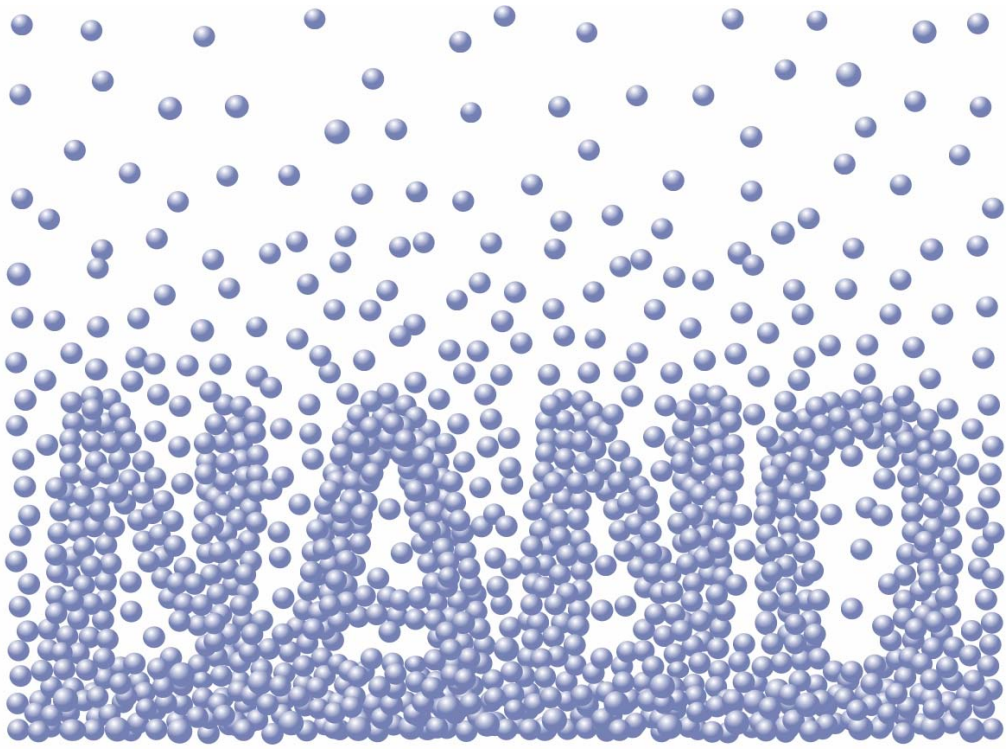
Tagungsprotokolle

Nanotechnologien nachhaltig gestalten

Konzepte und Praxis für eine verantwortliche Entwicklung und Anwendung



Institut für Kirche und Gesellschaft der Evangelischen Kirche von Westfalen

Tagung der Evangelischen Akademie Iserlohn
im Institut für Kirche und Gesellschaft der EkvW
in Kooperation mit dem Wissenschaftlichen Beirat des
BUND – Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland
5.-7. Mai 2006

Nanotechnologien nachhaltig gestalten
Konzepte und Praxis für eine verantwortliche Entwicklung und Anwendung

Tagungsprotokolle – Institut für Kirche und Gesellschaft

Herausgegeben von
der Ev. Akademie Iserlohn
im Institut für Kirche und Gesellschaft

Institut für Kirche und Gesellschaft
Iserlohn

Nanotechnologien nachhaltig gestalten

Konzepte und Praxis für eine verantwortliche Entwicklung und Anwendung

Herausgegeben von
Peter Markus, Wilfried Kühling, Sebastian Henn

Institut für Kirche und Gesellschaft
Iserlohn

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbiografie; detaillierte bibliographische Daten sind im Internet über http://dnb.ddb.de abrufbar.

Tagungsprotokolle – Institut für Kirche und Gesellschaft
Institut für Kirche und Gesellschaft, Iserlohn 2006
ISBN 3-931845-83-4

Alle Rechte für diese Zusammenstellung liegen beim Institut für Kirche und Gesellschaft, alle Rechte der einzelnen Beiträge bei den jeweiligen Autoren.

Satz und Layout: Ulrike Neuhaus (IKG)
Titelbild: Erika Bischoff, Institut für Geowissenschaften, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Printed in Germany

Bezugsadresse:
Institut für Kirche und Gesellschaft
Helga Weber
Berliner Platz 12
D-58638 Iserlohn
Telefon: 02371/352-143 Telefax: 02371/352-130
e-mail: h.weber@kircheundgesellschaft.de

Inhalt

Vorwort der Herausgeber **9**

Chancen und Risiken der Nanotechnologien **11**

Nachhaltige Gestaltung der Nanotechnologien. Kriterien und Praxis. 13
Helmut Horn, Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Nanotechnologie – Chance oder Risiko? 19
Harald Fuchs, Westfälische Wilhelms-Universität Münster

Implications of technologies converging at the nano-scale:
Are we ready for the Little BANG? 31
Kathy Jo Wetter, ETC Group

Wirtschaftliche Aspekte der Nanotechnologie 43
Sebastian Henn, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Umgang mit Umwelt- und Gesundheitsrisiken **51**

Umgang mit dem möglichen Folgen der Nanotechnologien. Von der
Technikfolgenabschätzung zu neuen Schutz- und Gestaltungskonzepten? 53
Torsten Fleischer, Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS)

Gibt es Gefährdungen oder Risiken durch Nanopartikel? 67
Harald F. Krug, Forschungszentrum Karlsruhe

Nanotechnologie – Produktsicherheit 77
Karin Wiench, BASF AG

Diskussionsergebnisse der Arbeitsgruppe ‚Umwelt- und
Gesundheitsrisiken’ 83
Stephan Riebe, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Wissenschaft, Ethik und Innovation **87**

Integrierte Innovation. Das Risiko-Chancen-Profil der Nanotechnologie als wegweisendes Beispiel 89
Wolfgang Nethöfel, Philipps-Universität Marburg

Diskussionsergebnisse der Arbeitsgruppe ‚Anforderungen an die Wissenschaft' 123
Peter Markus, Evangelische Akademie Iserlohn

Organisation von Kommunikation und Dialog **129**

Nanotechnology dialogue activities in the Netherlands 131
Bart Walhout, Rathenau-Instituut

Anforderungen an einen Dialog zur Risikobewertung in der Nanotechnologie 141
Stefan Löchtefeld, iku GmbH

Diskussionsergebnisse der Arbeitsgruppe ‚Organisation von Kommunikation und Dialog' 149
Natalie Eckelt, Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland

Rechtliche Aspekte **153**

Sind die Nanotechnologien rechtlich unterreguliert? 155
Andreas Herrmann, Öko-Institut

Wo hapert es an rechtlichen Grundlagen? Von der Verfassung bis zum Arbeitsschutz 163
Ralph J. Jurisch, Rechtsanwaltskanzlei Jurisch&Greive

Diskussionsergebnisse der Arbeitsgruppe ‚Rechtliche Grundlagen der Nanotechnologien' 167
Peter Heise, Stadt Duisburg

Bausteine einer Nanostrategie **169**

Nanotechnologie und gesellschaftliche Verantwortung 171
Wolf-Michael Catenhusen, vorm. Bundesministerium für Bildung und Forschung

Nanotechnologien, Umwelt- und Gesundheitsschutz
Rolle des Staates – sind Maßnahmen nötig? 181
Jens Küllmer, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Memorandum **187**

Technologieentwicklung und Nachhaltigkeit. Zum verantwortungsvollen Umgang mit der Entwicklung und Anwendung von Nanotechnologien. 189
Wilfried Kühling, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Konzept für einen verantwortungsvollen Umgang mit der Entwicklung und Anwendung von Nanotechnologien. Memorandum:
Nanotechnologie nachhaltig gestalten. 193
Wilfried Kühling, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Autorenverzeichnis **201**

Vorwort

Neue Technologien, wie die Nanotechnologien, bergen eine Reihe von Potenzialen: verbesserte Werkstoffe, veredelte Oberflächen und neue Produkte erscheinen am Horizont oder sind bereits in den Alltag der Menschen und den Markt eingeführt.

