnvoll sind und wie diese dann durchzuführen wären. Dies führt dazu, dass mancherorts Produkte mit synthetischen Nanopartikeln auf den Markt gebracht wurden, ohne auch nur eine einigermaßen verlässliche Vorstellung über die möglichen Risiken zu haben. Angesichts solcher Defizite sehen verschiedene

gesellschaftliche Kreise einen zunehmenden Handlungsbedarf. So hat die kanadische Umweltorganisation ETC Group am 6. April 2006 ihren Aufruf für ein Moratorium sowohl für Nanoprodukte als auch für die Forschung in den Nanotech-Labors wieder bekräftigt. Andere Stellen wünschen eine verstärkte Risiko- und Sicherheitsforschung und verlangen, dass auf allen gesellschaftlichen, politischen und wirtschaftlichen Ebenen ein verantwortungsbewusster Umgang mit den Nanotechnologien erarbeitet werde. Angepasste Vorschriften und Produktionstechniken sollen die Risiken schliesslich in einem vertretbaren Rahmen halten. An vermehrtem Wissen interessiert ist nicht zuletzt die Versicherungswirtschaft. Da es sich bei der Nanotechnologie um eine völlig neuartige Technik handelt, sind deren künftige Anwendung und Verbreitung und die möglichen Risiken nur schwer abschätzbar.

Perspektiven: Umwelt, Gesellschaft

Nanotechnologische Produkte könnten ökologisch vorteilhaft sein. Anwendungen in der Elektronik und Telekommunikation versprechen grossen Nutzen, wecken jedoch auch gesellschaftliche Bedenken.

Zwar befürchtet man ökologische Schäden, die durch neuartige künstliche Nanopartikel entstehen, die in die Umwelt entweichen. Nanotechnologie hat indes auch ein umweltfreundliches Potential. Die australische Regierung hat unlängst in einer Broschüre ökologisch vorteilhafte Produkte der einheimischen Nanoindustrie präsentiert. So vermag ein nanotechnologischer Ionenaustauscher den Abwässern 99 Prozent des unerwünschten Ammoniaks zu entziehen und als Dünger der Landwirtschaft

zuzuführen. Nanotechnologische Biosensoren, welche mit akustischen Oberflächenwellen arbeiten, können in Wasserreservoirs Legionella- und Koli-Bakterien schon in geringsten Konzentrationen nachweisen. Ein Nano-Polymer aus Maisstärke, das als biologisch rasch abbaubares Material für Verpackungen, Trinkbecher und Tragtaschen dient, wirkt der Verschmutzung der Gewässer und Landschaft durch Plastikabfälle entgegen.

Sparsame Nanolacke und Motoren

Fallstudien vom Institut für ökologische Wirtschaftsforschung in Berlin illustrieren, wie Nanotechnologien ökologisch günstig sein können. Am Beispiel der Nanolacke in der Auto-, Bahn- und Flugzeugindustrie wird gezeigt, wie man dank der viel dünneren Beschichtung eine höhere Ressourceneffizienz und wesentlich bessere Energiewerte sowie ein stark verringerter Verbrauch an Lösungsmitteln erreicht. Künftige Entwicklungsziele sind Gewichtseinsparungen an Fahrzeugen durch die Verwendung von Nanotubes in den Metalllegierungen und Kunststoffen, bessere Pneus dank Nano in den Gummimischungen sowie eine Optimierung der Verbrennungsprozesse in Motoren mittels Nano-Katalysatoren. Brennstoffzellen mit Wasserstoffspeicherung in Nanotubes, Solarzellen mit hoher

Lichtausbeute sowie grossflächige, folienartige Lichtquellen mit OLEDs (Organische Leuchtdioden) sind weitere Projekte.

