

Nanotechnologie in der Medizin

von Louis Tiefenauer¹, Paul Scherrer Institut, Schweiz

TA-SWISS hat die Auswirkungen bezüglich Chancen und Risiken, welche durch Anwendung von Nanotechnik in der Medizin zu erwarten sind, durch die Beraterfirma Basics AG untersuchen lassen. Die Studie basiert auf zwei Expertenbefragungen. In der ersten Runde wurden Naturwissenschaftler und Mediziner zu ihren Vorstellungen bezüglich der Auswirkungen der Nanotechnologie für den Bereich Medizin in einem Zeithorizont von 20 Jahren befragt. In der zweiten Runde wurden Sozial- und Geisteswissenschaftler zu gesellschaftlichen und ethischen Auswirkungen befragt. Das Ergebnis dieser Befragungen ist von einer Begleitgruppe zur Studie intensiv diskutiert und analysiert worden. Die Studie der TA-SWISS wird im Folgenden kurz vorgestellt und aus der Sicht eines Mitgliedes der Begleitgruppe kritisch beleuchtet.

1 Inhalt der Studie

Nanotechnologie wird als Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts bezeichnet. Technikbegeisterte bringen daher eine schier unendlich scheinende Liste von zu erwartenden Neuerungen mit dieser Technologie in Zusammenhang, während Skeptiker – auch aus den Reihen der Naturwissenschaften – darin eher einen Etikettenschwindel vermuten. Was ist überhaupt Nanotechnologie? Die Studie der TA-SWISS (2003) zeigt in einem eigenen Kapitel mit dieser Überschrift die besondere Schwierigkeit auf, das Thema abzugrenzen und greifbar zu machen. Sie wurde darauf angelegt, frühzeitig Problemfelder zu erkennen und Maßnahmen für Entscheidungsträger vorzuschlagen. Die Verantwortlichen von TA-SWISS entschieden sich für eine Beschränkung des Themas auf „Nanotechnologie in der Medizin“. Diese Einschränkung wurde einerseits auf Grund der beschränkten Mittel, die zur Verfügung standen, vorgenommen und andererseits, weil Medizin als eines der sensibelsten und dringlichsten Felder für eine Technologiefolgen-Abschätzung angesehen wird.

Im ersten Teil der Studie werden die vielfältigen Anwendungsbereiche der Nanotechnologie im Bereich der Medizin vorgestellt. Die Autoren sprechen in diesem Zusammenhang von einem „Werkzeugkasten“ der Nanotechnologie. Er enthält unterschiedliche Methoden, die für verschiedene Zwecke in der Medizin eingesetzt werden können.

Grob lassen sich in der Medizin die drei Anwendungsfelder Forschung, Diagnostik und Therapie unterscheiden. Im Rahmen der Forschung werden die oben erwähnten Werkzeuge bereitgestellt und deren Wirksamkeit untersucht. Im Bereich der Diagnostik kann aufgrund der Nanotechnologie und der damit verbundenen Verkleinerung der Testsysteme die Zahl der Analysen erheblich gesteigert und qualitativ verbessert werden. Dadurch werden die medizinischen Möglichkeiten, wie im nachfolgenden Kapitel der Studie ausgeführt wird, erheblich erweitert. Die Bedeutung der Nanotechnologie wird nach Ansicht der in der Studie befragten Experten auch für die Therapie in den nächsten zwanzig Jahren stetig zunehmen. Die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten einer Prognose nimmt verständlicherweise für entfernt liegende Zeiträume ab. Die meisten Experten sehen es aber als sehr wahrscheinlich an, dass in der medizinischen Forschung in den nächsten 20 Jahren Durchbrüche eintreten werden, die durch Nanotechnologie ermöglicht werden.