Schon heute allerdings sind einige Risiken zu erkennen, die unter anderem in einer möglichen Gefährdung der menschlichen Gesundheit und der Belastung der Umwelt (Boden, Wasser, Luft) liegen können. Darüber hinaus sind bei einer flächendeckenden Anwendung nanotechnologischer Produkte weitere ‚nachhaltige Folgen' absehbar, die u. a. in der zunehmenden Technisierung des Menschen liegen. So sind beispielsweise mit Neuroimplantaten Manipulationen des Menschen möglich. Zwar können eingebaute Chips Menschen helfen, besser hören und sehen zu können; gleichzeitig können Dritte mit diesen Chips aber auch Einfluss auf die Disposition, das Handeln und das Denken des Menschen nehmen. Diese ethischen Implikationen der neuen Technologien sind bisher weder wissenschaftlich ausreichend bearbeitet, noch finden sie in der aktuellen Bewertung der neuen Technologien ihren wichtigen Platz.

Wenn neue Technologien entwickelt werden, so werden sie Konsequenzen für die ökonomische, soziale und, wie bereits gesagt, für die ökologische Situation der Gesellschaft haben. Das normative Konzept der nachhaltigen Entwicklung kann helfen, neue Technologien zukunftsfähig, positiv-gesellschaftsbezogen und für viele Menschen nutzbringend zu orientieren. Auch kann ein solches Konzept dazu dienen, bereits entstandene

oder auf den Weg gebrachte technische Entwicklungen und Pfade zu bewerten (Evaluation).

Im Rahmen des vorliegenden Bandes haben wir uns zum Ziel gesetzt, dieses normative Konzept einer nachhaltigen Entwicklung einzuführen. Ferner gilt es die Technikfolgenabschätzung, wie sie bisher praktiziert worden ist, anzufragen, um sie i. S. des genannten Konzeptes, die ethischen Implikationen und als ‚Innovationsförderung' weiter zu entwickeln.

Die Diskussion der möglichen Umwelt- und Gesundheitsrisiken, Anforderungen an eine ethisch orientierte und verantwortliche Wissenschaft, die Rahmenbedingungen eines Dialoges und die rechtlichen Aspekte haben uns einer ersten Bewertung näher gebracht. Beiträge zu einem ‚Nanodialog' und einer ‚Nanostrategie Deutschland' wurden beraten und sind im Memorandum zusammengefasst. Die 2005 begonnene Reihe der Technologie-Foren wird 2007 fortgesetzt und Fragen zur Umsetzung der ‚Nanostrategie'/des ‚Nanodialoges' behandeln. Ebenso werden wir uns weiterhin mit den ethischen Implikationen beschäftigen.

Iserlohn, Halle (Saale) im Oktober 2006

Dr. Peter Markus, Evangelische Akademie Iserlohn

Prof. Dr. Wilfried Kühling, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg/ Wissenschaftlicher Beirat des BUND

Dr. Sebastian Henn, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Chancen und Risiken der Nanotechnologien

Helmut Horn

Nachhaltige Gestaltung der Nanotechnologien
Kriterien und Praxis

Bevor man sich über die Kriterien zu einer nachhaltigen Gestaltung der Nanotechnologie Gedanken macht, erscheint es sinnvoll, sich darüber klar zu werden, wie eine ‚Neue Technologie' überhaupt entsteht. Leider ist in aller Regel die Entwicklung in den Anfängen meist diffus und schlecht greifbar. Lediglich die so genannte friedliche Nutzung der Kernenergie kann als ein Sonderfall gelten, der von diesem Schema abweicht. Hier wurde kurz nach Ende des zweiten Weltkrieges, ausgehend von den damaligen Atommächten USA und UdSSR, versucht, die zerstörerische Kraft einer atomaren Explosion auch für friedliche Zwecke zu nutzen.

Eines der wesentlichen Probleme, um rechtzeitig eine nachhaltige und zukunftsfähige Gestaltung einer neuen Technologie sicherzustellen, ist es daher, den Zeitpunkt zu erkennen, ab dem ein Forschungsthema eine ‚neue Technologie' wird bzw. geworden ist. Je früher dies gelingt, desto besser stehen die Chancen, eine wirklich zukunftsfähige Entwicklung einzuleiten.

Von einer neuen Technologie ist spätestens dann zu sprechen, wenn die Forschungsergebnisse innovative Entwicklungen in die verschiedensten technologischen Bereiche erkennen lassen und die Industrie anfängt, diese Ergebnisse in größerem Maße aufzugreifen. Bei der Nanotechnologie war die Entwicklung höchstauflösender Mikroskope der auslösende Faktor, der dazu führte, dass nanometergroße Strukturen erkannt und dann auch gezielt dargestellt werden konnten. Schon kurz danach begannen in unzähligen Laboratorien und Forschungseinrichtungen der unterschiedlichsten Disziplinen Arbeiten zur Nutzung der Nanotechnik, die sehr bald nicht nur zu industriell nutzbaren Ergebnissen, sondern auch zu völlig neuen Erkenntnissen führten. Damit erfüllt die Nanotechnologie schon seit min-

destens fünf Jahren die Anforderungen, die an eine ‚neue Technologie', ja sogar an eine so genannte Basisinnovation gestellt werden.

Ab wann und bei welchen Bedingungen und Kriterien erscheint es aber notwendig, die gesamte Gesellschaft an der Entwicklung einer Technologie zu beteiligen? Dies muss doch spätestens dann der Fall sein, wenn erkennbar wird, dass bei der Nutzung der Technologie mit unbekannten und neuen Wirkungen auf Mensch und Umwelt zu rechnen ist bzw. dies nicht ausgeschlossen werden kann. Auch dieses Kriterium wird von der Nanotechnologie erfüllt und auch dies ist schon seit längerem bekannt: Wir wissen, dass sich die Reaktionsfähigkeit von Nanopartikeln dramatisch verändert und erhöht (dies macht ja einen Teil ihrer besonderen Wirkungen aus); wir wissen, dass viele ansonsten wirksame Schranken im menschlichen Körper von Nanopartikeln überwunden werden können und wir müssen vermuten, dass freigesetzte Nanopartikel sich negativ auf die Umwelt auswirken können. Es muss doch unstreitig sein, dass immer dann, wenn ein Risikopotenzial sowohl für den Verbraucher oder auch für die Umwelt allgemein, mit anderen Worten also für die Gesellschaft, vermutet werden kann, auch die Gesellschaft an der Bewertung wie auch an der Fortentwicklung einer Technologie beteiligt werden muss. Denn letztlich muss die Gesellschaft entscheiden, ob sie das Risiko einer neuen Technologie als zu hoch oder als hinnehmbar bewertet. Es kann nicht sein, dass eine derartige Bewertung der Industrie und vielleicht noch einigen, sehr oft schon personell überforderten Ämtern allein überlassen wird, dazu gibt es viel zu viele negative Beispiele aus der Vergangenheit. Es liegt dabei in der Natur der Sache, dass die Industrie, die unter Umständen mehrstellige Millionenbeträge in die Entwicklung investiert hat, Risikopotenziale unter einem deutlich anderem Blickwinkel bewertet als die letztlich davon betroffenen Verbraucher. Der bloße Hinweis auf die Produkthaftung, der ein Endproduzent oder auch ein Vorlieferant unterliegt, genügt hier nicht. Hierbei handelt es sich um eine klassische, nachsorgende Betrachtung.