Erwartungen in der Nanoelektronik

Hohe Erwartungen werden auch in die Nanoelektronik gesetzt. Die fortschreitende Miniaturisierung der Speicherchips und Prozessoren haben zu minimalen Strukturen von knapp 100 Nanometern geführt, wobei die nun auf kleinstem Raum produzierte Abwärme nur noch schwer zu bewältigen ist. Durch den Einsatz von Nanotubes hofft man Datenverarbeitung schliesslich mit Milliarden von Schaltelementen pro Chip betreiben zu können. Dies brächte der Informationstechnologie nicht nur wesentliche Energieeinsparungen sondern auch völlig neuartige Anwendungen. So könnte man in Gebrauchsgegenstände oder Kleidern Elektronik integrieren, die laufend die Qualität der Gegenstände oder die Gesundheit des Benutzers überprüft und per Telekommunikation meldet. Am Horizont der Nanotechnologie zeigen sich auch militärische Anwendungen. In den USA betreibt die Rüstungsindustrie umfangreiche Nanoforschung, für Nano-Kampfstoffe und bessere Ausrüstungen.

Gesellschaftliche Bedenken

Gegen eine allgegenwärtige Informatik und Telekommunikation werden jedoch ethische wie soziale Bedenken geäussert, da Persönlichkeitsschutz und Menschenrechte durch «Big brother» bedroht sein könnten. Die Verbindung von Nano-Sensor-Netzwerken, Computern und mikroskopisch kleinen Nano-Kameras und Nano-Mikrofonen könnte

die Überwachungsmöglichkeiten enorm steigern. Es stellt sich die Frage, wie ein Missbrauch verhindert werden kann und wie neue Datenschutzprobleme gelöst werden können. Dasselbe gilt auch für den Einsatz von nanoskaligen Instrumenten in der medizinischen Diagnostik. Wobei hier noch dazukommen kann, dass die Entwicklung neuer und besserer Diagnoseverfahren deutlich schneller voranschreitet, als die Entwicklung neuer Therapien. Es ist fraglich, ob Patienten hier ihr Recht auf Nichtwissen wahren können. Medizinische Visionen beschreiben auch den Einsatz von Nano-Implantaten, die direkt mit den Nervenzellen verbunden sind. Gedacht als Möglichkeit zur Verbesserung der Lebensqualität, stellt sich die Frage, wann die Grenze zu Mensch-Maschine-Mischwesen überschritten wird und ob diese überschritten werden soll.

Geradezu existentielle Ängste hat schon 1992 der kalifornische Wissenschaftler Eric Drexler ausgelöst. Drexler entwickelte die Vision von Nanorobotern, die ähnlich wie unsere Körperzellen aus Atomen und Molekülen die verschiedensten Stoffe und Strukturen rasch und in beliebigen Mengen herstellen. Kritiker befürchten, dass solche molekulare Nanotechnologie Amok laufen könnte, indem sich die Nanohelfer plötzlich unkontrolliert vermehren und schliesslich wie Fressbakterien die Welt konsumieren und zu einem grauen Schleim (Grey Goo) machen würden. Sind solche Sorgen in Anbetracht der noch fernen Entwicklung von sich selbst vermehrenden Nanostrukturen nicht sehr dringend, zeigt das Beispiel doch die enorme Spannweite der denkbaren nanotechnologischen Risikoszenarien.



Empa

Risikodiskussion und Nanoforschung in der Schweiz

Die Schweiz gehört zu den führenden Nationen der Nanotechnologie. Neben zahlreichen Forschungs- und Entwicklungsprogrammen kümmert man sich nun auch in einem Aktionsplan um die rechtlichen und gesundheitlichen Aspekte.

