

Die Bausteine der Natur in Griffweite gerückt

**Kurzfassung der TA-SWISS Studie
«Nanotechnologie in der Medizin»** ▶

Les constituants de la nature désormais à portée de main

**Résumé de l'étude TA-SWISS sur la
«Nanotechnologie dans la médecine»** ▶

Cutting nature's building blocks down to size

**Abridged version of the TA-SWISS Study
«Nanotechnology in Medicine»** ▶

Herausgeber – Editeur – Editor:

TA-SWISS

Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung

Centre d'évaluation des choix technologiques

Centre for Technology Assessment

Bern, 2003

Redaktion Kurzfassung – Rédaction du résumé – Résumé written by:

Dr. Lucienne Rey, Bern und Erfurt

Traduction: Viviane Mauley, MVM Communication, Chesalles-sur-Moudon

Translation: Gary Williamson, Pirbright, England

Diese Kurzfassung beruht auf der TA-SWISS Studie – Le résumé se base sur l'étude TA-SWISS – The résumé is based on the TA-SWISS study:

«Nanotechnologie in der Medizin»

Der TA-SWISS Bericht wurde von folgenden **Autorinnen und Autoren** verfasst –

Auteurs du rapport TA-SWISS – **Authors** of the TA-SWISS report:

Walter Baumgartner, Projektleiter, Basics AG Zürich

Barbara Jäckli

Bernhard Schmithüsen

Felix Weber

Cosima Borrer

Claudia Bucher

Marietta Hausmann

Betreuung des TA-SWISS Berichtes – Supervision du rapport TA-SWISS –

Supervisor of the TA-SWISS report:

Marcel Indermühle, Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung, Bern

Der vollständige Bericht kann kostenlos bezogen werden beim:

Le rapport complet peut être obtenu gratuitement à l'adresse suivante:

Copies of the report can be obtained free of charge from:



Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung

Birkenweg 61, CH-3003 Bern

Tel. +41 (0) 31 322 99 63

Fax +41 (0) 31 323 36 59

E-Mail ta@swtr.admin.ch

Internet www.ta-swiss.ch

www.publiforum.ch

TA-SWISS Das Zentrum für Technologiefolgen- Abschätzung

Neue Technologien bieten oftmals entscheidende Verbesserungen für die Lebensqualität. Zugleich bergen sie mitunter aber auch neuartige Risiken, deren Folgen sich nicht immer von vornherein absehen lassen. Das Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung untersucht die **Chancen und Risiken** neuer technologischer Entwicklungen in den Bereichen «Biotechnologie und Medizin», «Informationsgesellschaft» und «Mobile Gesellschaft». Seine **Studien** richten sich sowohl an die Entscheidungstragenden in Politik und Wirtschaft als auch an die breite Öffentlichkeit. Ausserdem fördert TA-SWISS den Informations- und Meinungsaustausch zwischen Fachleuten aus Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und der breiten Bevölkerung durch **Mitwirkungsverfahren** (zum Beispiel PubliForen und publifocus).

Das Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung ist dem Schweizerischen Wissenschafts- und Technologierat angegliedert. Der SWTR berät den Bundesrat in wissenschafts- und technologiepolitischen Belangen.

TA-SWISS Le Centre d'évaluation des choix technologiques

Souvent susceptibles d'avoir une influence décisive sur la qualité de vie des gens, les nouvelles technologies peuvent en même temps comporter des risques latents qu'il est parfois difficile de percevoir d'emblée. Le Centre d'évaluation des choix technologiques s'intéresse aux **avantages et aux inconvénients** potentiels des nouvelles technologies qui se développent dans le domaine des sciences du vivant et santé, de la société de l'information et de la mobilité. Ses **études** s'adressent tant aux décideurs du monde politique et économique qu'à l'opinion publique. Il s'attache, en outre, à favoriser par des **méthodes dites participatives**, telles que les PubliForums et publifocus, l'échange d'informations et d'opinions entre les spécialistes du monde scientifique, économique et politique et la population.

Le Centre d'évaluation des choix technologiques est rattaché au Conseil suisse de la science et de la technologie, qui a pour mission de faire des recommandations au Conseil fédéral en matière de politique scientifique et technologique.

TA-SWISS The Centre for Technology Assessment

New technology often leads to decisive improvements in the quality of our lives. At the same time, however, it involves new types of risks whose consequences are not always predictable. The Centre for Technology Assessment examines the potential **advantages and risks** of new technological developments in the fields of life sciences and health, information society and mobility. The **studies** carried out by the Centre are aimed at the decisionmaking bodies in politics and the economy, as well as at the general public. In addition, TA-SWISS promotes the exchange of information and opinions between specialists in science, economics and politics and the public at large through **participatory processes**, e.g. PubliForums and publifocus.

The Centre for Technology Assessment is attached to the Swiss Science and Technology Council, which advises the Federal Council on scientific and technological issues.

Die Bausteine der Natur in Griffweite gerückt

Kurzfassung der TA-SWISS Studie «Nanotechnologie in der Medizin»



Bild: Bamboiserie du Prafrance, Generarues

Die neue Technik gestattet es, in Prozesse einzugreifen, die bis jetzt der belebten Natur vorbehalten waren.

Vorbild Natur: selbstreinigende Oberfläche der Lotusblume

Die Eroberung des Unermesslichen

In die Endlosigkeit des Weltraums ist der Mensch bereits vorgedrungen. Seit neuerer Zeit schickt er sich an, Kleinststrukturen im atomaren Bereich zu erobern.

Im Kleinen mischt die Schweiz gross mit: das Rastertunnelmikroskop (s. Kasten S. 2) erfanden Gert Binnig und Heinrich Rohrer 1981 im IBM-Forschungslabor in Rüschlikon. Dieses neuartige Mikroskop machte den «konstruktiven» Zugang zu den molekularen und atomaren Strukturen der Welt überhaupt erst möglich. Und es trug seinen beiden Schöpfern 1986 den Nobelpreis für Physik ein.

Im medizinischen Labor sind herkömmliche Mikroskope mit Linsen im Einsatz, welche die Proben gut tausendfach vergrössern. Was aber für die Analyse von Blutabstrichen genügt, reicht noch lange nicht, um bis zum Aufbau molekularer oder gar atomarer Anordnungen vorzustossen. Genau das aber ist der Anspruch der sogenannten Nanowissenschaft: Sie setzt sich mit Strukturabmessungen auseinander, die bis zu einem Millionstel Millimeter (eben einem Nanometer) klein oder gar noch kleiner sind. Zum Vergleich: der Durchmesser eines Haares entspricht zirka 50'000, die Stärke einer Alu-Haushaltsfolie ungefähr 10'000 und die Dicke einer Seifen-

blasenwand etwa 750 Nanometern. 0,25 Nanometer wiederum misst der Kern eines Eisenatoms.

Die Nanowissenschaftler begnügen sich allerdings nicht damit, die Welt der Atome und Moleküle bloss zu betrachten. Vielmehr zielt Nanotechnik darauf ab, direkt auf die Bausteine in der atomaren Anordnung zuzugreifen und sie umzuformen. Und im Unterschied zur herkömmlichen Chemie, welche Moleküle gewissermassen «en masse» verändert, wenn sie neue Stoffe mischt, strebt die Nanowissenschaft den gezielten Zugriff auf das spezifische Molekül, auf das einzelne Atom, an.

Eine folgerichtige Fortführung

Farben, die den Schmutz abweisen, oder Folien, die als Solarzelle über das Auto gezogen werden und für umweltfreundlichen Antrieb sorgen – das sind Visionen, welche die Nanowissenschaftlerinnen und -wissenschaftler beflügeln. Ihre Eingebungen beziehen sie oft von der Natur: die schmutzabweisende Farbe etwa schauten sie dem Blatt der Lotusblume ab. Seine mit winzigsten kugelförmigen Unebenheiten versehene Oberfläche stösst Staub und Wasser ab.

Die Nanotechnologie stellt bahnbrechende Neuerungen in Aussicht. Zugleich führt sie aber auch Entwicklungen fort, die in der Wissenschaft seit Jahrhunderten angelegt sind.

Das Streben, in immer fernliegende Bereiche vorzudringen – mit dem Teleskop neue Planeten und Galaxien zu entdecken oder unter dem Mikroskop fremde Kleinstlebewesen aufzuspüren – teilen die Forschenden aus frühen Jahrhunderten mit den Nanowissenschaftlerinnen und -wissenschaftlern von heute.

Vor diesem Hintergrund scheint die Nanowissenschaft weniger einem klar umrissenen Wissenschaftszweig zu entsprechen. Eher ist sie als Querschnittsanliegen aufzufassen, als eine Art unterschwellige Zielsetzung, welche die verschiedensten wissenschaftlichen Disziplinen verbindet und prägt. Denn die Fachleute, die sich mit Beschichtungstechnik befassen, erhoffen sich von der Nanotechnik ebenso revolutionäre Errungenschaften wie die Expertinnen und Experten aus Medizin und Elektronik.