So wichtig und notwendig die Produkthaftung an sich auch ist, es ist wesentlich sinnvoller, ein Risikopotenzial von Beginn an zu bewerten und notfalls auch durch ein Herstellungsverbot für ein Produkt auszuschließen, als nach einem Schadensfall den Verursacher in Haftung zu nehmen. Ein Schaden wird schließlich nicht dadurch geringer, weil es jemanden gibt, den man dafür in Haftung nehmen kann, zumal dieses Schwert sehr schnell stumpf wird, wenn der Verursacher zahlungsunfähig ist.

Die jüngsten Vergiftungsfälle durch einen Bad-Pflege-Spray zeigen sehr genau, wo derzeit eines der wesentlichen Probleme der Risikoerkennung liegt. Nach Auskunft der Vertriebsfirma ist selbst dieser nicht bekannt, was sich eigentlich in dem Produkt befindet. In der Süddeutschen Zeitung

wurde deren Sprecher mit den Worten zitiert: „Unsere Zulieferer betrachten die Vorprodukte als Betriebsgeheimnis“. Demzufolge weiß bis heute niemand so recht, was diese Vergiftungsfälle überhaupt ausgelöst hat. Dies ist leider kein Einzelfall, sondern eher die Regel und es ist ein unhaltbarer Zustand.

Noch schwieriger wird es dann, wenn nicht eine unmittelbare Gesundheitsgefährdung zu erwarten ist. Die Fragen, „wie ist der Eintrag in die Umwelt während der Nutzung?“ und „was passiert bei der so genannten Entsorgung?“ werden zurzeit noch fast überhaupt nicht gestellt, bzw. wenn sie doch einmal gestellt werden, kaum beantwortet. Und dies, obwohl doch mittlerweile eine ganze Reihe von Produkten verkauft, verwendet und auch ’entsorgt’ werden.

Über den Verbleib von Nanopartikeln in der Umwelt ist ganz wenig bekannt, dabei liegt hier u. U. das größere Problem. Mit dem steigenden Einsatz von Nanotechnologie ist selbstverständlich auch mit einem noch stärkeren Umwelteintrag zu rechnen. Aber auch hier fehlt es wieder an den Basisinformationen, denn es ist – man glaubt es eigentlich kaum – weitgehend unbekannt, wo derzeit überall Nanotechnologie schon eingesetzt wird. Möglicherweise gerade da, wo nicht ‚Nano’ draufsteht. Solange also keine Deklarationspflicht besteht und solange Rezepturen, verwendete Wirkstoffe etc. zu Betriebsgeheimnissen erklärt werden und erklärt werden dürfen, solange ist eine Bewertung des Umwelteintrages von Nanopartikeln nahezu unmöglich. Dazu kommt noch, dass der klassische Ansatz der Grenzwertbetrachtung bei Nanopartikeln eben nicht greift. Ohne eine Klassifizierung auch der Teilchengröße wird es hier nicht gehen.

Wir wissen aber auch, dass die Nanotechnologie eine ganze Reihe von hoch interessanten Möglichkeiten bietet. Zum einen ist das wirtschaftliche Potenzial immens, aber auch unter Umweltgesichtspunkten können viele durchaus vorteilhafte Entwicklungen erwartet werden.

So kann der Energieverbrauch durch Nanotechnik deutlich reduziert, Werkstoffeigenschaften und damit die Ressourceneffizienz können erheblich verbessert werden und auch bei der medizinischen Anwendung werden z. B. bei der Bekämpfung von Tumoren wichtige Verbesserungen erwartet. Gerade auch das positive Potenzial der Nanotechnologie ist ein weiterer Punkt, der einen gesellschaftlichen Konsens bei ihrer Anwendung fordert. Trotzdem wird über die Risiken der Nanotechnologie auch heute noch nur in nahezu geschlossenen Zirkeln diskutiert, die Chancen dagegen in den rosigsten Farben geschildert. Sehr zögerlich erst beginnt eine gesellschaftliche Diskussion über die Chancen *und* die Risken dieser eigentlich gar nicht mehr so neuen Technologie. Erst seit ca. einem Jahr bemüht sich die Regierung und – wenn auch immer noch, vorsichtig for-

muliert, sehr zurückhaltend – die Industrie, einen Dialog mit der Gesellschaft und deren relevanten Gruppen zu suchen und zu führen. Unverständlich ist dieser lange Zeitraum bis zum sehr zaghaften Beginn einer offenen Diskussion schon allein deshalb, weil nur eine Technologie, die gesellschaftlich auch akzeptiert wird, wirtschaftlich erfolgreich sein kann und von daher eine frühzeitige, offene Diskussion im Interesse aller sein sollte. Der dafür beste Zeitpunkt ist wohl schon verstrichen und von daher wird vieles schwieriger werden als es bei rechtzeitiger Partizipation hätte sein können.

Bis jetzt habe ich die bisherige, sehr unbefriedigende Praxis geschildert. Welche Kriterien erwarten wir also für die nachhaltige Gestaltung der Nanotechnologie? Für diese Tagung hat der BUND ein Memorandum (siehe dazu auch die Beiträge von W. Kühling in diesem Band) erarbeitet, welches die wesentlichen Forderungen für eine auch gesellschaftlich akzeptierte Ausgestaltung und Weiterentwicklung der Nanotechnologien beschreibt. Ich möchte in diesem Beitrag die Hauptpunkte daher nur kurz skizzieren:

- Wir benötigen ganz dringend mehr und vor allem gesicherte und belastbare Informationen über das Risikopotenzial, das einzelne Entwicklungsrichtungen der Nanotechnologie aufweisen. Die Forschungsanstrengungen in diesem Bereich sind ganz wesentlich zu intensivieren und hier ist der Staat gefordert. Die mit öffentlichen Mitteln geförderten Forschungsanstrengungen zur Entwicklung der Nanotechnologie und die zu deren Risiken stehen bisher in keinem Verhältnis zueinander.
- Wir benötigen eine auf die Nanotechnologie abgestimmte Zulassungs- und Genehmigungspraxis. Dazu gehört eine vollständige und umfassende Deklarationspflicht und dazu gehört, dass so schnell wie irgend möglich für die spezifischen Bedingungen der Nanotechnologie relevante Bewertungsmöglichkeiten außerhalb der Definition von Grenzwerten erarbeitet werden.
- Die Zulassung einzelner Stoffe kann erst dann erteilt werden, wenn deren Ungefährlichkeit ausreichend sicher nachgewiesen worden ist.
- Wir brauchen, und dies ist das Wichtigste, einen offenen und einen ergebnisoffenen gesellschaftlichen Dialog über die Nanotechnologie, der auch die Risiken mit einbezieht und es muss im Rahmen und als Ergebnis eines derartigen Dialogs auch möglich sein, Entwicklungen einzustellen, selbst wenn dies zu erheblichen wirtschaftlichen Einbußen führen kann. Wenn dies nicht möglich ist oder diese Möglichkeit bestritten wird, braucht auch kein Dialog geführt zu werden. Es nutzt auf lange Sicht überhaupt nichts, die erwarteten Segen der Nanotechnologie zu verklären und die Risiken möglichst klein zu reden. Die

Blütenträume einer wirtschaftlichen Erfolgsgeschichte werden nur dann reifen, wenn auch über die Risiken ehrlich und offen gesprochen wird.

Harald Fuchs

Nanotechnologie – Chance oder Risiko?[1]

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

Die Nanometerskala

Die Technologieentwicklung der letzten Jahrzehnte war geprägt durch eine stetige Miniaturisierung, die zur Produktion von immer leistungsfä-

[1] Erstabdruck im Akademie-Journal (hrsg. v. der Union der deutschen Akademien der Wissenschaften), Ausgabe 1/2004.