Die für die Chemikalien- und Lebensmittelsicherheit zuständigen Bundesstellen für Gesundheit (BAG) und Umwelt (BAFU) wollen in Zusammenarbeit mit Expertinnen und Experten aus verschiedenen Wissenschaftsbereichen und einer Begleitgruppe aus Vertretern der Politik, Industrie, Umweltverbänden, Konsumenten und Gewerkschaften bis Ende 2006 den Aktionsplan «Risiko-bestimmung und -management von synthetischen Nanomaterialien» erarbeiten. Im Sinne eines Inventars wird der Schweizer Aktionsplan eine Übersicht der heutigen Verwendungen von Nanopartikeln in der Schweiz erstellen und Szenarien entwickeln, wie und wie viele Nanopartikel sich in der Umwelt ansammeln könnten und wie sich eine derartige Exposition mit bestehenden Belastungen im Ultrafeinbereich (etwa durch Dieselruss) vergleichen würde. Handlungsfelder sind auch das Erarbeiten von harmonisierten Definitionen, damit Nanomaterialien überhaupt rechtlich erfasst werden können sowie Testrichtlinien für die Gefahren- und Risikobeurteilung für Mensch und Umwelt. Forschung und Wirtschaft will man für eine Selbstregulation motivieren und die Gesetzgebung anpassen, falls dies für die Sicherheit nötig erscheint. Zum Schutz der Arbeiterschaft sollen Sofortmassnahmen getroffen werden.

Eine internationale Aufgabe

Zurzeit gibt es noch in keinem Land eine spezifische Regulation der Nanotechnologie. Künftige rechtliche und organisatorische Schritte sollten schon aus wirtschaftspolitischen Gründen international koordiniert werden, weshalb auch der Schweizer Aktionsplan mit Gremien der EU, der OECD und der UNEP zusammenarbeitet. Im Rahmen der EU läuft von 2005 bis 2009 ebenfalls ein Aktionsplan «Nanowissenschaften und Nanotechnologien». Und sowohl die Schweizerische Normen-Vereinigung (SNV) wie die International Organization for Standardisation (ISO) betreiben zurzeit umfangreiche Programme, um in der Nanotechnologie Normen, Messmethoden und Fragen der Sicherheit und Gesundheit besser in den Griff zu bekommen.

Nanotechnologie in der Schweiz: ausgesprochen interdisziplinär

Die Schweiz gehört zu den führenden Nationen der Nanotechnologie-Forschung und -industrie. Nanotechnologie ist wie kaum eine andere Zukunftstechnologie ausgesprochen interdisziplinär. Sie betrifft fast sämtliche Wissensbereiche und Techniksparten, von der Physik, Chemie und Biologie bis zu den Materialwissenschaften, der Energietechnik, dem Verkehrswesen, der Informatik, der Um-

welttechnik, der Textilbranche, der Kosmetik, der Nahrungsmittelbranche und der Medizin. Deshalb arbeiten auch in der Schweiz in den nanotechnologischen Forschungsprogrammen die verschiedensten Institute und Firmen zusammen.

Der folgende Überblick ohne Anspruch auf Vollständigkeit gibt einen kleinen Eindruck über Schwerpunkte und einzelne Beispiele der Nano-Forschung in der Schweiz.

Schwerpunkte und Programme

Nationaler Forschungsschwerpunkt Nanowissenschaften (NCCR Nanoscale Science seit 2001)

Bereiche: Nanobiologie, Quanten-Computing, atomare und molekulare Nanosysteme, molekulare Elektronik, funktionale Materialien und Nanoethik.

Leitung: Universität Basel. Netz von neun Schweizer Universitäten, Forschungsinstituten und Industriepartnern mit ca. 200 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftern. Zusammenarbeit mit Forschungsgruppen in Europa, Japan und USA. Nanoscience Lehrgang mit Diplomabschluss seit 2002.

Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa) Dübendorf, St. Gallen, Thun

Nanotechnologische Mikroskope und Werkzeuge, Nanoelektronik und Nanophotonik, nanostrukturierte Werkstoffe und Beschichtungen, Risikoforschung, Sicherheit am Nano-Arbeitsplatz, Nanotechnologie und Gesellschaft.

Centre Suisse d'Électronique et de Microtechnique (CSEM), Neuchâtel, Zürich, Alpnach

Nanoelektronik und Nanomechanik für die Uhren-, Elektronik- und Computerindustrie.