In der Begleitgruppe wurde anfänglich eingehend diskutiert, wie sich Nanotechnologie auf die verschiedenen Teilgebiete der Medizin auswirken wird. Im Laufe dieser Diskussion wurde aber klar, dass es sinnvoller ist, die Auswirkungen der Nanotechnologie in Bezug auf verschiedene Krankheitsfelder abzuschätzen. Die Befragung ergab, dass die Experten vor allem bei der Behandlung von Krebs und viralen Infekten, sowohl für die Diagnose als auch für die Therapie, große Fortschritte durch Nanotechnologie erwarten. Für bakterielle Infektionen sowie für Stoffwechselerkrankungen sind die Erwartungen weniger groß. Für die Behandlung der Alzheimerkrankheit wird kaum ein Nutzen erwartet.

Besonders hervorgehoben werden in der Studie die Chancen und Risiken, die sich aus der technischen und medizinischen Verwendung von Nanopartikeln ergeben. So werden beispielsweise Nanopartikel aus unterschiedlichen Materialien zunehmend Verwendung als

Signalgeber in der Diagnostik finden. Des Weiteren werden sie für das Auffinden und die Behandlung von Tumoren eingesetzt werden. Für die nahe Zukunft wird eine wesentlich breitere Verwendung von maßgeschneiderten Nanopartikeln in neuartigen Materialien mit verbesserten Eigenschaften prognostiziert. Die Experten gehen davon aus, dass Nanopartikel, besonders auch die erst seit rund 15 Jahren bekannten Nanoröhrchen, schon bald großtechnisch hergestellt werden können. Die Gefahr, dass gewisse Nanopartikel im menschlichen Körper sich als toxisch erweisen könnten, wird auch von der zweiten Expertenrunde, die aus Sozial- und Geisteswissenschaftlern bestand, als ziemlich wahrscheinlich beurteilt. Deshalb wird im letzten Teil der Studie auch Risikoforschung bezüglich der Exposition der Umwelt mit Nanopartikeln empfohlen.

Die oben erwähnten erweiterten Diagnosemöglichkeiten und verbesserten Therapieansätze werden nach Ansicht der Experten starke Auswirkungen auf die Lebensqualität, die Lebensplanung sowie auf den Umgang mit Krankheit und Tod haben. Selbst entscheiden zu können über Ausmaß und Zeitpunkt von Diagnosen beinhaltet insbesondere auch das Recht auf Nichtwissen. Wer soll wann und worüber entscheiden können angesichts dieser vielfältigen Möglichkeiten? Ethische Fragen betreffen besonders die Autonomie sowie die gerechte Verteilung der verbesserten medizinischen Behandlung. Solche ethischen Fragen sowie die zu erwartenden ökonomischen Auswirkungen sollen deshalb Schwerpunkte einer Begleitforschung sein, wie in den Empfehlungen (s. u.) angeregt wird. Die konkrete Ausgestaltung dieser Begleitforschung und wie durch diese die anvisierte Erhöhung der Akzeptanz der Nanotechnologie durch die Gesellschaft erreicht werden könnte, ist jedoch noch offen. In einem Unterkapitel der Studie werden die politischen Dimensionen, vor allem was die Gesellschaft, die Forschungsförderung und die globale Entwicklung betrifft, diskutiert. Dort werden auch Analysen und Vorschläge präsentiert, deren Gültigkeit sich nicht nur auf die Nanotechnologie beschränkt.

Als Folge der zu erwartenden Verbesserungen der Medizin durch die Nanotechnologie ist davon auszugehen, dass die Lebenserwartung erhöht und die Morbidität gesenkt werden, wodurch sich auch die Gesellschaftsstruktur

ändern wird. Die Experten gehen davon aus, dass sich insbesondere die Problematik der Zweiklassen-Medizin verschärft stellen wird, da sie nicht erwarten, dass die zukünftige Medizin billiger sein wird. Zudem werden durch personalisierte Diagnosen die Risiken des Missbrauchs steigen. Der Datenschutz von persönlichen genetischen Informationen erhält somit eine noch größere Bedeutung.