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

Eine charakteristische Skala hierfür ist der Bereich unterhalb von 100 nm, der in bestimmten Strukturen heutiger Chips bereits unterschritten wird. Hier kann man bereits von Nanotechnologie sprechen, die sich von der konventionellen Mikrosystemtechnik und Mikroelektronik vor allem dadurch unterscheidet, dass hier qualitativ neue Effekte abrupt auftreten, die nicht durch eine weitere Miniaturisierung vorhandener Technologien zu erreichen sind. Dies ist ein erstes wichtiges Charakteristikum der Nanotechnologie. Für sie sind völlig neue technologische Konzepte und Verfahren erforderlich. Ein Nanometer ist ein ungeheuer kleines Längenmaß, es entspricht etwa dem 50.000stel des Durchmessers eines Haares und damit etwa 4-5 aneinandergereihten Atomen. Die zweite Aufgabe der Nanotechnologie ist es, diese Skala zu beherrschen und vor allem einzelne Atome und Moleküle gezielt und individuell zu adressieren. Ein dritter wichtiger Aspekt der Nanotechnologie ist der 'biologische Ansatz', bei dem es um die Erzeugung von komplexen funktionalen Strukturen geht, ein Standardverfahren der Natur. Alle biologischen Funktionsstrukturen, wie sie in Form von Proteinen und in Zellmembranen mit einer Dicke von etwa 5 nm vorliegen, sind auf geordneten komplexen Nanostrukturen aufgebaut, wobei diese super-und supramolekularen Strukturen qualitativ andere Eigenschaften aufweisen als die einzelnen Moleküle, aus denen sie zusammengesetzt sind. Dieses Konzept technologisch umzusetzen, ist eine der größten Herausforderungen der Nanotechnologie insgesamt, da bisher nur wenig darüber bekannt ist, wie die Programmierung des Aufbaues komplexer Strukturen in der Biologie eigentlich vonstatten geht. Gerade dieser Gesichtspunkt wird in den nächsten Jahrzehnten zu einem zentralen Thema der Nanotechnologie werden. Die technisch-wissenschaftlichen Herausforderungen der Nanotechnologie lassen sich grob in zehn zentrale Bereiche einteilen:

1 Nanomaterialien

Die Erzeugung von nanoskaligen Materialien ist bereits in vollem Gange und wird – technologisch betrachtet – einer der ersten wirtschaftlich interessanten Bereiche sein. Hierbei geht es um die Nutzung von physikalischen Effekten, die in bestimmten geordneten oder ungeordneten nanoskaligen Materialien auftreten, und die an makroskopischen, beispielsweise polykristallinen Festkörpern der gleichen chemischen Zusammensetzung nicht zu beobachten sind. Hierzu gehören z. B. Quantenpunktstrukturen, metallische und halbleitende Nanocluster sowie kompaktierte Nanopulver, aber auch gezielt hergestellte Ruße, wie sie für die Autoreifenproduktion erforderlich sind. Zu den technologischen Effekten gehören z. B. spezielle Markermaterialien für die Biologie und Medizin, aber auch Aerogele mit ihrer hohen Wärmedämmungseigenschaft, selbstreinigende Oberflächen und vieles andere.

2 Verbesserung bestehender Produkte

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

3 Lernen von der Biologie

Die Biologie erzeugt zahlreiche Verbundmaterialien durch Selbstorganisation, die auch technologisch gesehen äußerst interessante Eigenschaften haben. Hierzu gehören z. B. Muschelschalen, die eine hohe mechanische Festigkeit besitzen, obgleich sie zu 98 % aus sehr spröden mineralischen Stoffen bestehen. Der geschickte Einsatz eines geringen Anteils von organischen Zwischenschichten, die für sich gesehen sehr weich und elastisch sind, aber keine große mechanische Stabilität aufweisen, führt im geeigneten Verbund, zumeist über nanoskalig geordnete Schichtsysteme, zu einem hochzähen Material, welches genau die richtige Kombination von

Bruchfestigkeit und Elastizität aufweist. Dieses Prinzip ist auch in unseren Skelettknochen durch den Verbund von kalziumkarbonathaltigen Anteilen und Kollagen realisiert. Das Konzept der nanoskaligen Strukturierung von Verbundmaterialien wird bereits in der Kunststoffherstellung sowie bei Keramiken und metallischen Legierungen gezielt eingesetzt.

Ein anderer, technologisch bisher kaum genutzter Effekt ist der Lotuseffekt, der sich in der Biologie in vielen Bereichen sowohl in der Flora als auch in der Fauna in selbstreinigenden Oberflächen ausdrückt. Durch eine geeignete wasserabweisende chemische Beschichtung, in der Natur zumeist Wachse, und Oberflächenstrukturierung von der Nanoskala bis zur Mikroskala können Oberflächen erzeugt werden, die durch Wasser, aber auch z. T. durch Öle und Fette nicht mehr benetzt werden können. Mit diesem Trick gelingt es der Natur, Oberflächen herzustellen, die praktisch nicht mehr verschmutzen können bzw. bei denen vorhandener Schmutz durch Regenwasser ohne weitere mechanische Einwirkung einfach abgewaschen wird. Obschon dieses Konzept in der Natur Jahrmillionen alt ist, wird es technisch bisher kaum genutzt. Die Methode eignet sich jedoch außer zur Herstellung von schmutzabweisenden Fensterscheiben oder Autolacken, auch zum Einsatz in völlig anderen Bereichen, etwa der Diagnostik zur Herstellung von miniaturisierten Labors (Lab-on-a-chip). Die Übertragung eines bestimmten Prinzips in verschiedenste Technologiebereiche ist typisch für die Nanotechnologie. Es zeigt sich hierbei auch, dass dieses Gebiet nicht auf die Elektronik beschränkt ist, sondern viele bekannte Technologiebereiche betrifft.

4 Elektronik und Computertechnologie

In diesem Bereich haben sich in den letzten Jahrzehnten die technologisch rasantesten Entwicklungen abgespielt. In Deutschland erkannte man erst relativ spät, dass die Erzeugung von winzigen Siliziumchips (im Vergleich zu Stahl-, Kohle- und Automobilindustrie) zur eigentlichen Schlüsseltechnologie wachsen würde, da keines der anderen Technologiefelder ohne Mikroelektronik auskommt (Queisser 1985) und so die Technologieführerschaft auch im Automobilbau oder im Bereich der Konsumelektronik entscheidend davon abhängt, von welchem Land die weitestentwickelten elektronischen Chips hergestellt werden. Nach der Einführung der integrierten Schaltung durch Jack Kilby in den 70er Jahren konnte im Bereich der Computerindustrie eine dramatische Miniaturisierungsentwicklung erreicht werden, die uns die ’Personal Computer’ beschert hat.

Über die weltweite Vernetzung durch das Internet hat diese Technologie massive Veränderungen des Kommunikationsverhaltens bewirkt, welches

sich sowohl in der Wirtschaft als auch im Freizeitverhalten vieler Millionen Menschen niederschlägt. In nahezu allen Bereichen des täglichen Lebens, im Haushalt, in fast allen Bereichen der beruflichen Tätigkeit, im Auto-, Schienen- und Luftverkehr ist nur noch mit der Unterstützung modernster Computerelektronik ein reibungsfreier Ablauf gewährleistet. Die weitere Miniaturisierung stößt jedoch an physikalische Grenzen, sobald die Quanteneffekte, vor allem Elektronentunnel und ballistische Effekte mit zunehmender Verringerung der Strukturgrößen wichtig werden. Bereits heute arbeiten viele Firmen, bisher vorwiegend noch im Bereich der exploratorischen Forschung, an neuen elektronischen Konzepten, wie z. B. der Nutzung von Quantenphänomenen in Quantenpunktstrukturen für neue Laser oder der molekularen Elektronik, d. h. Elektronik, die auf einigen wenigen Molekülen aufbaut, oder der sog. Spintronik, die nicht mehr die Elektronen selbst, sondern deren Kreiseleigenschaft zur Informationsverarbeitung nutzt (s. Beitrag Waag). Welche dieser Möglichkeiten technologisch umgesetzt werden kann, hängt nicht nur von weiteren Grundlagenerkenntnissen, sondern auch von wirtschaftlichen Grenzen ab, die möglicherweise schon lange vor dem Erreichen der physikalischen Grenzen der weiteren Miniaturisierung der Elektronik erreicht werden könnten. Selbst weltweit organisierte Konsortien im Bereich der Elektronikindustrie, die gemeinsam den Aufbau von neuen sog. ’Fabs’ zur Herstellung von hoch integrierten Schaltungen der nächsten Generationen betreiben, werden sehr bald an wirtschaftliche Grenzen stoßen, oberhalb derer ein weiterer Miniaturisierungsschritt aufgrund extremer Kosten nicht mehr sinnvoll ist.