Zürcher Hochschule Winterthur (ZHAW)

Angewandte Forschung und Beteiligung am Europäischen Masterstudiengang in Mikro- und Nanotechnologie: Institut für Chemie und Biotechnologie (ICB), Center for Computational Physics (CCP), Kompetenzzentrum für Sicherheit und Risikoprävention (KSR).

Beispiele aus den Forschungsinstituten

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETHZ)

Nanoroboter des Instituts für Robotik und intelligente Systeme der ETHZ für chirurgische Eingriffe an einzelnen Zellen oder zum präzisen Wirkstofftransport.

École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)

Entwicklung von nanotechnischen Verfahren für sehr leistungsfähigen Solarzellen und Lithium-Ionen-Batterien.

Paul Scherrer Institut (PSI), Villigen

«Synchrotron-Lichtquelle Schweiz» graviert mittels Röntgen-Lithographie Strukturen bis unter 20 nm in Polymere.

Institut für Anatomie der Universität Bern

Studien zur Interaktion von Nanopartikeln mit dem Lungengewebe und Aufnahme von Partikeln in rote Blutkörperchen.

Mikro- und Nanosystemtechnik (MINAST)

NOSE–Nanotechnology Olfactory Sensor, nanomechanische Nase riecht eine Vielzahl von Duftstoffen in sehr geringen Konzentrationen (IBM, Novartis, ETHZ, Universität Basel, PSI (1996–2001)).

Université de Lausanne (UNIL)

Nanopublic: Plattform für fachübergreifenden Austausch zu Nanotechnologien für Wissenschaft, Forschung, Industrie, Behörden und Einwohnerinnen und Einwohner der Schweiz, (seit April 2006).

Etliche Schweizer Industrieunternehmen entwickeln oder arbeiten mit Nanotechnologie: von Grossfirmen wie Novartis, Roche und Phonak bis zum Zürcher Jungunternehmen HeiQ, das antibakterielle Zusätze aus Silber-Nanopartikeln für Sportkleider und medizi-

nische Plastiken entwickelt. Ein Pionier der industriellen Nanotechnik ist die Bühler AG in Uzwil, welche verschiedene nanotechnologische Verfahren zur Herstellung von Nanopartikeln, die als Ausgangsmaterial für weitere Produkte dienen, in grossem Massstab umsetzt.

Ausblick publifocus

Diese Einführung soll helfen, Spannungsfelder, die das weite Thema der Nanotechnologien mit sich bringt, zu erkennen, sich eine eigene Meinung zu bilden und Wünsche, Bedenken und offene Fragen zu formulieren.

Wie gezeigt, werden Nano-Produkte unseren Alltag in den nächsten Jahren stark beeinflussen und nanotechnologische Entwicklungen in der Industrie werden auch Auswirkungen auf die Umwelt haben. Die Anforderungen an die Nanotechnologien sind hoch. Neben den grossen Erwartungen, die die Nanotechnologien insbesondere in der Medizin, der Informatik, aber auch bezüglich einer Verringerung des Rohstoff- und Energieverbrauchs erfüllen sollen, bestehen heute noch grosse Fragezeichen, welches die Auswirkungen von künstlich hergestellten Nanopartikeln auf unsere Gesundheit und die Umwelt sein werden. Hierzu gibt es noch kaum gesicherte Daten. Man ist sich auch noch nicht einig, was wie gemessen werden soll. Daher gibt es auch noch keine Antwort auf die Frage, wie eine allfällige Regulation aussehen soll. Das muss jetzt erarbeitet werden. In der Zwischenzeit nimmt die Zahl der Nano-Produkte und -Anwendungen stetig zu. Damit wird die Frage nach den positiven aber auch möglichen negativen Folgen immer konkreter, auch für die Bevölkerung.