In der Studie wird betont, dass wir erst ganz am Anfang einer einschneidenden und langen Entwicklung stehen. Angesichts der vielen Unsicherheiten dieser Entwicklung und der immensen ökonomischen und gesellschaftlichen Bedeutung von Nanotechnologie, wird die Schaffung eines Gremiums gefordert, das sich den drei Themenschwerpunkten Risikoforschung, Begleitforschung und gesellschaftliche Verständigung über Nanotechnologie widmen soll. Aus der Studie der TA-SWISS geht aber nicht hervor, welche konkreten Aufgaben diesem Gremium übertragen werden sollen. Denkbar wäre, dass es Themen der Begleitforschung vorschlagen, Aktivitäten initiieren, laufende Projekte koordinieren oder aber die weltweite Entwicklung auf den verschiedenen relevanten Gebieten überwachen soll. Da Nanotechnologie in hohem Maße interdisziplinär ist, ist nach Ansicht des Autors dieses Beitrags die Schaffung eines weiteren Fachgremiums nicht notwendiger Weise die optimale Lösung. Bestehende Ethik- und Fachkommissionen könnten vielleicht besser mit entsprechenden Experten aus den verschiedenen Gebieten der Nanotechnologie ergänzt werden.

Im letzten Teil der Studie werden die Ergebnisse in acht Thesen zusammengefasst (siehe Kasten). Diese Thesen dienen als Grundlage für die am Ende dieses Artikels diskutierten Empfehlungen der Studie. Die letzte These betrifft die Frage des Menschenbildes. Gerade die Entwicklungen im Bereich der Medizin, die durch die Nanotechnologie ermöglicht werden, deuten darauf hin, dass sich das Selbstverständnis des Menschen verändern wird. Philosophisch-ethische Fragen wie: was ist wünschenswert, was soll erlaubt sein und ist eine Steuerung der Entwicklung möglich und erstrebenswert, werden diskutiert. Die befragten Experten waren sich weitgehend darin einig, dass Nanotechnologie schon heute Nutzen bringt. Sie begrüßen eine reflexive Begleitung der laufenden Ent-

wicklung, lehnen aber präventive Regelungen ohne konkreten Bedarf ab. Als handlungsleitend sollen diejenigen Prinzipien angesehen werden, die auch bei anderen Technologien gelten: Nutzenmaximierung, Schadenminimierung und Autonomie. Laien legen ein besonderes Gewicht auf Reversibilität einer technologischen Entwicklung; dass eine solche grundsätzlich möglich ist, wird aber von einigen Experten angezweifelt. Eine Einschränkung der Forschung, insbesondere der Forschungsfreiheit, wird von den Experten abgelehnt. Die in der Studie vorgeschlagene Risiko- und Begleitforschung ist nach Ansicht der Experten dafür geeignet sicherzustellen, dass die oben erwähnten Prinzipien auch eingehalten werden. Die Autoren der Studie sind der Meinung, dass der gesellschaftliche Verständigungsprozess jetzt einsetzen müsse, obwohl nach ihrer Meinung von Seiten der Gesellschaft kein Bedürfnis nach Verständigung vorhanden zu sein scheint. In der Studie wird erwähnt, dass in den USA die für diese Zwecke zur Verfügung stehenden Mittel kaum ausgeschöpft werden. Solange nichts Gravierendes passiert, scheint die Zivilgesellschaft wenig daran interessiert zu sein, über potentielle Risiken zu debattieren.

2 Die Studie der TA-SWISS im internationalen Umfeld

Die Debatte über Nanotechnologie hat bereits vor etwa fünf Jahren eingesetzt. In den USA, England und Deutschland sind verschiedene Studien über die zu erwartenden Auswirkungen nanotechnologischer Entwicklungen veröffentlicht worden. Auffällig und bezeichnend ist, dass in den Berichten jeweils das Abstecken des Untersuchungsfeldes einen breiten Raum einnimmt. Das liegt daran, dass sich die Nanotechnologie vor allem auch durch ihre Vielfältigkeit auszeichnet. Unter ihrem Begriff werden so unterschiedlich Dinge vereint wie: neuartige und verbesserte Materialien und „devices“, nanotechnologische Untersuchungsinstrumente, Anwendungen von nanobasierten Materialien für diagnostische und therapeutische Verfahren in der Medizin bis hin zu neuen biokompatiblen Materialien für Implantate.