Die Medizin im Blickpunkt

Die Auswirkungen einer Querschnittswissenschaft in allen Anwendungsgebieten erschöpfend auszuloten, würde den Umfang einer auf Aktualität angelegten (und mit begrenzten Mitteln ausgestatteten) Analyse sprengen. Die TA-SWISS-Studie «Nanotechnologie in der Medizin» beschränkt sich deshalb darauf, mögliche Folgen zu beleuchten, die das Vordringen in die Nanodimension im Gebiet der Heilkunde nach sich ziehen könnte.

Medizinische Anwendungen der Nanowissenschaft drängen sich aus verschiedenen Gründen als Betrachtungsgegenstand auf. Zum einen bringt die Öffentlichkeit medizinischem Fortschritt besonders grosse Aufmerksamkeit entgegen – hin- und hergerissen zwischen dem Wunsch nach wirkungsvolleren und

schonenderen Therapien einerseits und der Sorge um Nebenwirkungen und stetig steigende Gesundheitskosten andererseits. Zum anderen geht in der Medizin die Nanotechnologie dem Menschen buchstäblich unter die Haut: ihr therapeutischer Einsatz wird ihn dereinst in besonders engem Kontakt mit nanotechnischen Errungenschaften – etwa mit Implantaten – bringen. Überhaupt gestattet es die neue Technik, in Prozesse einzugreifen, die bis jetzt der belebten Natur vorbehalten waren und ausserhalb der menschlichen Reichweite lagen. Das revolutionäre Potenzial von Teilchen und Strukturen in Nanogrösse ist umso gewaltiger, als sie sich potenziell selber organisieren und vielfältigen können und somit grundlegende Eigenschaften des Lebendigen kopieren. Umso sorgfältiger gilt es, die Chancen und Risiken zu erfassen, die mit der Nanotechnologie verbunden sein könnten.

Den Fachleuten in die Karten geschaut

Wer in der griechischen Antike nicht mehr weiter wusste, konsultierte das Apollo-Orakel: in Delphi gab die Pythia den Ratsuchenden rätselhafte Anweisungen mit auf den Lebensweg. Auf die «Delphi-Methode» wird auch heute zurück gegriffen. Sie eignet sich unter anderem, um Neuerungen schärfer zu fassen, die sich am Möglichkeitshorizont erst abzeichnen beginnen und wo sich die Mutmassungen über ihre Folgen im Bereich der Spekulationen bewegen. Allerdings arbeitet das heutige Delphi nicht mit medial veranlagten Priesterinnen, sondern mit ausgewiesenen Fachleuten.

Die Autoren der TA-SWISS-Studie haben im Rahmen eines Delphi drei Befragungsrunden

Nicht sehen, sondern fühlen

Optische Mikroskope, die mit Linsensystemen operieren, erreichen bei Kleinststrukturen von ungefähr 250 Nanometern ihre Grenzen. Demgegenüber liefert das Rastertunnelmikroskop auch im atomaren Bereich unter 1 Nanometer zuverlässige Vergrösserungen. Dabei «sieht» es die Proben nicht, sondern es «fühlt» sie: eine feine Spitze wird bis auf den Abstand weniger Atomdurchmesser an die Probe heran geführt. Zugleich wird eine elektrische Spannung angelegt. Die quantenmechanischen Kräfte, die in diesem subatomaren Bereich wirksam werden, lassen einen sogenannten «Tunnelstrom» zwischen Probe und Spitze fliessen. Während die Spitze die Oberfläche abtastet, bleibt der Abstand zwischen Spitze und Probe konstant, indem auch der Tunnelstrom konstant gehalten wird. Die Spitze folgt somit gewissermassen der Struktur der Probenoberfläche; mit bildgebenden Computerprogrammen wird es möglich, aus den Bewegungen der Spitze ein dreidimensionales Abbild der Probenoberfläche zu entwerfen.

Weiterentwicklungen des Rastertunnelmikroskops vermögen die feinen Strukturen der Proben nicht nur abzutasten, sondern auch gezielt zu manipulieren. Die «Sehhilfe» wird damit zum Greifwerkzeug.

mit insgesamt über 70 Fachleuten durchgeführt. Die ersten zwei Fragerunden richteten sich an Forschende, die selber in der Nanowissenschaft aktiv sind. Hier wurde versucht, die mutmassliche Entwicklung der Nanotechnologie abzustecken: wo sind Durchbrüche am ehesten zu erwarten, wie lange werden sie auf sich warten lassen, welche technischen Hürden gilt es zu meistern? Die dritte Befragungsrunde setzte die rechtlichen, gesellschaftlichen und ethischen Folgen der neuen Technik in den Mittelpunkt. Dabei kamen Expertinnen und Experten aus der Rechtswissenschaft, der Ethik und der Ökonomie zu Wort, die zugleich auch über Grundkenntnisse der Nanotechnologie verfügen. Die Mehrzahl der Befragten stammt aus dem Ausland: bei den ersten zwei Befragungsrunden zur Technik-Prognose zu mehr als 50% aus den USA, bei der dritten Befragungsrunde zu rund drei Vierteln aus Deutschland. Ergänzt wurden

die Befragungsrunden durch einzelne Tiefeninterviews im Nachgang zur dritten Runde des Delphis.

Die in den nachfolgenden Kapiteln zusammengefasste Beurteilung der Nanotechnologie beruht also auf der Einschätzung von Fachleuten aus unterschiedlichen wissenschaftlichen Disziplinen.

Der nanotechnologische Werkzeugkasten

«Nanodünne» Schichten lassen sich heute einigermassen handhaben. Die Herstellung von Gebilden, die in zwei Dimensionen Nanodimensionen erreichen sollen (etwa feinste Halbleiterbahnen) stösst bereits auf grössere Probleme. Vollends schwierig gestaltet sich die gezielte Konstruktion von Gebilden, die in allen drei Dimensionen so klein sind. Gerade diese wären für den Einsatz in der Medizin besonders interessant.

Wollte ein Uhrmacher eine Armbanduhr mit dem Bulldozer reparieren, würde er zu Recht schräg angeschaut. In der Medizin dagegen hat man sich damit abgefunden, dass die Ärztinnen und Ärzte mit ähnlich unangemessenem Arbeitsgerät hantieren. Die meisten Krankheiten entstehen nämlich auf der Stufe der Zelle. Gezielte Eingriffe in die Struktur und Funktion einzelner Zellen sind heute aber noch kaum möglich. Die Nanowissenschaft könnte das ändern.

Künftig könnte die Nanotechnologie in Gestalt von Kleinstpartikeln, von mehrteiligen Strukturen, von Oberflächen oder gar von hochkomplexen, mit chemischen, elektrischen oder mechanischen Funktionseinheiten versehenen Nanogeräten in der Diagnose und Therapie zum Einsatz kommen. Darüber hinaus könnten die heute noch üblichen medizinischen Untersuchungs- und Verarbeitungsverfahren durch die Nanotechnologie tiefgreifend verändert werden. In der TA-SWISS Studie «Nanotechnologie in der Medizin» wurde der Ausdruck des «nanotechnologi-

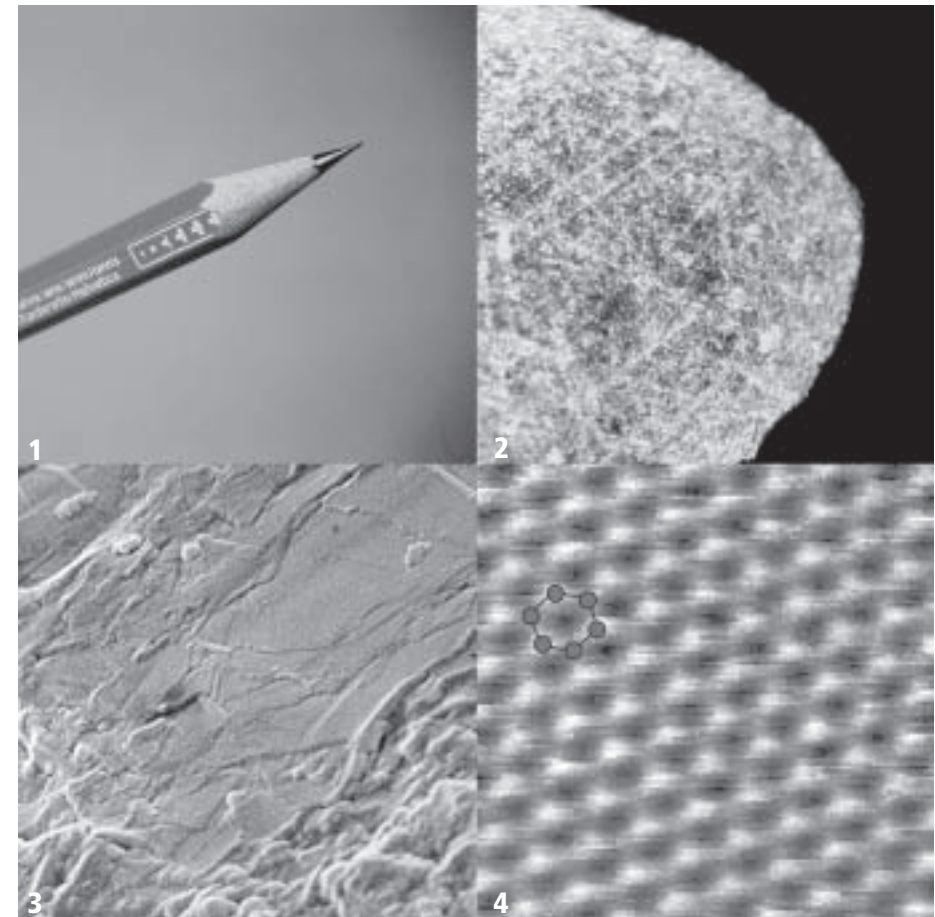
schen Werkzeugkastens» geprägt, um die fünf verschiedenen Formen zu charakterisieren, welche diese neue Technik in der Medizin aller Voraussicht nach annehmen wird (s. Kasten S. 4).