Nach Aussagen von Fachleuten ist die breite Öffentlichkeit an der neuen Technologie allenfalls interessiert, steht ihr aber noch überwiegend gleichgültig gegenüber. TA-SWISS interessiert, wie Einwohnerinnen und Einwohner der Schweiz damit umgehen, dass eine

neue Technologie gleichzeitig Vorteile verspricht und Risiken birgt. Wir möchten von den Leuten wissen, was sie von Nanotechnologien, von heutigen und künftigen Produkten und Anwendungen halten. Wo sie die Vorteile der neuen Technologie sehen. Und wie schwer die Risiken wiegen. Uns interessiert auch, was sie von einer Regulation der Nanotechnologie halten, was vertrauensbildend wirkt und was dabei hinderlich ist. Auf der Ebene von Atomen und Molekülen gibt es keine Unterschiede mehr zwischen «biologisch» (natürlich) und «synthetisch» (künstlich). Im Nano-Massstab fällt die Trennung von belebter und unbelebter Materie weg. Das ist für die gesellschaftliche Diskussion neu und wirft auch ethische Fragen auf, z.B. wenn es – wie in Visionen dargestellt – darum gehen soll, mittels Nano-Implantaten die Leistungsfähigkeit der Menschen zu verbessern. Was meinen wohl die Teilnehmenden der verschiedenen publifocus in der Deutschschweiz, der Romandie und dem Tessin dazu? Wir freuen uns auf angeregte Diskussionen.

Weiterführende Angaben

Übersichten und Produkte

«Nanotechnologie – eine Zukunftstechnologie mit Visionen», Informationsblätter des Bundesministeriums für Bildung und Forschung, Berlin: www.bmbf.de/de/nanotechnologie.php. Auf der Webseite kann auch die Broschüre «Nanotechnologie – Innovationen für die Welt von morgen» bestellt werden.

«Nanotechnologie», Arbeitsbericht des Büros für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB): www.tab.fzk.de/de/projekt/zusammenfassung/ab92.htm.

Die EU betreibt unter www.cordis.lu/nanotechnology eine gute Nanotechnologie-Homepage.

www.nanoforum.org liefert als «European Nanotechnology Gateway» Dokumente und Studien, z.B. Nanoforum Reports: «Benefits, Risks, Ethical, Legal and Social Aspects of Nanotechnology». «Part 3: Potential Risks of Nanotechnologies» zu Versuchen an Tieren und menschlichen Zellen.

Das «Project on Emerging Nanotechnologies» ist die Informationsplattform des Woodrow Wilson International Center for Scholars, Washington, www.nanotechproject.org. Mit einem Inventar über das heutige Angebot an Nanoprodukten: www.nanotechproject.org/44/consumer-nanotechnology.

Französischsprachig ist das Portal NanoScience et NanoTechnologies: www.nanomicro.recherche.gouv.fr

Nanomedizin

«Nanotechnologie in der Medizin», Studie von TA-SWISS von 2003 unter: www.ta-swiss.ch unter Publikationen, Berichte, Biotechnologie und Medizin.

Ökologische Vorteile der Nanotechnologie

«Nachhaltigkeitseffekte durch Herstellung und Anwendung nanotechnologischer Produkte». Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW), Berlin: www.ioew.de/index2.html.

Risiken

Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties. Royal Society und Royal Academy of Engineering, England. Umfassende Einführung in Chancen und Risiken der Nanotechnologien: www.nanotec.org.uk/finalReport.htm.

«Nanotechnology – Small matter, many unknowns», Swiss Re: www.swissre.com, Research & Publications, Risk & Expertise, Risk perception, Nanotechnology.

«Espace Nano» von «VivantInfo» zu Zweck, Einsatz Ethik und Risiken der Nanowissenschaften: <http://www.vivantinfo.com>, unter Espace Nano.

Kritik

www.etcgroup.org. Unter Publications, Nanotechnology sind diverse kritische Berichte der kanadischen NGO zu Nanotechnologien zu finden.

Friends of the Earth: www.foe.org. Die internationale Umweltorganisation kritisiert die Verwendung von Nanopartikeln in Kosmetika.