Die Schwierigkeit dieser allumfassenden Nanotechnologie besteht darin, dass sich starke

Überlappungen mit spezifischen Themen wie toxikologische Risiken durch neuartige Materialien, pervasive Anwendung von Computern, Datenschutz oder Gentechnologie ergeben und am Ende unklar bleibt, welche Besonderheiten nun durch die Nanotechnologie ins Spiel gebracht werden. Um diesem Problem zu begegnen, hat man sich in der Studie der TA-SWISS auf einen Kriterienkatalog verständigt, der eine strikte Abgrenzung erlaubt. Gebiete wie Tissue Engineering und Drug-Delivery-Systems, die z. B. in der deutschen Studie des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) (Wagner et al. 2004) ausführlich behandelt werden, finden deshalb in der Studie der TA-SWISS keine Erwähnung. Zu Gunsten der Analyse der Auswirkungen der Nanotechnologie im medizinischen Bereich auf den Einzelnen und die gesamte Gesellschaft wurden im Unterschied zu der Studie des VDI die technischen Ausführungen auf weniger als die Hälfte des gesamten Textes reduziert.

Ein weiteres Charakteristikum der Nanotechnologie neben ihrer Vielseitigkeit ist die Art der Debatte, die über Nanotechnologie selbst geführt wird. In dem erst kürzlich vom Economic and Social Research Council (ESRC) herausgegebene Bericht (Wood et al. 2003) wird diese Debatte ausführlich wiedergegeben. In diesem Zusammenhang werden die gesellschaftliche Wahrnehmung und die Beurteilung der gegenwärtigen Trends in Naturwissenschaft und Technik vorgestellt. Es wird dabei deutlich, dass auch in der Fachwelt keineswegs Einigkeit darüber besteht, ob wir am Anfang einer technologischen Revolution stehen oder nicht. In diesem aus der Perspektive der Arbeitspsychologie und Ökonomie geschriebenen Bericht wird befürchtet, dass bei Anwendungen von nanobasierten Technologien ähnliche Rückschläge eintreten könnten, wie sie bei der Anwendung der Gentechnologie für Nahrungsmittel eingetreten sind. Aus diesem Grund wird auch der Umgang mit dem zu erwartenden Risiko in der Studie der TA-SWISS thematisiert. Die Autoren der Studie schlagen vor, dass alle relevanten Akteure in den gesamtgesellschaftlichen Verständigungsprozess mit einbezogen werden müssten. Eine genaue Ausformulierung, wie dieser Prozess verlaufen soll, wird jedoch in der Studie nicht präsentiert. Klar ist, dass er sich nicht in einer politischen Auseinandersetzung erschöpfen kann. In der Schweiz werden brisante gesell-