Punktgenau gekennzeichnet durch Nanopartikel

Die Vorboten einer Krankheit aufzudecken, noch bevor die eigentlichen Symptome zu Tage treten, ist Ziel und Anspruch einer modernen Medizin. Denn eine Therapie, die frühzeitig einsetzt, hilft Schäden gering zu halten. Verfahren, die es ermöglichen, Antikörper frühzeitig und mit einer geringeren Menge an Blut oder Urin nachzuweisen, sind gefragt – und die Nanotechnologie liefert dazu einen Beitrag. Sogenannte optische Quantenpunkte – Nanokristalle, die unter ultravioletter Strahlung fluoreszieren – könnten an spezifische Antikörper geheftet werden und helfen, diese auch dann rasch aufzuspüren, wenn sie erst in geringer Menge in einer Probe vorkommen.

In der Krebstherapie verspricht man sich von Nanopartikeln ebenfalls viel. Wenn es gelänge, magnetische Teilchen gezielt an einen Tumor anzuheften, könnten diese über ein magnetisches Wechselfeld in Schwingung versetzt werden und dadurch das Krebsgewebe erwärmen. Ergänzt durch klassische Behandlungsmethoden wie Bestrahlung oder Chemotherapie brächte diese lokale Temperaturerhöhung – so die Idee – die Tumorzellen zum Absterben.

Auch als winzige Medikamentenkapseln vermöchten Nanopartikel ihren Dienst zu tun. Zielgenau könnten sie die therapeutische Substanz an jenen Ort transportieren, wo sie



Die Bleistiftspitze im Grössenvergleich: 1 von Auge; 2 unter Lichtmikroskop; 3 unter Elektronenmikroskop; 4 Rasterkraftmikroskop

Bild: Peter Reimann, Universität Basel und Nanosurf AG, Liestal

Die Vorboten einer Krankheit aufzudecken, noch bevor die eigentlichen Symptome zu Tage treten, ist Ziel und Anspruch einer modernen Medizin.

benötigt wird. Geforscht wird dabei etwa an Dendrimeren – kugelförmigen Molekülen mit Hohlräumen. Damit sie ihre Fracht am Zielort freigäben, müssten sie so konstruiert sein, dass sie nur in Gegenwart bestimmter Auslösermoleküle aufquellen und ihren Inhalt absondern würden. Andere Konzepte sehen vor, die Kleinstbehälter durch ein Magnetfeld zu steuern.

Kommerziell werden Nanopartikel erst in Einzelfällen verwendet. Die in der Delphi-Runde befragten Fachleute schätzen, dass etwa in der Krebstherapie Nanopartikel in fünf bis zehn Jahren nutzbar sein werden. Etwas näher am Ziel ist man beim Gebrauch von Quantenpunkten in der Diagnose. Im Zeitraum von 2005 - 2008 dürfte diese Methode, die bereits heute in gewissen Laboratorien eingesetzt wird, für eine breitere Anwendung zur Verfügung stehen. Die gezielte Medikamentenab-

Die fünf Werkzeuge der Nanotechnologie

Nanotechnologie wird in fünf verschiedenen Formen zum Einsatz kommen, nämlich als

- einfach strukturierte Teilchen (Partikel)
- Systeme von verbundenen Teilchen (Strukturen)
- ausgedehnte flächige Strukturen (Oberflächen)
- hochkomplexe, mit mechanisch, chemisch oder elektrisch aktiven Einheiten versehenen Strukturen (Nanogeräte oder «devices»)
- Vorgehensweisen und Methoden

gabe durch Nanopartikel schliesslich sollte gemäss Expertenaukunft etwa bis zum Jahr 2010 möglich sein – vorausgesetzt, es stellt sich in den nächsten drei bis fünf Jahren heraus, dass Dendrimeren die in sie gesetzten Erwartungen zu erfüllen vermögen.

Nanostrukturen zur Erhebung von Gesundheitsdaten

Rastertunnel- und Rasterkraftmikroskope sind handliche Instrumente. Labor-Hightech nimmt hier kaum grössere Dimensionen ein als eine Zigarettenschachtel. Die feine Spitze, welche die Nanostruktur der Proben abtastet, könnte in angepasster Form auch als chemische Sonde im Körperinnern zum Einsatz kommen.

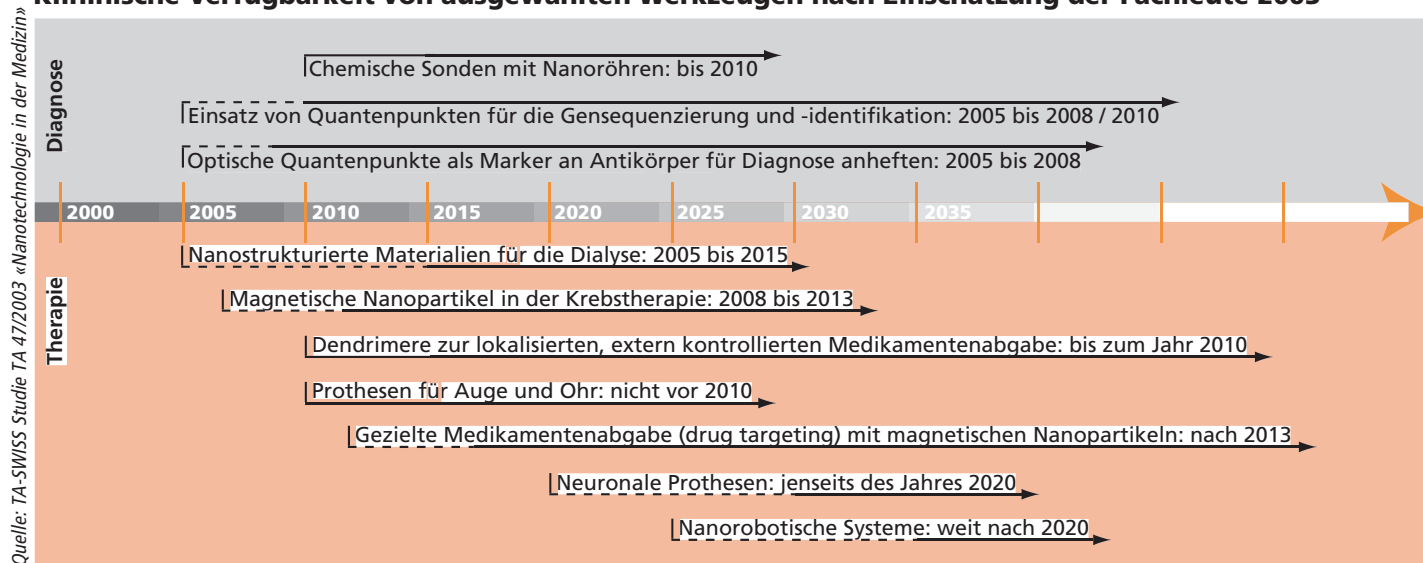
Eingebaut in hochsensible Sensoren könnten halbleitende Nanoröhren auch am Krankenbett Verwendung finden – etwa, indem sie

Schwankungen des elektrischen Widerstandes messen, der sich verändert, wenn spezifische Gase ausströmen.

Nicht nur in der Diagnose, sondern auch in der Therapie ist der Einsatz von Nanostrukturen denkbar – zum Beispiel als gut verträgliches Material, das das Wachstum von Knochen oder allenfalls auch anderer Gewebearten unterstützt. Nanoröhren schliesslich könnten für die Erzeugung künstlicher Muskeln oder von Pumpen für die gesteuerte Medikamentenabgabe genutzt werden.