Nanotechnologie in der Schweiz

Die Arbeiten des nationalen Forschungsschwerpunktes NCCR Nanoscale Science des Schweizerischen Nationalfonds sind unter www.nccr-nano.org zu finden.

Die Empa präsentiert ihre Nanoforschung unter www.empa.ch/nano. Hier kann auch eine unterhaltsame Broschüre für Schulen: «Reise in die Welt des Nanometers» bestellt oder heruntergeladen werden.

Die Tätigkeit des Laboratory for Micro- and Nanotechnology am Paul Scherrer Institut, Villigen ist im Internet unter <http://lmn.web.psi.ch/> zu finden.

Die Aktivitäten, die die Universität Lausanne seit Frühling 2006 mit der interdisziplinären Plattform Nanopublic für Forschung, Wissenschaft, Industrie, Behörden und Einwohnerinnen und Einwohner geschaffen hat sind unter <http://www.unil.ch/nanopublic/> aufgelistet.

KTI – Die Förderagentur für Innovation des Bundes unterstützt den Wissens- und Technologietransfer zwischen Hochschulen und Unternehmen und den Aufbau von marktfähigen Lösungen – auch in der Nanotechnologie: <http://www.bbt.admin.ch/kti/projektfoerderung/>.

TA-SWISS, Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung

Seit 1992 schätzt TA-SWISS Auswirkungen neuer Technologien ab und berät Parlament und Bundesrat vorausschauend in Wissenschafts- und Technologiefragen. Mit wissenschaftlichen Studien werden Trends in der Biomedizin sowie in der Informations- und Nanotechnologie erfasst und mit Mitwirkungsverfahren Bürgerinnen und Bürger in die Debatten einbezogen, z.B. beim publifocus «Nanotechnologien und ihre Bedeutung für Gesundheit und Umwelt». TA-SWISS wird vom Bund finanziert und ist dem Schweizerischen Wissenschafts- und Technologierat angegliedert.

publifocus - Methode

Ein publifocus ist ein von TA-SWISS entwickeltes Dialogverfahren, mit welchem ein frühzeitiger Beitrag für eine sachliche Diskussion zu möglichen Folgen des technologischen Fortschritts geleistet werden soll. An einem publifocus diskutieren rund 15 zufällig ausgewählte Personen das Spannungsfeld der jeweiligen Technologie – in diesem Fall der Nanotechnologie. Ein einzelner publifocus dauert vier Stunden, wird professionell moderiert und protokolliert. Expertinnen und Experten halten zu Beginn des Abends kurze Referate, die den Einstieg in die Diskussion erleichtern. Die Teilnehmenden informieren wir rund einen Monat vor dem publifocus mit einer eigens für das Thema erarbeiteten Broschüre. Sie ist verständlich und ausgewogen geschrieben und gibt – in diesem Fall – einen Überblick über den heutigen Stand der Nanotechnologien, über zukünftige Chancen und

mögliche Risiken. Die Meinungen der Teilnehmenden werden in einem Bericht zusammengestellt, welcher der Information der interessierten Öffentlichkeit und des Parlaments dient. In den publifocus-Veranstaltungen werden keine Empfehlungen erarbeitet und die Resultate erheben nicht den Anspruch, repräsentativ für die ganze Schweiz zu sein. Sie widerspiegeln jedoch die Einschätzung der Bevölkerung und geben konkrete Hinweise auf weitere Handlungsfelder.

publifocus «Nanotechnologien»

Trägerschaft

Zürcher Hochschule Winterthur (ZH)
www.zhwin.ch

Bundesamt für Umwelt (BAFU)
www.umwelt-schweiz.ch

Bundesamt für Gesundheit (BAG)
www.bag.admin.ch

Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung (TA-SWISS)
www.ta-swiss.ch

Begleitgruppe

Prof. Philipp U. Heitz, Leitungsausschuss TA-SWISS Au/ZH (Präsident Begleitgruppe)