schaftlich relevante Themen in einem Plebiszit entschieden, in dessen Zusammenhang eine öffentliche Auseinandersetzung stattfindet. Die durch Nanotechnologie eingegangenen Risiken sind aber mit der Ausnahme einer eventuellen Toxizität von Nanopartikeln wenig konkret und werden kaum die Massen mobilisieren können. Fachleute, Betroffene und politische Aktivisten nehmen Risiken zudem unterschiedlich wahr und die Bereitschaft, auch minimale Risiken einzugehen, hängt direkt vom erwarteten Nutzen ab. Im Gegensatz zu dem oben erwähnten ESRC-Bericht wird die Rolle der Sozialwissenschaften in der Studie der TA SWISS nicht betont. Der ESRC-Bericht moniert die Verantwortung der SozialwissenschaftlerInnen, einen gesellschaftlichen Lernprozess über die Beurteilung von Risiken und Chancen unter großer Ungewissheit in Gang zu setzen. Der Umgang mit Risiko wird auch in der TA-SWISS-Studie angesprochen. Die Autoren schlagen allerdings ein anderes Vorgehen vor: alle relevanten Akteure müssten in den gesellschaftlichen Verständigungsprozess einbezogen werden. Ob aber mit einer Institutionalisierung des Verständigungsprozesses die Schweiz eine Vorreiterrolle einnehmen kann, wie in der TA-SWISS-Studie angemerkt wird, bleibt fraglich – vielleicht sind keine weiteren Institutionen nötig, sondern nur eine bessere Koordination vorhandener Kräfte, um konkrete Probleme zu lösen.

3 Einschätzung der Methodik

Als Methode der für die in dieser Studie durchgeführten Technikfolgen-Abschätzung wurde eine Expertenbefragung zum Thema Nanotechnologie gewählt. Entscheidend für den Aussagewert einer auf Experten beruhenden Studie ist eine repräsentative Auswahl und eine genügend große Anzahl befragter Personen. Für die erste Befragungsrunde zu Prognosen über die technologische Entwicklung in den nächsten 20 Jahren wurden 36 Experten aus Biologie, Chemie, Informatik, Materialwissenschaften, Medizin, Pharmazie und Physik befragt. Für die zweite Befragungsrunde über die gesellschaftlichen Auswirkungen der Nanotechnologie wurden ebenfalls 36 Experten aus den Gebieten Ethik, Medizin, Naturwissenschaften, Politologie, Psychologie, Recht und

Soziologie befragt. Jedes Fachgebiet war mit mindestens zwei (Psychologie) und maximal 17 Personen (Ethik) vertreten. Die Personen der ersten Befragung stammten mehrheitlich aus den USA und der Schweiz, für die zweite Befragung zu zwei Dritteln aus Deutschland.

Trotz der eher kleinen Gesamtzahl der Befragten konnte nach Meinung der Autoren der Studie ein aussagekräftiges Ergebnis mit einem konsistenten Bild erreicht werden. Gewiss genügt diese Studie nicht vollumfänglich den Kriterien einer „idealen“ TA. Dazu ist sie trotz der vielen angeschnittenen Themen zu wenig umfassend und in der Form der Expertenbefragung nur eingeschränkt partizipatorisch. Die wesentliche Schwierigkeit bei der Durchführung dieser Studie bestand, das kann mit Sicherheit behauptet werden, in der Komplexität des Themas und dem langen Zeitraum, innerhalb dessen die Entwicklungen beurteilt werden sollten. Vor diesem Hintergrund bestand die Gefahr, dass einzelne Themen wie die Toxizität von Nanopartikeln überbewertet werden. Trotz dieser Einschränkungen sind im Rahmen dieser Studie Trends, Probleme und Chancen skizziert worden, die sich durch Anwendung von nanobasierenden Technologien voraussichtlich ergeben werden. Der Bogen wurde von rein technischen über medizinische bis hin zu ethischen Aspekten gespannt. Die Verflechtung dieser Aspekte präzise darzustellen gelang zum Teil gut, anderes konnte aber nur angedeutet werden. Die Offenlegung der Namen der befragten Personen und der Fragebogen hilft dem Leser, sich ein Bild über die Aussagekraft der Studie zu machen. Der interessierte Leser hätte zudem eine Auswahl von einschlägigen Veröffentlichungen zu diesem Thema in der Literaturliste geschätzt.

4 Umsetzung der Empfehlungen

Die detaillierte Thesenliste (siehe Kasten) und die Empfehlungen zeigen, dass das Ziel der Politikberatung im Vordergrund der Studie stand.