Zunehmend wird neue und billige Elektronik eine Rolle spielen, bei der nanotechnologische Konzepte wichtig werden, ohne dass extrem geringe Strukturgrößen per se für die Funktion erforderlich sind. Dazu gehören etwa druckbare elektronische Schaltungen auf Polymerbasis, die zur Herstellung von intelligenten Preisschildern in Warenhäusern oder als in Kleidungsstücke integrierte Elektronik auf den Markt kommen werden. Diese ‚Wegwerfelektronik’ wird bestimmte nützliche oder wünschenswerte Funktionen einführen, die wir in dieser Form heute noch nicht kennen, wie etwa ein in die Kleidung integriertes Telefon, Satellitennavigationssystem oder ein Warnsystem vor herannahenden Fahrzeugen.

Denkbar wäre auch ein elektronischer, in die Kleidung integrierte Ausweis, der den Besitzer an bestimmten biomimetischen Eigenschaften automatisch erkennt und so seinem Träger den Zugang zu den ihm erlaubten Bereichen in Gebäuden, bei seiner Kontoführung oder beim Starten seines Fahrzeuges ohne konventionelle Schlüssel erlaubt. Diese elektronischen Helfer im Umfeld eines Menschen könnten sich selbständig und adaptiv

miteinander vernetzen, ohne dass ein Benutzer aktiv eingreifen muss (und kann).

5 Energieverbrauch und Umweltschutz

Die durch die Nanotechnologie zu erwartende Miniaturisierung von neuen Funktionselementen für die Informationsverarbeitung hat wie die bisherige Miniaturisierungswelle im Bereich der Mikroelektronik ein erhebliches Potenzial. Im Bereich der Energieeinsparung und damit des Umweltschutzes. Laut einer Statistik der Fa. IBM aus dem Jahre 2001 wurden für das Erhebungsjahr weltweit ca. 550 Mrd. US-Dollar für Energiekosten zum Betrieb aller aktiven Computer verbraucht. Diese Kosten werden sich in naher Zukunft nicht wesentlich verringern, obwohl die einzelnen Computer immer weniger Energie verbrauchen, weil durch fallende Preise zugleich immer mehr Computer angeschafft werden, vor allem im privaten Bereich und in großen Mengen in Schwellenländern wie China und Indien. Eine dramatische Reduktion des Energieverbrauchs könnte durch die molekulare Elektronik entstehen, die nach heutiger Schätzung vielleicht nur noch ein Millionstel der für unsere heutigen PCs benötigten Energie für die gleiche Rechenleistung benötigt. Daher loten einige Konzerne wie Hewlett Packard in Palo Alto, Kalifornien, derartige Potenziale aus. Ein Ziel dieser Technologieentwicklung ist es, die Rechenkapazität eines heutigen Supercomputers auf die Größe einer Armbanduhr zu reduzieren bei einem Energieverbrauch, der etwa dem der elektronischen Armbanduhren entspricht. Gelingt dies, könnte der Energieverbrauch für Rechner tatsächlich um etliche Größenordnungen gesenkt werden und damit eine Vielzahl von Kraftwerken, die mit fossilen oder atomaren Brennstoffen betrieben werden, überflüssig werden. Daraus ergibt sich indirekt auch ein wichtiger Beitrag der Nanotechnologie zum Umweltschutz.

6 Komplexe Strukturen

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

Im Bereich der Nanotechnologie wird versucht, durch die Kombination von physikalischen Techniken und speziellen chemischen Methoden wie die supramolekulare Chemie, komplexe Strukturen zumindest in einfachs-

ter Form zu erzeugen. Damit könnte es gelingen, molekulare Schalter und Motoren herzustellen, die weitaus mehr ’können’ als die Einzelmoleküle, aus denen sie aufgebaut sind. Allerdings sind selbst scheinbar einfache Funktionselemente wie Linearmotoren, aus denen unsere Muskeln aufgebaut sind, und rotierende Motoren, die sowohl als Generatoren als auch als Pumpen in unseren Zellmembranen arbeiten, von einer ungeheueren Komplexität, die synthetisch bisher nicht nachgeahmt werden kann. Technologisch wird man daher möglicherweise zunächst den Weg der Erzeugung von Hybridstrukturen gehen, d. h. biologische Grundstrukturen und Motoreinheiten mit künstlichen Stellgliedern versehen, die schließlich in großen Mengen, z. B. auf flachen Trägern angeordnet, bestimmte Pump- oder sonstige Aktuatorfunktionen übernehmen könnten. Noch steckt dieses Gebiet in seinen Anfängen, und es ist unabsehbar, wann aus diesen ersten Gehversuchen praktische Produkte werden können. Aus der Betrachtung der molekularen Struktur von Flagellenmotoren von Bakterien wird jedoch schnell klar, dass der Aufbau von Nanorobotern auf synthetischer Basis heute überhaupt nicht denkbar ist. Das Gefahrenpotenzial aus dieser Richtung, auf welches interessierte Einrichtungen publikumswirksam immer wieder versuchen hinzuweisen, ist als sehr gering einzustufen.

7 Gefahrenpotenziale?

Wie jede neue Technologie birgt auch die Nanotechnologie ein gewisses Risiko, z. B. im Zusammenhang mit der Herstellung von lungengängigen nanoskaligen Materialien und Stäuben, deren langfristige Wirkung im Einzelnen jeweils untersucht werden muss. Dabei erscheint die Gesetzesgrundlage zur Freigabe von neuen Materialien und chemisch aktiven Stoffen zunächst ausreichend, da nach diesen Vorgaben jeder neue chemisch aktive Stoff nach sehr strengen Kriterien in toxikologischen Labors geprüft werden muss m Bereich der nanoskaligen Materialien wird ein besonderes Augenmerk auf die potenziell erhöhte chemische Aktivität dieser Stoffe gerichtet sein müssen, da bekannt ist, dass durch den erhöhten Oberflächen-zu-Volumen-Anteil derartiger Stoffe die katalytische Wirkung im Vergleich zu ausgedehnten Stoffen des gleichen Materials erhöht sein kann. Dieses wird, zumeist ohne große publikumswirksame Aktivität, bereits sehr intensiv in einer Reihe von Forschungsanstalten weltweit geprüft. Es ist erstaunlich, dass lungengängige Nanoteilchen, die als Nebenprodukte, z. B. im Abgas von Dieselmotoren oder durch Reifenabrieb entstehen, über viele Jahre gesellschaftlich geduldet wurden und erst in jüngerer Zeit industrielle Maßnahmen ergriffen wurden, um diese ultrafeinen Partikel, die tonnenweise pro Jahr entstehen, nicht in die Umwelt gelan-

gen zu lassen. Über die möglichen Langzeitwirkungen ist bis heute noch wenig bekannt. Nach jetzigem Wissensstand scheint jedoch eine kurzfristige akute Bedrohung von diesen Teilchen nicht auszugehen. Diese unerwünschten Nebenprodukte sind keine gezielt hergestellten Produkte der Nanotechnologie. Diese hat jedoch entscheidend dazu beigetragen, mit neuen analytischen Methoden die chemischen und physikalischen Eigenschaften dieser Teilchen überhaupt untersuchen und einschätzen zu können.