Die befragten Fachleute schätzen den Zeithorizont, innerhalb dessen Nanostrukturen zur kommerziellen Anwendung finden werden, auf sechs bis fünfzehn Jahre. Relativ rasch, nämlich bis 2010, könnten die chemischen Sonden verfügbar sein. Pessimistischer beurteilen die Expertinnen und Experten den Zeitbedarf zur Entwicklung hochsensibler Sensoren und künstlicher Knochen.

Klinische Verfügbarkeit von ausgewählten Werkzeugen nach Einschätzung der Fachleute 2003



Verträgliches Ersatzgewebe dank Nano-Oberflächen

Nanobasierte Membrane für die Dialyse von Nierenkranken, künstliche Haut oder gut verträgliche Schicht, mit denen sich Implantate abdecken lassen – das Potenzial für nanostrukturierte Oberflächen ist beträchtlich. Allerdings gibt es aus Sicht einiger Fachleute bis jetzt noch keine überzeugenden klinischen Hinweise, dass sich solche Oberflächen für den medizinischen Einsatz tatsächlich verwirklichen lassen. Bei der Einschätzung des Realisierungszeitraums fällt die Beurteilung der Expertinnen und Experten entsprechend uneinheitlich aus: während die einen behaupten, einzelne Ausgestaltungen von nanostruk-

Den Tumor mit Eisen spicken

«Charité heilt ersten Krebspatienten», titelte die Tageszeitung «Die Welt» in ihrer Ausgabe vom 1. September 2003. Mit einer neuen nanotechnischen Methode behandelten die beiden Krebsforscher Andreas Jordan und Peter Wust einen Weichteiltumor, der einem Patienten unter dem Schlüsselbein wucherte und als unheilbar galt. Und zwar spritzten sie nanometergrosse Eisenteilchen in die Geschwulst. Anschliessend erhitzen die beiden Forscher die Eisenpartikel durch magnetische Schwingung. Der Tumor «bekam Fieber» – und in Kombination mit Chemo- und Strahlentherapie vermochte die lokale Temperaturerhöhung die Krebszellen abzutöten. Acht Wochen nach der Therapie sei der 26-jährige komplett von Tumorzellen befreit, berichtete die Zeitung.

turierten Oberflächen stünden heute schon zur Verfügung, rechnen andere mit einem Realisierungszeitraum bis ins Jahr 2020.

Sehen und hören dank Nanogeräten

Am weitesten in utopische Entwürfe wagen sich jene Tüftler vor, die an komplexen Nanogeräten («devices») arbeiten. Prothesen für Auge, Ohr oder gar fürs Gehirn könnten – wenn sich die Hoffnungen ihrer Entwickler erfüllen – die Lebensqualität kranker Menschen erheblich steigern. Allerdings werden sich nennenswerte Erfolge kaum vor 2010 einstellen, und im Fall der neuronalen Prothesen

oder der künstlichen Organe und Organteile sind sie gar frühestens ab 2020 zu erwarten.

Greifbarer erscheint der Erfolg beim Einsatz von Nanogeräten in der sogenannten Schlüsselloch-Chirurgie, die operative Eingriffe schonend durch kleinste Öffnungen vornimmt: Nano-Devices dürften dabei bereits erprobte mikromechanische Verfahren weiter verfeinern. Entscheidende Fortschritte sind aus Sicht der Fachleute zwischen 2005 und 2010 zu erwarten, wobei der Übergang von der mikroskop zur eigentlich nanobasierten Technik erst deutlich später als 2010 erfolgen wird.

Effizientere und schnellere Methoden

Wenn kleine Sonden, die auf der Technik des Rasterelektronenmikroskops aufbauen, im Innern des Körpers molekulare Strukturen nahezu zerstörungsfrei abzutasten vermögen, werden dadurch Potentiale für eine rasche und schonende Diagnose und Therapie erschlossen. Auch für die Identifikation spezifischer Gene könnte die Nanowissenschaft geeignete Instrumente und Verfahren bereit stellen (s. Kasten S. 8). Die befragten Expertinnen und Experten rechnen mit einem Zeitraum von zwei bis sieben Jahre, um entsprechende Techniken verfügbar zu machen.

Therapie kommt später als Forschung und Diagnose

Die Nanowissenschaft stellt der Medizin eine bunte Palette neuer Instrumente und Verfahren in Aussicht. Welche sich durchsetzen werden, ist zur Zeit noch offen. Und während Forschung und Diagnose schon relativ bald von den neuen Möglichkeiten profitieren dürften, sind die

Fachleute weit skeptischer, wenn es um den Einsatz der Nanotechnik in der Therapie geht. Verglichen mit Forschung und Diagnose wird man sich bei der Krankheitsbehandlung zehn bis fünfzehn Jahre länger gedulden müssen, bis die Nanotechnik sich etabliert haben wird. Auf die Probleme, die der Kluft zwischen diagnostischen und therapeutischen Fähigkeiten erwachsen, geht das vorletzte Kapitel der vorliegenden Broschüre ein.

Mit Nanotechnik in den Kampf gegen sieben Plagen

Der medizinische Einsatz der Nanotechnologie lässt sich ausgehend von den Verfahren und Instrumenten betrachten, welche die neue Wissenschaft zur Verfügung stellt. Denkbar ist indes auch ein anderer Blickwinkel, der von den Krankheiten ausgeht, die es zu bekämpfen gilt.

Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Krebs führen die Statistiken der Todesursachen in entwickelten Ländern an. Sie könnten künftig auch durch nanotechnische Instrumente und

Verfahren bekämpft werden – so wie virale und bakterielle Infektionen, Autoimmun- und Stoffwechselkrankheiten und Gehirnerkrankungen.

Die Frage, bei welchen Krankheiten sie bis zum Jahr 2020 der Nanotechnologie die besten Aussichten für Therapieerfolge einräumen, beantworteten die konsultierten Fachleute differenziert. Die grössten Chancen auf nanotechnische Durchbrüche sehen sie bei der Krebsbekämpfung. Mit Blick auf Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Stoffwechselkrankheiten werden den neuartigen Verfahren und Instrumenten zwar erhebliche Leistungsmöglichkeiten, aber relativ geringe Realisierungschancen zugestanden. Im Mittelfeld – sowohl, was das heilende Potential als auch, was die technische Umsetzung betrifft – liegen Infektionen und Autoimmunkrankheiten. Bei Gehirnerkrankungen (namentlich Alzheimer) dagegen scheinen aus Sicht der Expertinnen und Experten die Aussichten für einen erfolgreichen Einsatz nanotechnischer Therapieinstrumente und -methoden gering.

Aus Sicht der Expertinnen und Experten bestehen kaum Zweifel, dass die Nanotechnologie in der medizinischen Forschung und Diagnose bis zum Jahr 2020 spektakuläre Durchbrüche ermöglichen.

Eine Revolution im Kleinen

Die Nanotechnik wird sich eher in kleinen Schritten entwickeln als in grossen Sprüngen. Und der Durchbruch könnte später eintreten, als es sich zahlreiche Fachleute ausmalen. Die Auswirkungen auf die Gesellschaft allerdings dürften dermassen tiefgreifend sein, dass sie sich heute noch kaum angemessen abschätzen lassen.

Je weiter eine neue Technik von ihrer praktischen Umsetzung noch entfernt ist, desto grösser ist die Uneinigkeit, wenn es um die Beurteilung ihrer Potentiale und Realisierungsaussichten geht. Dieses grundsätzliche Muster tritt in den Antworten der Fachleute hervor, die sich im Rahmen der Delphi-Umfrage zur Nanotechnologie äusserten.

Unsicher bezüglich der Unsicherheiten

Uneins waren sich die Expertinnen und Experten etwa in der grundlegenden Frage, ob die Entwicklung der Nanotechnologie in den kommenden zwanzig Jahren nicht zwangsläufig unsicher sei. Hier kann schon fast von zwei entgegengesetzten «Fraktionen» gesprochen werden. Denn es lehnen etwa gleich viele der Befragten diese Einschätzung gänzlich ab wie ihr völlig zustimmen. Und beide Extrempositionen finden vergleichsweise zahlreichen Anhang. Mit anderen Worten: während die Einen darauf gefasst sind, dass die Nanowissenschaft auf unerwartete Hindernisse und überraschende Lösungsmöglichkeiten stossen wird, halten die Anderen das neue Forschungsfeld für ein relativ übersichtliches und berechenbares Gelände.

Grosse Kluft zwischen Laborforschung und praktischer Anwendung

Einig sind sich die Fachleute hingegen in der Einschätzung, dass die Zeitspanne zwischen ersten Erfolgen im Labor und der breiten Anwendung im Alltag unterschätzt wird. Nur ein verschwindend kleiner Teil der Befragten negiert diese Aussage, während sich ihr die überwiegende Zahl der Expertinnen und Experten weitgehend oder gar völlig anschliesst.