Die Ergebnisse der TA-SWISS-Studie sind in folgende acht Thesen zusammengefasst:

These 1:

Die Nanotechnologie ist eines der ganz zentralen Technologiethemas des 21. Jahrhunderts. Dies betrifft die Forschung von zahlreichen Disziplinen, unter anderem die Physik, die Chemie, die Materialwissenschaften, die Biologie und die Medizin.

These 2:

Die Nanotechnologie wird die Medizin bereits in den nächsten 20 bis 30 Jahren deutlich verändern, sowohl in der medizinischen Forschung, in der Diagnose wie auch in der Therapie. Diagnosen werden schneller, können deutlich stärker zur Prävention eingesetzt werden, liefern spezifischere und genauere Resultate. Nanobasierte Therapien werden neue Therapiemöglichkeiten eröffnen, werden wirksamer sein als konventionelle Therapien und weniger Nebenwirkungen aufweisen. Zahlreiche Entwicklungshindernisse (u. a. wissenschaftliche, technische, regulatorische, soziale) dürften das Tempo der Entwicklung zwar verlangsamen, aber nicht aufhalten.

These 3:

Vor allem bei Tumorerkrankungen, bei viralen Erkrankungen sowie bei anderen Krankheiten sind erhebliche Fortschritte zu erwarten. Längerfristig dürfte die krankheitsarme Lebensspanne zunehmen, dürften sich Verschiebungen in den Todesursachen und eine Vergrößerung der Lebenserwartung ergeben.

These 4:

Die Tendenz zum „gläsernen“ Bürger wird zunehmen. Wissen über individuelle Krankheitsdispositionen, physiologische Besonderheiten usw. dürften von gesetzlichen Beschränkungen abgesehen, frei verfügbar werden. Es dürfte zusehends schwieriger werden, das verfügbare Wissen vor sich selbst, aber auch vor der Gesellschaft zu verbergen. Das Recht auf Nichtwissen wird zur Debatte stehen. Missbrauchsrisiken werden zunehmen.

These 5:

Die Fortschritte der Nanotechnologie in der Medizin dürften mindestens mittelfristig kaum eine Entlastung bei den Gesundheitskosten bringen; und der Trend zur Zweiklassenmedizin dürfte eher verstärkt werden.

These 6:

Bestehende Konfliktpotenziale, wie sie sich vor allem im Zusammenhang mit der Gentechnologie bzw. ihren direkten und indirekten Anwendungen in der Diagnose und der Therapie gezeigt haben, werden sich verstärken.

These 7:

Neue Konfliktpotentiale zeichnen sich ab bezüglich der möglichen Gefahren der „Nanotoxizität“ und der „Nanopollution“ (insbesondere bezüglich der ungewollten Aufnahme von Nanopartikeln über die Umwelt und deren Integration in die Nahrungskette) und längerfristig um Befürchtungen zur ungenügend kontrollierten Selbstreplikation von Nanostrukturen.

These 8:

Noch hat die Frage, was wir als Menschen sind und was wir als Menschen sein wollen, einen eher philosophischen Zug. Mit den Fortschritten der Nanotechnologie in ihrer Anwendung auf den Menschen werden diese Fragen aber eine immer „praktischere“ Bedeutung erlangen. Man wird sich nicht vor der Beantwortung dieser Fragen dispensieren können. Denn sie werden schliesslich entscheidend dafür sein, ob man eine bestimmte Frage, eine bestimmte Anwendung erlauben will oder nicht.