8 Nanoanalytik

Die wichtigste Voraussetzung zur Einschätzung von Gefahrenpotenzialen im Bereich der Nanomaterialien liefert die in den letzten Jahren intensiv gewachsene Nanoanalytik, die es erlaubt, Strukturen auf molekularer und atomarer Skala sichtbar zu machen, mechanische Eigenschaften von Nanoteilchen zu messen, aber auch ihre chemische Zusammensetzung zu identifizieren. Aus all diesen Daten kann ein Gesamtbild der Eigenschaften derartiger Teilchen gewonnen werden, was dazu beiträgt, mögliche Gefahrenpotenziale quantitativ einzuschätzen.

Die Nanoanalytik wurde wie die gesamte Nanotechnologie und die Nanowissenschaften wesentlich durch die Erfindung des Rastertunnelmikroskops 1981 durch G. Binnig und H. Rohrer am IBM-Forschungslabor in Zürich geprägt. Damit gelang es zum ersten Mal, Strukturen auf atomarer Skala sichtbar zu machen und sie spektroskopisch zu charakterisieren (Abb. 1).

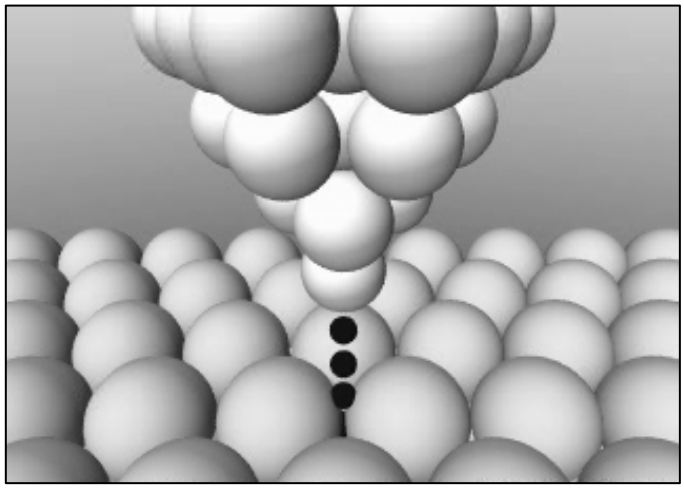


Abb. 1: Schema eines Rastertunnelmikroskops, das zur Untersuchung von atomaren Strukturen auf Oberflächen den quantenmechanischen Tunneleffekt ausnutzt (Quelle: J. Heinel, Arbeitsgruppe Fuchs, 2000)

Inzwischen gibt es eine Vielzahl von Derivaten dieser Technik, die unterschiedlichste Oberflächen und Grenzflächeneigenschaften zu untersuchen gestatten. Gleichzeitig konnte mit diesen Instrumenten der von dem amerikanischen Physiker Richard Feynman Ende der 1950er Jahre gemachte Vorschlag erstmals realisiert werden, atomare und molekulare Strukturen auf Oberflächen gezielt in ihrer Position zu verändern und sogar chemische Reaktionen zwischen Molekülen gezielt auszulösen. Dies ist eine wichtige Voraussetzung für die Erzeugung neuer Speicherkonzepte auf atomarer und molekularer Skala.

9 Ausbildung

Bereits heute und verstärkt in der Zukunft wird die Nanotechnologie dazu beitragen, die klassisch getrennten naturwissenschaftlichen Disziplinen Physik, Chemie, Biologie, aber auch große Teile der Medizin und der Ingenieurwissenschaften zusammenzuführen und daraus eine neue Qualität entstehen zu lassen, die man als Transdisziplinarität[2] bezeichnet. Dies erfordert u. a. neue Studien und Ausbildungsgänge, aber auch die Vorbereitung junger Menschen auf ein neues faszinierendes Gebiet der Naturwissenschaften bereits in der Schule. Daher haben die Nanotechnologen auch die Aufgabe übernommen, im Bereich der Aus- und Weiterbildung neue Lehrkonzepte dieser Querschnittstechnologie zu entwickeln. In Schulen können inzwischen mit einfachsten Mitteln Mikroskope aufgebaut werden, die einen ersten faszinierenden Blick in die Nanowelt gestatten (http://sxm4.uni-muenster.de).

---

[2] Der Ansatz geht über das übliche Verständnis wissenschaftlicher Zusammenarbeit hinaus. Der Konstanzer Philosoph J. Mittelstraß definierte den Begriff der ‘Transdisziplinarität‘ wie folgt: „Während wissenschaftliche Zusammenarbeit allgemein die Bereitschaft zur Kooperation in der Wissenschaft und Interdisziplinarität in der Regel in diesem Sinne eine konkrete Zusammenarbeit auf Zeit bedeutet, ist mit Transdisziplinarität gemeint, dass Kooperation zu einer andauernden, die fachlichen und disziplinären Orientierungen selbst verändernden wissenschaftssystematischen Ordnung führt. Dabei stellt sich Transdisziplinarität sowohl als eine Forschungs- und Arbeitsform der Wissenschaft dar, wo es darum geht, außerwissenschaftliche Probleme ... zu lösen, als auch ein innerwissenschaftliches, die Ordnung des wissenschaftlichen Wissens und der wissenschaftlichen Ordnung selbst betreffendes Prinzip“ (Mittelstraß 2003, S. 9f.).

10 Vernetzung

Ein Querschnittsgebiet wie die Nanotechnologie kann nicht mehr umfassend an einer einzigen Forschungsstelle oder von einer einzigen Firma betrieben werden. Da viele Konzepte in unterschiedlichsten Bereichen anwendbar und übertragbar sind, ist es notwendig, Netzwerke zum Wissenstransfer und zum Austausch von Know-how aufzubauen. Dies geschieht sowohl auf nationaler Ebene, z. B. durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung, die DFG und die VW-Stiftung (www.nanonet.de), als auch in jüngster Zeit verstärkt durch die EU innerhalb des 6. Rahmenprogramms. Auch das in Vorbereitung befindliche 7. Rahmenprogramm wird dem Bereich der Nanotechnologie und insbesondere dem Bereich der Nano-Biotechnologie große Aufmerksamkeit widmen. Ähnlich umfangreiche Programme, z. T. mit erheblich höheren finanziellen Mitteln werden in den USA und in Japan durchgeführt. Hierbei geht es jeweils um die Erreichung eines Wissens- und Technologievorsprungs, der durch entsprechende Patentanmeldungen wirtschaftlich abgesichert werden kann.

Dies ist von größter Bedeutung, weil die Nanotechnologie nicht auf ein einzelnes Technologiefeld, wie beispielsweise die Elektronik oder die Automobilindustrie beschränkt ist, sondern aufgrund ihres Querschnittscharakters in allen wichtigen Bereichen, beispielsweise der Materialwirtschaft, Umwelt und Energie, Medizin und Biowissenschaften sowie der Präzisionsverarbeitung von Oberflächen eine zentrale Rolle spielen wird.

Ausgehend von Konzepten der Oberflächen und Produktveredelung, der Herstellung von speziellen Membranen, organischen Leuchtdioden und speziellen magnetischen Sensoren sind in Zukunft neue Konzepte zu erwarten, wie etwa der magnetischen Hyperthermie für die Krebsbehandlung, Nanoelektronik auf der Basis von Kohlenstoffnanoröhren und in fernerer Zukunft vielleicht Gewebedesign und Spintronik. Daher kann im Gesundheitswesen bei der Herstellung von biokompatiblen Oberflächen für künstliche Organe oder Gefäße und im Bereich des Umweltschutzes ein erheblicher Nutzen von der Nanotechnologie erwartet werden. Was davon tatsächlich erzeugt, angewandt und verkauft werden kann – darüber muss die Gesellschaft insgesamt entscheiden.