Probleme orten die Fachleute in der fehlenden Langzeitstabilität von Nanostrukturen sowie bei der Herstellung ausreichend grosser, kommerziell interessanter Mengen nanotechnischer Produkte. Schwierigkeiten erwarten die Befragten ausserdem, wenn es an die Herstellung dreidimensionaler Nanostrukturen geht. Einzelpartikel oder zweidimensionale, schichtförmige Nanooberflächen scheinen demgegenüber einfacher zu handhaben.

Keine Ethikdefizite

Dass Forschende mit ethischer Blindheit geschlagen seien und ihrer Arbeit unbeirrt von allfälligen negativen Folgen ihres Tuns nachgingen, wird in öffentlichen Diskussionen gerne unterstellt. Aus Sicht der Wissenschaft selbst ist dieses Bild allerdings nicht haltbar. Die überwiegende Mehrzahl der Befragten verneint nämlich, dass ethische und soziale Fragen von den Forschenden zu wenig wahr und vorweg genommen würden.

Offen bleibt, ob diese Einschätzung von eben gerade jener mangelnden Sensibilität zeugt, auf welche die entsprechende Frage abzielt – oder ob die Nanowissenschaft, die im Grenz-

Wo beginnt Krankheit, wenn die Therapie einsetzt, noch bevor die Symptome ausgebrochen sind?



Bild: Martin Stolz, Biozentrum Universität Basel

Messkopf eines Rasterkraftmikroskops

bereich zwischen belebter und unbelebter Materie operiert, jene Menschen, die sich mit ihr auseinander setzen, zu existenziellen Grundsatzfragen anhält. Die Autorinnen und Autoren der TA-SWISS-Studie halten jedenfalls fest, dass im Zug der Befragungsgespräche auch spontane Bemerkungen fielen, die den Schluss nahe legen, dass etliche der Forschenden ethisch motivierte Anliegen (etwa jenes nach regelnden Leitplanken oder nach einer vorausschauenden Reflexion) durchaus befürworten.

Zu hohe Erwartungen in der Medizin

Relative Einigkeit legen die befragten Fachleute schliesslich auch an den Tag, wenn es darum geht, die an die Nanotechnologie herangetragenen Erwartungen zu beurteilen. Sie seien speziell im medizinischen Bereich unrealistisch, findet eine Mehrzahl der Befragten. Der Aufwand, der zwischen ersten Laboranwendungen in der Forschung und dem Einsatz in der klinischen Praxis liegt, werde gerne unterschätzt. Dass die Erfolgsaussichten der neuen Wissenschaft von den Forschenden selbst hochgejubelt und entsprechende Erwartungen geweckt werden, liegt in der Funktionsweise des Wissenschaftsbetriebs begründet: Je aussichtsreicher eine Disziplin, desto üppiger fliessen die Forschungsgelder. Übertriebene Hoffnungen wiederum könnten aber letztlich den nanotechnischen Fortschritt hemmen. Wenn nämlich Erwartungen immer wieder enttäuscht werden, sinkt die Bereitschaft, in diese Form der Forschung Geld zu investieren.

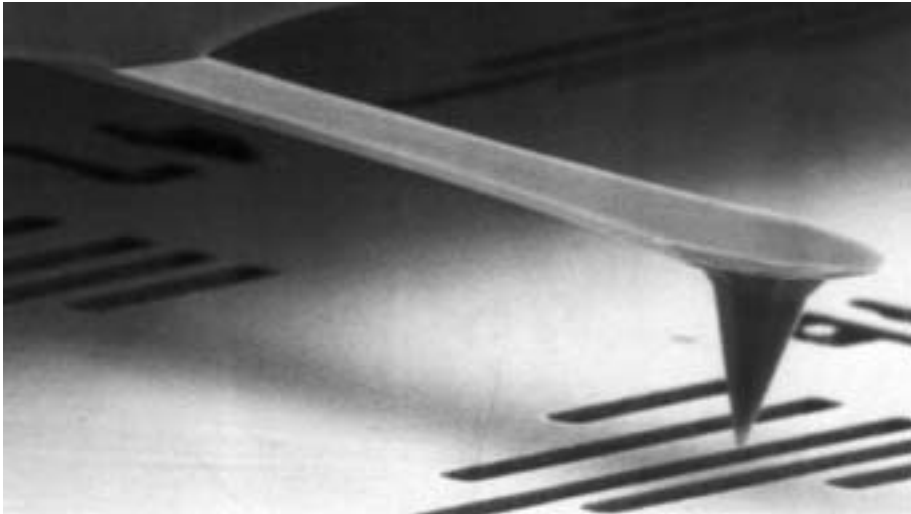


Bild: Martin Stolz, Biozentrum Universität Basel

Federbalken: Messfühler des Rasterkraftmikroskop und Werkzeug für die Nanowelt

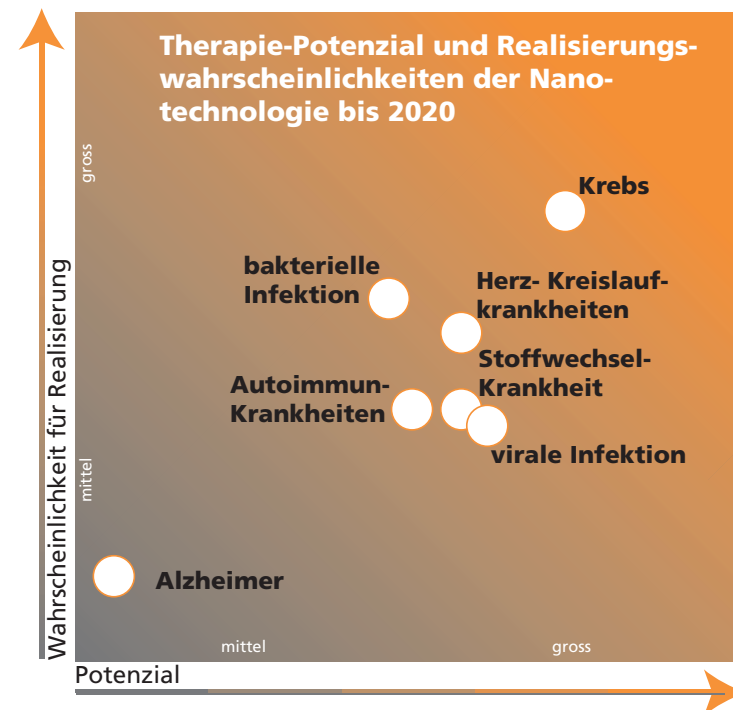
Gezielter und schneller, aber kaum billiger

Aus Sicht der Expertinnen und Experten bestehen kaum Zweifel, dass die Nanotechnologie in der medizinischen Forschung und in der Diagnose bis zum Jahr 2020 spektakuläre Durchbrüche ermöglichen und sich bei der Abklärung von Krankheitsbildern als Mittel der Wahl durchsetzen wird. Nanotechnisch unterstützte medizinische Untersuchungen werden aus Sicht der meisten Befragten zielgerichteter erfolgen, schneller sein und Krankheiten früher aufdecken, als es heute der Fall ist. Ob die Diagnose damit auch viel billiger wird, beantworten die Fachleute weniger geschlossen.

Bei der Behandlung von Krankheiten schreitet die Nanotechnik allerdings deutlich langsamer voran als in der Forschung und der Diagnose. Zwar rechnet eine Mehrheit der befragten Wissenschaftlerinnen und Wissen-

schaftler damit, dass die Behandlungsmethoden dank der Nanotechnologie weniger Nebenwirkungen nach sich ziehen und dass die Therapien wirksamer sein werden. Diese segensreichen Effekte sind aber erst ab 2020 im grösseren Stil zu erwarten. Immerhin denkt etwas mehr als die Hälfte, dass nanobasierte Therapien die Medizin schon in den nächsten 20 Jahren deutlich verändern werde. Die finanziellen Folgen der neuen Technik werden auch mit Blick auf die Therapie eher skeptisch beurteilt. Aus Sicht der Expertinnen und Experten ist es eher unwahrscheinlich, dass der einzelne therapeutische Akt dank der Nanotechnik günstiger wird.

Dass eine grundlegende Errungenschaft der Evolution – das körpereigene Abwehrsystem – durch Nanoteilchen umgangen wird, muss nicht unbedingt schlecht, sondern könnte für gewisse Therapien sogar von Vorteil sein.



Existenzielles, neu buchstabiert

Sollten sich die Potentiale, welche die Nanotechnologie in Aussicht stellt, tatsächlich realisieren lassen, steht uns die Neudefinition zentraler gesellschaftlicher Kategorien bevor. Wo beginnt Krankheit, wenn die Therapie einsetzt, noch bevor die Symptome ausgebrochen sind? Wo ziehen wir die Grenze zwischen toter Materie und beseeltem Leib, wenn Nanoprothesen vitale Funktionen in unserem Körper übernehmen?