Quelle: TA-SWISS 2003, S. 85-87

Die Empfehlung, ein weiteres Gremium einzusetzen, um das Thema weiter zu bearbeiten, mag zunächst wenig kreativ erscheinen. Vielleicht kann aber in einer Übergangsphase eine kleine, unabhängige Fachgruppe am wirkungsvollsten die angesprochenen Fragen, vor allem bezüglich der Risiken, bündeln und an bestehende Kommissionen zur Bearbeitung weiterleiten. Der Hauptauftrag dieser Gruppe könnte darin bestehen, isolierte Einzelaktivitäten bezüglich der Reflexion über die gesellschaftlichen Folgen der Nanotechnologie in den Bereichen der Naturwissenschaft und Technik, der Medizin, der Soziologie und der Philosophie besser zu koordinieren. Die starke Verflechtung der Nanotechnologie mit anderen Technologien weist aber mittelfristig den Weg zur Integration. Spezifisch (nano)technologische Aspekte könnten in bestehenden Expertengruppen beurteilt werden, wo Themen wie Gendiagnose, Toxizität von Partikeln und Schutz von persönlichen Daten in den Mittelpunkt gestellt werden.

Eine weitere Aufgabe dieses Fachgremiums soll die Förderung eines gesamtgesellschaftlichen Verständigungsprozesses über den Umgang mit Nanotechnologie sein. Ziel dieses Verständigungsprozesses soll die Steigerung der Akzeptanz für die neu geschaffenen nanobasierten Produkte und die dafür benötigten Herstellungsprozesse sein. Dabei alle relevanten Akteure einzubeziehen, erscheint in der Realisierung jedoch schwierig. Die Studie legt nahe, dass in einer „reifen“ Gesellschaft eine Grundsatzdiskussion über Technikanwendungen geführt werden muss, wobei Nanotechnologie ein wichtiges, vielleicht sogar das zentrale Thema sein sollte. Dabei besteht jedoch die Gefahr, dass Nanotechnologie einfach mit modernen Technologien gleichgesetzt wird, die es pauschal zu befürworten oder abzulehnen gilt. Auch wenn anfänglich die Diskussion durch die Erörterung von Risiken und deren Akzeptierbarkeit dominiert sein wird, ist eine grundsätzliche Debatte über geltende Werte und Prinzipien notwendig. Es bleibt zu hoffen, dass der Modebegriff Nanotechnologie in Zukunft zunehmend differenziert verwendet wird, um eine fruchtbare Auseinandersetzung mit gesellschaftlich relevanten Fragen und die Lösung echter Probleme zu ermöglichen. Zu dieser Rationalisierung der Auseinandersetzung über die Nanotechnologie hat

diese Studie der TA-SWISS in der Schweiz einen wichtigen Anstoß gegeben.

Anmerkungen

- 1) Der Autor war Mitglied der TA-SWISS Begleitgruppe zur Studie „Nanotechnologie in der Medizin“. Der vorliegende Text gibt seine persönliche Meinung wieder. Diese muss sich nicht mit der Meinung der TA-SWISS Geschäftsstelle decken.

Literatur

TA-SWISS (Hrsg.), 2003: Nanotechnologie in der Medizin. TA 47/2003, Bern; http://www.ta-swiss.ch/www-remain/reports_archive/publications/2003/TA_47_Nano_Schlussbericht.pdf

TA-SWISS (Hrsg.), 2003: Die Bausteine der Natur in Griffweite gerückt. Kurzfassung der TA-SWISS Studie „Nanotechnologie in der Medizin“. TA 47A/2003, Bern; http://www.ta-swiss.ch/www-remain/reports_archive/publications/2003/TA_47A_KF_Nano_dt.pdf

Wagner, V.; Wechsler, D., 2004: Nanobiotechnologie II: Anwendungen in der Medizin und Pharmazie. Zukünftige Technologien Consulting der VDI-Technologiezentrum GmbH, Düsseldorf; erstellt im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF).

Wood, S.J.; Jones, R.A.L.; Geldart, A., 2003: The social and economic challenges of nanotechnology. Economic & Social Research Council (ESRC), London

Kontakt

Dr. Louis Tiefenauer
Paul Scherrer Institut
CH-5232 Villigen
Tel.: + 41 (0) 56 310 21 11
E-Mail: louis.tiefenauer@psi.ch
Internet: <http://www.psi.ch>

Zum Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung
TA-SWISS siehe:
<http://www.ta-swiss.ch>

«