Literatur

Mittelstraß, J. (2003): Transdisziplinarität – wissenschaftliche Zukunft und institutionelle Wirklichkeit. Konstanz.

Queisser, H. J. (1985): Kristalline Krisen, Mikroelektronik – Wege der Forschung, Kampf um Märkte. München, Zürich.

Kathy Jo Wetter

Implications of technologies converging at the nano-scale

Are we ready for the Little Bang?

> "People may possess entirely new capabilities for relations with each other, with machines, and with the institutions of civilization. In some areas of human life, old customs and ethics will persist, but it is difficult to predict which realms of action and experience these will be. Perhaps wholly new ethical principles will govern in areas of radical technological advance, such as the acceptance of brain implants, the role of robots in human society, and the ambiguity of death in an era of increasing experimentation with cloning" (Roco/Bainbridge 2002, pp. 18-19).

Some of us are already comfortable with taking photographs, sending them to a friend and searching Google – all on our mobile telephones. But this all-in-one ethos extends beyond the realm of communication and information technologies. For a half-decade now, we have been hearing about high-level plans to overhaul the practice of science and technology through technological convergence, made possible by advances in nanotechnology.

What is technological convergence at the nano-scale?

Nanotechnology, a suite of techniques used to manipulate matter at the level of atoms and molecules, has been described as "the transformational technology of the 21st century."[1] Experts predict that nanotech will revolu-

[1] David Rejeski, Director, Project on Emerging Nanotechnologies, Woodrow Wilson International Center for Scholars, Testimony before the US House of Representatives, Committee on Science, November 17, 2005.

tionize manufacturing across all industry sectors and eventually "impact the production of virtually every human-made object"[2]. By merging nanotechnology with other powerful technologies, some believe it will be possible to intervene in all macro-level phenomena – including environmental, biological and societal. The current strategy to master control over all human experience through technological convergence is being enthusiastically endorsed and heavily financed by governments and industry around the world.

In December 2001, the US National Science Foundation (NSF) along with the government's Department of Commerce hosted a workshop in Washington, DC on the topic of converging technologies, which participants referred to as 'NBIC' (an acronym derived from the major technologies involved: *n*anotechnology, *b*iotechnology, *i*nformation technology and *c*ognitive sciences) (Roco/Bainbridge 2002) (see also T. Fleischer's contribution in this book). Three more NSF conferences devoted to NBIC Convergence – 'Converging Technologies for Improving Human Performance' – followed (2003-2005). Other governments took notice of the NBIC project in the US and have formulated their own versions and visions of converging technologies.

In Europe, convergence is called CTEKS (*C*onverging *T*echnologies for the *E*uropean *K*nowledge *S*ociety). In Canada, convergence is known as BioSystemics Synthesis (Bouchard 2003). A 2003 report from Canada's Science & Technology Foresight Pilot Project identified five characteristics that make NBIC technologies particularly consequential: The technologies are *convergent* (meaning they can combine with one another but also that they can be applied across many different industrial sectors and research disciplines), *fundamental*, *replicant* ("each of these technologies has some capability to 'reproduce' itself"), *distributed* (they can be used by individuals) and *public interest* (meaning that they all "will hold much promise, but at the same time be very disruptive") (ibid., p. 33)[3].

Without necessarily sharing the enthusiasm and optimism of governments, ETC Group has come up with its own name for technological convergence. We call it BANG – an acronym derived from *Bits, Atoms, Neurons and Genes*, which are the operable units of the NBIC technologies (Fig. 1) (see ETC Group 2003). In English, *BANG* is the sound a gun makes when it is shot – equivalent to *päng* in German – but it also brings to mind the prevailing scientific understanding of the origins of our universe known as 'The Big Bang' (*Urknalltheorie*), a theory developed in

[2] Ibid.

[3] With regard to nanotech's 'replicant' nature, Bouchard (2003; p. 33) states, "Nanodevices are likely to duplicate themselves via nano-assembly".

the 20th century. We think both connotations are appropriate to suggest a convergence that could have a dramatic, perhaps even violent, global impact.

21ST CENTURY BANG
*N*anotechnology – controlling matter through manipulation of *A*toms –
can converge with
*B*iotechnology – controlling life through manipulation of *G*enes –
can converge with
*I*nformation Technology – controlling data through organization and manipulation of *B*its –
can converge with
*C*ognitive Neuroscience – controlling brains and minds through manipulation of *N*eurons

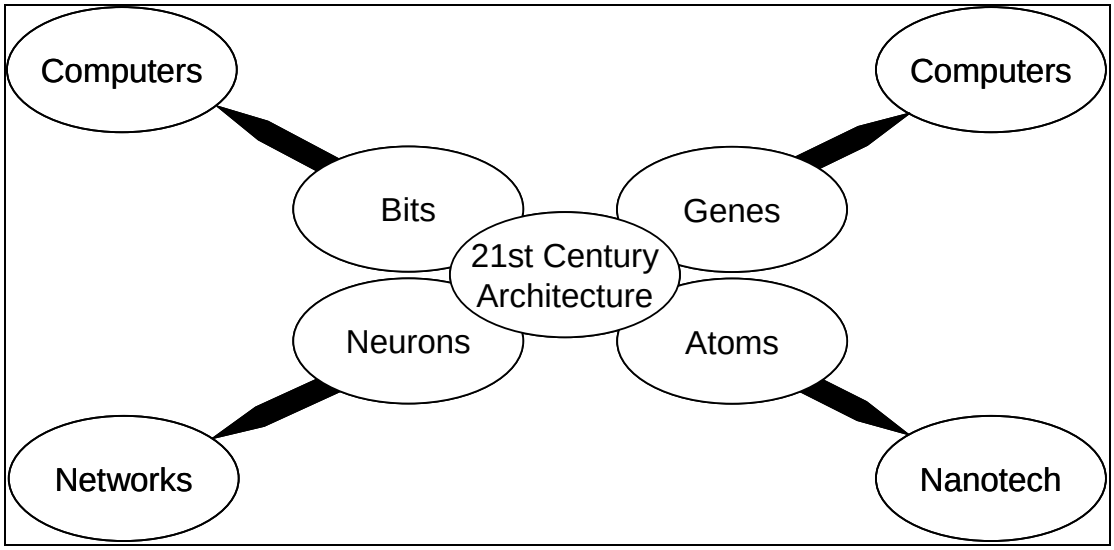


Fig. 1: 21st century architecture (Source: Canton 2002, p. 62)

How does convergence work?

The logic behind technological convergence lies in the understanding that the building blocks of all matter, fundamental to all sciences, originate at the nano-scale: All materials and all processes, including biological materials and processes, operate from the bottom up. Atoms combine to form molecules and molecules combine to form all larger structures, so it is possible to view every substance and every system as the result of molecular processes operating at different levels. When things are reduced to the nano-scale, macro-world distinctions between kinds of materials – and even between scientific disciplines – no longer hold meaning. DNA, for

example, becomes just one more molecule that can be combined with or substituted for other molecules. At the level of atoms and molecules, distinctions between living and non-living matter, or biological and non-biological, cease to exist.

A theoretical product of BANG convergence in medicine could be a combined drug and drug-delivery device used to treat Alzheimer's disease: Suppose it is discovered, after sifting through mountains of data (using information technology), that a natural compound existing in short supply in the Amazon is effective in treating the symptoms of certain neurological disorders. Using recombinant DNA technology (biotechnology), researchers may be able to produce the compound in large quantities. Perhaps a biocompatible nano-scale device (engineered and produced using nanotechnology) injected into the bloodstream could deliver and release the drug at the site of the damaged neurons. While not every product of convergence will involve each of the BANG technologies, most will use one or more technique that has been enabled or augmented by nanotechnology. Other examples of convergence might include implanted nanomaterials that replace bones damaged by arthritis; re-engineered neurons capable of controlling the movements of a computer's cursor; or cognitive implants that increase our brains' ability to store and use information.