Prof. Dr. Ueli Aebi, Leitungsausschuss TA-SWISS, Strukturbiologe, NCCR Nanoscale Science, Biozentrum, Universität Basel

Dr. Sergio Bellucci, Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung (TA-SWISS), Bern

Dr. Stefan Durrer, Ressort Chemikalien und Arbeit, Staatssekretariat für Wirtschaft (seco), Bern/Zürich

Dr. Thomas Epprecht, Risk Engineering Services, Swiss Re, Zürich

Prof. Dr. Peter Gehr, Institut für Anatomie, Medizinische Fakultät der Universität Bern

Brigit Hofer, Wirtschaftspolitik/Nachhaltigkeit COOP Schweiz, Basel

Dr. Holger Hoffmann-Riem, network for transdisciplinarity in sciences and humanities (td-net), Schweizerische Akademien der Wissenschaften (CASS/SCNAT), Bern (bis Juni 2006)

Prof. Dr. Georg Karlaganis, Abteilung Stoffe, Boden, Biotechnologie, Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern

Dr. Hans G. Kastenholz, Innovations- und Technikanalyse, Abteilung Technologie und Gesellschaft, Empa, St. Gallen

Alain Kaufmann, Leitungsausschuss TA-SWISS, Directeur Interface Sciences-Société, Université de Lausanne

Prof. Heinrich Kuhn, Kompetenzzentrum für Sicherheit und Risikoprävention (KSR), Zürcher Hochschule Winterthur (ZH), Winterthur

Dr. Monika Kurath, Wissenschaftsforschung Universität Basel, Collegium Helveticum ETH und Universität Zürich

Christa Markwalder Bär, Nationalrätin FDP, Burgdorf

Dr. Christian Pohl, network for transdisciplinarity in sciences and humanities (td-net), Schweizerische Akademien der Wissenschaften (CASS/SCNAT), Bern (ab Juni 2006)

Dr. Klaus Peter Rippe, Ethik im Diskurs GmbH, Zürich

Urs Spahr, Sektion biologische Sicherheit, Abteilung Biomedizin, Bundesamt für Gesundheit (BAG), Bern

Dr. Christof Studer, Sektion Industrie-

chemikalien, Abteilung Stoffe, Boden, Biotechnologie, Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern

Barbara Vonarburg, Redaktion Wissen, Tages-Anzeiger, Zürich

Josianne Walpen, Bereich Lebensmittel/Kosmetika, Stiftung für Konsumentenschutz, Bern

Dr. Steffen Wengert, Sektion Vermarktete Stoffe, Abteilung Chemikalien, Direktionsbereich Verbraucherschutz, Bundesamt für Gesundheit (BAG), Bern

Projektleitung

Michael Emmenegger, TA-SWISS, Bern

Impressum

Nano! Nanu? Informationsbrochüre zum publifocus «Nanotechnologien und ihre Bedeutung für Gesundheit und Umwelt». TA-SWISS, Bern, 2006.

Autor: Dr. Herbert Cerutti, Wissenschaftsjournalist, Wolfhausen

Redaktion: Michael Emmenegger, Anne Boesch, TA-SWISS, Bern

Übersetzungen: Viviane Mauley, MVM Communication, Chesalles-sur-Moudon (f), Giovanna Planzi, Minusio (i), Swiss Re Language Service, Zürich (e)

Layout: Fernand Hofer, Rheinfelden

Druck: Bundesamt für Bauten und Logistik (BBL)

Juli 2006

Herausgeber und Bezugsquelle

Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung

beim Schweizerischen Wissenschafts- und Technologierat (TA-SWISS)

Birkenweg 61, CH - 3003 Bern

Tel.: ++41 (0)31 322 99 63

Fax: ++41 (0)31 323 36 59

Email: ta@swtr.admin.ch

www.ta-swiss.ch



Z:W

Zürcher
Hochschule
Winterthur



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

Bundesamt für Gesundheit BAG