Nanotechnologie operiert im Grenzgebiet zwischen unbelebter Materie und lebendiger Substanz: indem sie bis hinunter auf die atomare und molekulare Struktur der Dinge zugreift, vermag die neue Technik Prozesse zu beeinflussen, die bis jetzt der natürlichen Entwicklung unterworfen waren und sich menschlichem Zugriff entzogen. Die Nanotechnologie könnte den homo sapiens mit Instrumenten ausstatten, um tief in die biologischen Abläufe einzugreifen.

Wirkungsvollere Gen-Analysen dank Nanotechnologie

Die US-amerikanische Firma Quantum Dot Corporation (www.qdots.com) bietet Cadmiumselenid-Nanoteilchen an, die sich als biologische Etiketten verwenden lassen, um Proteine oder Moleküle der Erbsubstanz zu markieren. Weil die Kristalle fluoreszieren, verraten sie den Standort der markierten Moleküle – und zwar wesentlich präziser, als es bisher gebräuchliche Farbstoffe tun. Dank der neuen Markerteilchen liesse sich das Erbmaterial einer Probe mit Muster bekannter DNA-Sequenzen vergleichen und so feststellen, welche Gene in bestimmten Zellen aktiv sind. Nanotechnologie kann dazu beitragen, genetische Tests wirkungsvoller zu machen.

Gezielte Behandlungen, weniger Nebenwirkungen

In der Medizin könnten die neuen nanotechnologischen Instrumente durchaus segensreich wirken. Dank ausgefeilter Methoden zur frühen Detektion von Krankheiten oder deren blosser Veranlagung wäre es möglich, vorsorgend einzugreifen: Therapien könnten einsetzen, noch bevor erste Symptome das körperliche Wohlbefinden beeinträchtigen. Ja, mit vorbeugenden Massnahmen liesse sich in gewissen Fällen der Ausbruch von Krankheiten herauszögern oder gar verhindern.

Eine deutliche Mehrheit der befragten Fachleute ist sich jedenfalls einig, dass die Nanotechnologie die Lebensqualität der Menschen deutlich steigern dürfte. Die krankheitsarme Lebensspanne wird sich voraussichtlich ausdehnen. Ausserdem steigt für zahlreiche – auch schicksalshafte – Leiden die Aussicht auf Heilung, und die Nebenwirkungen der neuen Therapien werden geringer ausfallen als bei den bisher bekannten konventionellen Methoden. Die Frage allerdings, ob die höhere Lebenserwartung nicht zugleich die Phase al-

tersbedingter Demenz verlängern könnte, muss zur Zeit noch Gegenstand der Spekulation bleiben.

Bürde der Eigenverantwortung

Ein auf Vorsorge und frühzeitige Therapie ausgerichtetes Gesundheitswesen weist unbestrittene Stärken auf. Damit sie genutzt werden können, müsste allerdings ein umfassendes «Screening» – eine Prozedur systematischer Voruntersuchungen für die ganze Bevölkerung – eingerichtet werden, dem sich möglichst jede und jeder zu unterziehen hätte. Indem aber die Auseinandersetzung mit eventuell bevorstehenden Gebrechen zum «Muss» für jede und jeden wird, verschiebt sich die Grenze zwischen gesund und krank. Denn körperliches Wohlbefinden gilt nicht mehr länger als Beweis für physische Unversehrtheit. Wie sich aber das Körperbewusstsein von Menschen verändert, die sich unentwegt selber beobachten und dabei stets um ihre Gesundheit bangen, ist schwer zu beantworten. Sorglose Lebensfreude könnte jedenfalls immer mehr in Frage gestellt sein.

Wenn Mittel zur Verfügung stehen, um frühzeitig gesundheitliche Schwächen aufzudecken und zu bekämpfen, erhöht sich der gesellschaftliche Druck, von diesen Möglichkeiten Gebrauch zu machen. Damit wächst aber auch die Gefahr, dass kranke Menschen geächtet werden; denn der Kurzschluss ist verführerisch, ihnen die Schuld für ihr Leiden zuzuschreiben, weil sie es unterlassen haben, rechtzeitig die erforderlichen Analysen durchzuführen und geeignete Massnahmen zu treffen, um ihre Gesundheit zu bewahren.

Wenn wir mehr wissen, als wir heilen können

Die Nanotechnologie wird mittelfristig dazu führen, dass Krankheiten zwar frühzeitig(er) erkannt werden, ohne dass aber damit auch bereits wirkungsvolle Therapien zur Verfügung stehen müssen. Damit wird sich ein Problem verschärfen, das bereits heute zahlreiche Menschen belastet, denen ein Gentest eine hohe Wahrscheinlichkeit für eine unheilbare Erbkrankheit – etwa die schwere und tödliche Hirnerkrankung Chorea Huntington – attestiert. Sie sind gezwungen, sich existenziellen Ängsten zu stellen, ohne in der Hoffnung auf ärztliche Heilkunst Halt zu finden.

Die Möglichkeiten, mittels nanotechnischer Instrumente und Verfahren relativ präzise gesundheitliche Vorhersagen zu treffen, könnten ausserdem Begehrlichkeiten Dritter wecken. Für Lebensversicherungen, aber auch für Arbeitgeber wäre es verführerisch, auf Angaben zuzugreifen, die Rückschlüsse auf drohende Gebrechen eines Versicherten oder auf das künftige Leistungsvermögen einer Angestellten gestatten. So gesehen, könnte die Nanotechnologie den Trend zum «gläsernen Bür-

ger» verstärken. Das Gesetz über genetische Untersuchungen beim Menschen, das gegenwärtig erarbeitet wird, legt erste Leitplanken, um dem Missbrauch jener Daten vorzubeugen, welche mittels Nanotechnik im Rahmen von Genanalysen erhoben werden.

Klein heisst nicht unbedingt billig

Um die Kostenfrage kommt heute niemand herum, der sich mit medizinischen Fragen auseinander setzt. Ein grosser Teil der in der Delphi-Befragung angesprochenen Fachleute ist sich einig, dass die Nanotechnologie Diagnosen wie auch Therapien beschleunigen und wirkungsvoller gestalten könnte. Die Kosten werden sich dadurch aber kaum senken. Übers Ganze gesehen, ist sogar das Gegenteil zu befürchten: weil die Lebenserwartung der Menschen weiter zunehmen wird und technisch einfach umzusetzende Therapien zur Verfügung stehen werden, dürften diese in grösserer Zahl zur Anwendung gelangen als bis anhin. Die Nanotechnologie könnte mithin dazu beitragen, die Gesundheitskosten weiter in die Höhe zu treiben. Kostendämpfende Effekte wären von der Nanotechnologie höchstens langfristig zu erwarten – etwa, wenn auf teure Medizin im Alter verzichtet werden könnte, weil sie durch medizinische Erfolge in jungen Jahren überflüssig geworden wären.

Damit wird auch einer Zwei-Klassen-Medizin Vorschub geleistet. Für nahezu alle befragten Expertinnen und Experten ist es klar, dass sich die Verteilungsprobleme zwischen Vermögenden und Mittellosen zuspitzen werden, wenn die nanotechnischen Fortschritte nicht zu einer erheblichen Verbilligung medizinischer

Die Grenze zwischen gesund und krank verschiebt sich: körperliches Wohlbefinden gilt nicht mehr länger als Beweis für physische Unversehrtheit.

Leistungen führen. Die Zeichen dafür stehen allerdings wie gesagt schlecht. Der medizinischen Mehrklassen-Gesellschaft leistet auch der unterschiedliche Informationsgrad der Bürgerinnen und Bürger Vorschub: Während «gesundheitsmündige» Personen die Nanotechnik als Chance für die eigene, auf Prophylaxe ausgerichtete Lebensplanung nutzen werden, besteht die Gefahr, dass sich weniger gut informierte Menschen der Vielzahl an Optionen und dem wachsenden Entscheidungsbedarf nicht gewachsen fühlen.

Unberechenbare Kleinstpartikel

Dass Gefahr für Leib und Leben nicht unbedingt ins Auge fallen muss, hat uns spätestens das Ozonloch gelehrt. Die Atomdiskussion, aber auch die öffentliche Debatte um die Gefahren der Gentechnik ist denn auch stark vom Bewusstsein geprägt, dass Risiken unsichtbar sein können. Diese Befürchtung ist

auch im Fall der Nanotechnologie angebracht: wie wirken sich Kleinstpartikel aus, wenn sie in grösserer Anzahl in die Umwelt freigesetzt werden? Könnten sie für Lebewesen giftig sein, so dass wir uns vor Nanotoxizität in Acht nehmen müssen?

Wie sich Nanopartikel im lebendigen Körper verhalten, lässt sich schon deshalb nicht so ohne weiteres herausfinden, weil sie klein genug sind, um das Immunsystem auszutricksen. Die Analyse von Antikörpern kann so gesehen nicht als Ansatz dienen, um Nanopartikeln in der Blutbahn oder im Gewebe nachzuspüren. Ein immunologisches Forschungsteam der Universität von Montpellier in Frankreich jedenfalls wies nach, dass sich nanometergrosse Kohlenstoffteilchen unbemerkt in die Zellen von Ratten schleichen können und dort toleriert werden. Erst Kohlenstoffpartikel von einem Mikrometer Länge verursachten Immunreaktionen. Dass eine grundlegende Errungenschaft der Evolution –

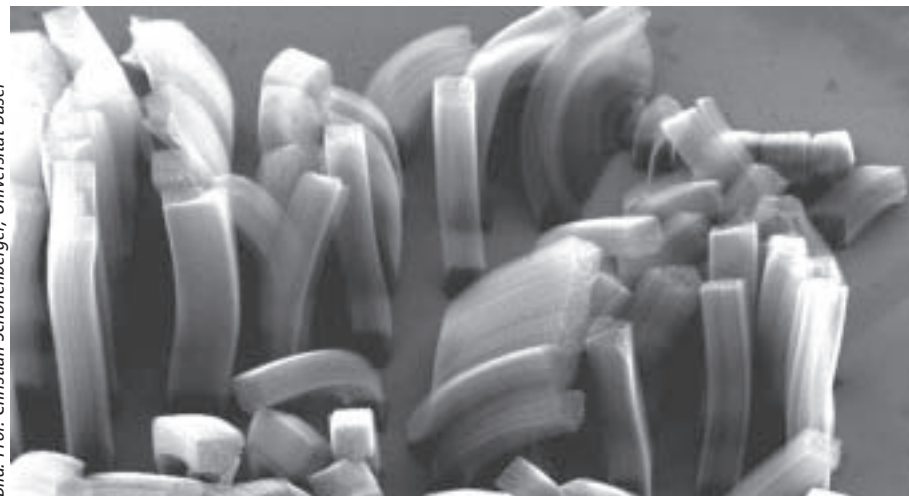


Bild: Prof. Christian Schönenberger, Universität Basel

Wachsende Nanoröhrchen

das körpereigene Abwehrsystem – durch Nanoteilchen umgangen wird, muss allerdings nicht unbedingt schlecht, sondern könnte für gewisse Therapien sogar von Vorteil sein.

Unklar ist auch, wie sich Nanopartikel im Gehirn auswirken. Denn sie sind so klein, dass sie die Blut-Hirn-Schranke zu passieren vermögen, die bisher als unüberwindbar galt.

Die konsultierten Fachleute schliessen jedenfalls die Möglichkeit keinesfalls aus, dass medizinisch verwendete Nanopartikel giftig oder sonstwie «gefährlich» sein könnten. Am grössten ist der Anteil jener Expertinnen und Experten, die die These für ziemlich wahrscheinlich halten, dass sich Nanopartikel aus der Medizin als toxisch erweisen könnten. Erste Laborexperimente liefern Hinweise, dass diese Befürchtungen begründet sind: Eine Forschungsgruppe aus Texas injizierte Nanoröhrchen aus Kohlenstoff in Mäuselungen. Nach einigen Monaten stellte sich heraus, dass sich die Nanoröhrchen in den Lungen zu Klumpen verklebt hatten, die von Fresszellen des Immunsystems umgeben waren. Diese Reaktion führte zu Narben in der Lunge. In anderen Experimenten wurden die Klumpen gar gross genug, um Bronchien zu verstopfen, so dass Laborratten daran ersticken konnten.

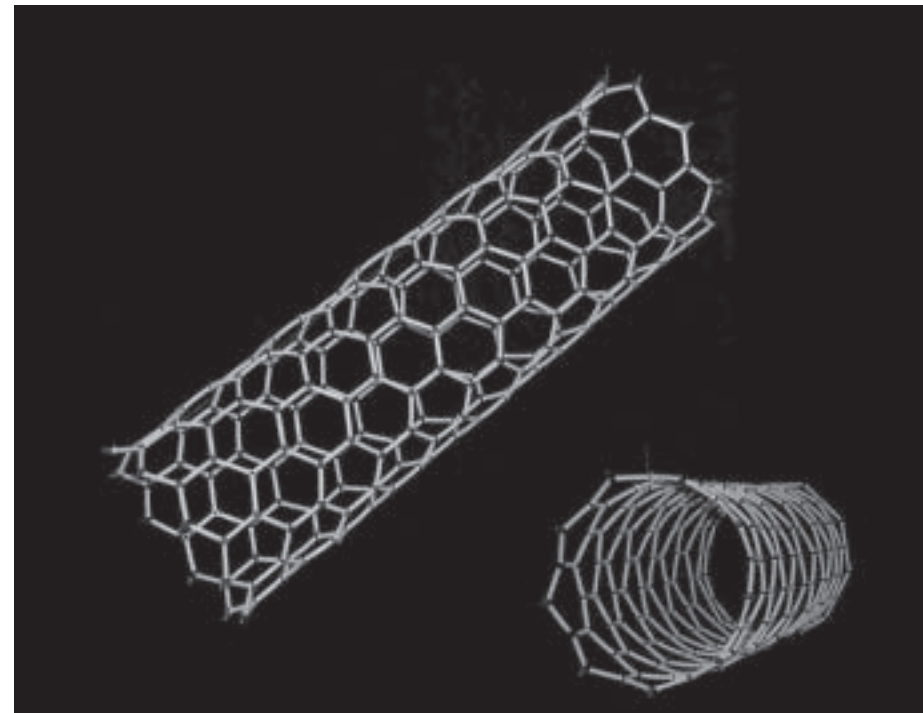
Schlecht einschätzen lassen sich auch die Risiken, die mit einer unkontrollierten Freisetzung von Nanopartikeln in die Umwelt einhergehen könnten. Denkbar wäre es zum Beispiel, dass nanobasiertes Material durch Bakterien aufgenommen und so in die Nahrungskette eingeschleust werden könnte. Zur Zeit sind Versuche im Gang um abzuklären, ob giftige Verbindungen, die sich an verschie-

Nanotechnologie befreit vor Spritzen

Täglich zwei Insulinspritzen setzen – das ist das Los vieler Diabeteskranker. Das Team der Bio-Ingenieurin Tejal Desai von der Universität in Illinois hat eine Nanokapsel entwickelt, die Zellen enthält, welche Insulin ausscheiden. Die Kapsel zirkuliert ständig im Blutstrom. Damit die therapeutischen Zellen vom Immunsystem nicht zerstört werden, musste die Kapsel so konstruiert sein, dass ihre Poren gross genug sind, um den Austritt des Insulins und die Nährstoffversorgung der Zellen zu ermöglichen – aber nicht so gross, dass Antikörper durchschlüpfen können. An Menschen konnten die Nanokapseln noch nicht getestet werden. Zuckerkranken Laborratten dagegen wurden mit dieser Methode geheilt.

dene Nanomaterialien anlagern, sozusagen «per Huckepack» in Zellen eingeschleust werden können.

Indem die TA-SWISS-Studie den Blick auf medizinische Anwendungen der Nanotechnologie fokussiert, greift sie allerdings bloss einzelne Facetten der nanotechnischen Risikodiskussion heraus. Risikoüberlegungen weisen in der Medizin generell ein besonderes Profil auf: wenn das hohe Gut der Gesundheit auf der Waagschale steht, fallen Risiken – oder in der medizinischen Terminologie: Nebenwirkungen – vergleichsweise wenig ins Gewicht. Stehen die allfälligen Technikrisiken



Model eines Nanoröhrchens

Bild: www.ncsr-nano.org/hccr

aber einem relativ diffusen Nutzen gegenüber, werden sie bedeutend kritischer gewertet und in der Regel abgelehnt.

Nanotechnologie verschärft bestehende Trends

Die explodierenden Gesundheitskosten bereiten uns unabhängig von der Nanotechnologie Sorgen, und die jüngst vollzogene «genetische Kartierung» des Menschen dürfte bereits Verschiebungen in seiner Selbst- und Körperwahrnehmung eingeleitet haben. So gesehen, bringt die Nanotechnik wenig grundsätzlich Neues. Sie dürfte aber dazu bei-

tragen, allgemeine Entwicklungslinien zu verstärken, die sich heute erst in Ansätzen abzeichnen.

Die gute Startposition nutzen

Die Schweiz ist gut positioniert, um die Vorteile der Nanotechnologie zu nutzen: Die junge Wissenschaft hat auf Schweizer Boden grundlegende Forschungsschritte gemacht, und der Bund hat mit einem Nationalen Forschungsprogramm «Nanotechnologie» günstige Rahmenbedingungen für ihre weitere Entwicklung geschaffen. Nun geht es darum, aus Fehlern zu lernen, die in der Vergangenheit im Umgang mit anderen neuen Technikzweigen begangen wurden.

«Aus den Augen, aus dem Sinn» – dieses Sprichwort gilt nicht für die Risikodiskussion. Im Gegenteil: Mit den öffentlichen Debatten über die Nuklearenergie und über die Gentechnik gerieten zwei unsichtbare Gefahren in den Mittelpunkt der allgemeinen Aufmerksamkeit. Die Nanotechnologie lässt sich in verschiedener Hinsicht mit der Gentechnik vergleichen: wie diese greift jene in vitale Prozesse ein. Dass sich der Mensch damit schöpferische Vollmachten anmasst, ohne die Folgen seines Tuns zu ermessen, könnte zur weit verbreiteten Befürchtung werden.

Überwachung und kritische Diskussion

Damit eine polarisierende und letztlich auch lähmende Debatte vermieden werden kann, gilt es Vorkehrungen zu treffen. Eine Massnahme müsste darin bestehen, ein kompetentes Gremium zu schaffen, das die weiteren Entwicklungsschritte der Nanowissenschaft im Sinne eines Monitoring begleitet und frühzeitig Gefährdungen erkennt, die von der neu-

en Disziplin ausgehen könnten. In diesem Gremium müssten Fachleute aus unterschiedlichen Forschungszweigen und aus verschiedenen Nationen Einsitz haben – und es müsste mit den erforderlichen Mitteln ausgestattet werden, um seiner Aufgabe nachzukommen.

Die neue Institution müsste dafür sorgen, dass potentielle Risiken der neuen Technik frühzeitig aufgedeckt und begrenzt würden. Eine weitere Funktion des Gremiums könnte darin bestehen, einen offenen Informationsfluss zwischen der Wissenschaft und der Öffentlichkeit sicher zu stellen und über die positiven Potentiale zu berichten, ohne die Schattenseiten zu verschweigen. Weitergehende Aufgaben könnten darin bestehen, Kampagnen zu lancieren, die das Gesundheitsbewusstsein der Bürgerinnen und Bürger stärken und sie befähigen, Nanotechnik als Möglichkeit für ihre individuelle Gesundheitsplanung besser einzuschätzen und zu nutzen. Auch zu Fragen, ob die Gesellschaft eine neue Form von «Gesundheitsberatung» braucht, könnte das interdisziplinäre Fachgremium Überlegungen anstellen und Empfehlungen erarbeiten.

Inhaltlicher und methodischer Forschungsbedarf

Wie sich Nanopartikel in biologischen Systemen und im ökologischen Zusammenhang verhalten, ist noch weitgehend ungeklärt. Es bestehen starke Indizien, dass sich mit dem Einsatz von Nanopartikeln grundlegend neue medizinische Situationen einstellen könnten: dass Fremdkörper das Immunsystem «hintergehen» und die Blut-Hirn-Schranke zu überwinden vermögen, ist erstmalig. Hier besteht erheblicher Forschungsbedarf. Unbeantwortet

Förderung der Strukturen für Nanoforschung

Die Schweiz gehört in der Nanowissenschaft zur Weltspitze. An der ETH Zürich wird die neue Disziplin neben Life Sciences und den Informationswissenschaften als prioritäres Forschungsgebiet gehandelt. Zu diesem Zweck haben der ETH-Rat und die Kommission für Technologie und Innovation KTI im gemeinsamen Schulterschluss ein Förderungsprogramm namens «Top Nano» aus der Taufe gehoben, das für die einstweilen vorgesehenen 4 Jahre Laufzeit 62 Mio Franken erhält. Auch der Bundesrat erachtet die neue Forschungsdomäne als wichtig: Nachdem 2000 das mit 64 Mio. alimentierte Forschungsprogramm «Nanowissenschaften» ausgelaufen war, bewilligte er für das Nationalfonds-Programm 47 «Supramolekulare Funktionale Materialien» einen Rahmenkredit von 15 Millionen Franken. Seit 2001 unterhält die Universität Basel mit dem National Center of Competence in Research of Nanoscience ein mit 16 Millionen Franken Jahresbudget dotiertes Forschungszentrum, und auch an verschiedenen weiteren Instituten (z.B. im Paul-Scherrer-Institut oder an der Eidgenössischen Materialforschung und -prüfungsanstalt EMPA) wird das zukunftssträchtige Forschungsfeld beackert.

Um die Nanowissenschaft voran zu treiben, werden keine Kosten gescheut. Im Vergleich dazu nehmen sich die Mittel äusserst bescheiden aus, die zur Verfügung gestellt werden, um die neue Technologie der Öffentlichkeit vorzustellen und mit ihr in den Dialog über Hoffnungen und Vorbehalte zu treten, die sie allenfalls geltend machen möchte. Während in den USA, in Grossbritannien und – etwas weniger – in Deutschland bereits kontrovers über die Nanotechnologie debattiert wird, hat das Thema in der Schweiz noch kaum Eingang in die öffentliche Diskussion gefunden.

sind zur Zeit auch noch zahlreiche Fragen in Bezug auf die Giftigkeit der Nanopartikel selbst und auf ihre Kapazitäten, giftige Verbindungen in Zellen zu transportieren.

Die allfällige Toxizität von Nanopartikeln lässt sich im Laborexperiment prüfen, indem bewährte Methoden auf den speziellen Untersuchungsgegenstand zugeschnitten werden. Demgegenüber ist es nicht klar, mit welchen Methoden die Gefahren abgeschätzt werden können, die aus einer Freisetzung von Nanopartikeln in die Umwelt erwachsen könnten. Für eine umfassende Risikoanalyse gilt es, taugliche Instrumente erst noch zu entwickeln.

Nanotechnologie lässt sich in verschiedener Hinsicht mit Gentechnik vergleichen: wie diese greift jene in vitale Prozesse ein.

Die Studien des Zentrums für Technologiefolgen-Abschätzung TA-SWISS sollen möglichst sachliche, unabhängige und breit abgestützte Informationen zu den Chancen und Risiken neuer Technologien vermitteln. Deshalb werden sie in Absprache mit themenspezifisch zusammengesetzten Expertengruppen erarbeitet. Durch die Fachkompetenz ihrer Mitglieder decken diese so genannten **Begleitgruppen** eine breite Palette von Aspekten der untersuchten Thematik ab.

Le Centre d'évaluation des choix technologiques TA-SWISS se doit, dans toutes ses études sur les avantages et les risques potentiels des nouvelles technologies, de fournir des informations aussi factuelles, indépendantes et étayées que possible. Il y parvient en mettant chaque fois sur pied un **groupe d'accompagnement** composé d'experts choisis de manière à ce que leurs compétences respectives couvrent ensemble la plupart des aspects du sujet à traiter.

Studies carried out by the Centre for Technology Assessment TA-SWISS are aimed at providing information concerning the advantages and risks of new types of technology which is as factual, independent and broad as possible. For this reason they are conducted in collaboration with groups of experts in the corresponding field(s). Thanks to the expertise of their members, these so-called **supervisory groups** cover a broad range of aspects of the issue in question.

Folgende Personen wirkten bei der Studie «Nanotechnologie in der Medizin» in der **Begleitgruppe** mit:
Le groupe d'accompagnement de l'étude «Nanotechnologie dans la médecine» se composait des personnes suivantes:
The following people were members of the **supervisory group** for the «Nanotechnology in Medicine» study:

Dr. Andrea Arz de Falco, Bundesamt für Gesundheit (ab Mitte 2002)

Dr. Markus Ehrat, Zeptosens AG

Dr. Hans-Joachim Güntherodt, Universität Basel, Institut für Physik

Prof. Dr. Philipp U. Heitz, Universitätsspital Zürich (Präsident der Begleitgruppe, Mitglied des TA-SWISS Leitungsausschusses)

Karl Höhener, TEMAS AG

Dr. Patrik Hunziker, Kantonsspital Basel

Margrit Kessler, Schweizerische Patienten-Organisation

Bernhard Nievergelt, Forschungsstelle für Sozial- und Wirtschaftsgeschichte

Dr. med Flavia Schlegel, Bundesamt für Gesundheit, Abt. Gesundheitspolitik, Forschung und Bildung (bis Mitte 2002)

Herr Prof. Hans-Peter Schreiber, TA-SWISS Leitungsausschuss (bis Mitte 2002)

Dr. Louis Tiefenauer, Paul Scherrer Institut, Laboratory for Micro- & Nanotechnology

Barbara Vonarburg, Tages-Anzeiger, Redaktion Wissen

Tatjana Weidmann-Hügler, Universität Zürich

Prof. Christiane Ziegler, Universität Kaiserslautern, Kompetenzzentrum Nanotechnologie CC NanoChem