What are the concerns raised by technological convergence?

BANG raises concerns in two broad categories – social/socio-economic concerns, on the one hand, and health and environmental concerns, on the other. These concerns are briefly summarized below:

1. Small Science/Big Business: It is important to remember that almost as soon as scientists figured out how to *manipulate* life through genetic engineering, corporations figured out how to *monopolize* it. In the same way, nano-scale patenting accompanies molecular manipulations: Technological control at the nano-scale goes hand-in-hand with corporate control of the nano-scale. A dangerous precedent was set back in the 1960s when Glenn Seaborg, the American who won a Nobel Prize for Physics in 1951, 'invented' the chemical element *Americium* (element no. 95 on the periodic table) and acquired US patent #3,156,523 for it. Yesterday's patents on genetically modified organisms are facilitating today's patents on the elemental building blocks of the entire natural world. Although industry analysts assert that nanotech is in its infancy, 'patent thickets' – overlapping intellectual property rights that researchers must negotiate in order to commercialize new technology – on fundamental nano-scale materials,

building blocks and tools are already creating barriers for would-be innovators. Some insist that nano-scale technologies will address the most pressing needs of the South's marginalized peoples. But in a world dominated by proprietary science, it is the patent owners and those who can pay license fees who will determine access and price. Civil society and governments must go beyond the demand for 'No Patents on Life' to guard against exclusive monopolies on the nano-scale components that make up life and everything else in the universe.

2. From Therapy to Enhancement: Homo sapiens vs. Homo sapiens 2.0: Because the lens through which the US government – and subsequently, European and Canadian governments – have viewed BANG is 'improved human performance', debates about the ethical, social and economical implications of human enhancement and life extension are crucial. Uploadable intelligence, downloadable memories and hyper-performing bodies may require a revised definition of our species, *Homo sapiens.* Or perhaps the new technological realities will create a need for a new species classification altogether – *Homo sapiens 2.0* – describing the small fraction of the global population that will be able to pay to be enhanced through converging technologies.

While relatively few will be able to afford the full enhancement package, some enhancements enabled by BANG will become more and more pervasive and 'naturalized' until they are viewed as necessary corrections in the way that eyeglasses are today. At the same time, there will be a corporate push to define and broaden the scope of treatable 'health conditions' – often under the guise of 'raising public awareness' – in order to create or expand markets for newly-available enhancements. The practice of promoting illness in order to create markets for treatment is known as "disease-mongering" (see Moynihan/Henry 2006). Certain personality traits (e. g., shyness), physical traits (e. g., 'average' strength or height), cognitive traits (e. g., 'normal' intelligence) will be deemed undesirable and correctable (and gradually unacceptable, not to be tolerated). The line between enhancement and therapy – already blurry – will be completely obliterated.

The ultimate effect will be a shift in the perception of what is 'normal' and the creation of what Dr. Gregor Wolbring, a biochemist and health researcher at the University of Calgary, calls an "ability-divide" (Wolbring 2006, p. 21). Like the digital divide, the ability divide will shadow the boundary between North and South, and between rich and poor everywhere. Under the present policy conditions, the introduction of pervasive human performance enhancement technologies is likely to result in a new group of marginalized people and an accompanying 'divide'.

> "Every technology has led to a new group of marginalised people and to new inequalities. There is no reason under today's policy realities why this would be different if the human body becomes the newest frontier of commodification. As much as human enhancement technology will become an enabling technology for the few, it will become a disabling technology for the many… If we go on as we are today we will see the appearance of a new underclass of people – the unenhanced" (ibid.).

Some maintain that it is possible to draw a line between therapy and enhancement and that a line *should* be drawn because the distinction will help inform an ethical debate about what it means to be human and how to best preserve our human-ness (see, for example, The President's Council on Bioethics 2003). Others have argued that, given society's current configuration, a line between therapy and enhancement cannot be maintained and an inclusive debate should begin by recognizing the social factors (e. g., values, prejudices) that currently contribute to our understanding of what it means to be human. From there, the debate should focus on how or if to protect those who do not currently meet the 'human' standard – and those who will not meet a revised standard in our technologically-enhanced future (Wolbring 2006, pp. 122-128). Still others – transhumanists, for example, who believe the human species is in a comparatively early phase of development – are comfortable with a malleable definition of *Homo sapiens* and are eager to make use of available technologies that may bring about 'better' humans.[4] They envision a world not far off where a 'cure' for the 'medical condition' known as 'aging' – perhaps through the advancement of 'SENS', Strategies for Engineered Negligible Senescence (Aging) – is found and humans live in good health far longer than 100 years.[5] While some transhumanists acknowledge that the introduction of ubiquitous enhancement technologies could widen the gap between rich and poor, they do not see that as a compelling reason to limit their use. They view disparities within society as a separate and long-standing problem not created by (nor solved by) enhancement technologies.[6]

---

4 The web site of the World Transhumanist Association is www.betterhumans.com.

5 See http://www.sens.org/.

6 See, for example, Bostrom 2003, p. 21: "Technological progress does not solve the hard old political problem of what degree of income redistribution is desirable, but it can greatly increase the size of the pie that is to be divided".

> "The future may hold different definitions of human enhancement that affect culture, intelligence, memory, physical performance, even longevity. Different cultures will define human performance based on their social and political values. It is for our nation to define these values and chart the future of human performance" (Canton 2002, p. 61).

3. Small Science/Big Safety Questions: There are many unanswered questions about nanotech's – and BANG's – impact on health and the environment.

Nano-scale materials exhibit unusual properties that may increase their functionality. Substances that are smaller than about 100 nm can behave differently from larger particles of the same substance. Nano-scale materials may differ from their micro or macro counterparts in strength, colour and/or elasticity; they may be able to conduct electricity more efficiently or they may be more chemically reactive. Optical, electrical or structural properties that are unique to the nano-scale are called 'quantum effects'.

What is more, a substance's quantum properties can change *within* the nano-scale. Some nanoparticles of gold are inert, for example, while other gold nanoparticles of a different size are reactive. Shape matters, too. It is possible that a 20 nm spherical nanoparticle of a particular substance will exhibit certain properties that a 60 nm rod-shaped particle of the same substance does not. There are no current models that can predict quantum effects, so a project is underway to try to characterize specific nanomaterials – to understand their physical attributes, including their *in vitro* biological properties and their *in vivo* compatibility (using animals first).[7]

The extraordinary properties of nano-scale materials have raised hopes for vastly more effective medical treatments, stronger, lighter materials and even abundant, inexpensive and nutritious food. Ironically, the qualities that make nanomaterials so attractive to researchers and industry across a wide range of fields – their small size, mobility and unusual properties – may turn out to be the same qualities that make them harmful to human health and the environment.

No one is sure yet how to distinguish between benign and dangerous nanoproducts and the nascent field of 'nanotoxicology' is awash with uncertainty: There is a virtual consensus among scientists that the toxicology of engineered nanomaterials is largely unknown, and that toxicity data cannot be extrapolated from existing toxicology studies conducted on larger scale particles (see, for example, Ross (2006) who summarizes the issues and gives references to a selection of recent toxicity studies, some

[7] See http://ncl.cancer.gov/.

of which have yielded disturbing results, though none of which are definitive). In other words, the toxicity of a substance in the form of a particle one-micron in diameter will very likely differ from the toxicity of a particle (of the same substance) that is only 10 nm in diameter (1 micron = 1000 nm). This is because the smaller the particle, the greater percentage of its atoms is on the surface. A large surface area corresponds to a high level of reactivity – and, in general, the more reactive a substance, the more toxic it is.

What is generally true, however, may not necessarily hold true within the nano-scale. The behaviour of materials in this size range (~1-100 nm) is unpredictable and scientists have recently suggested that a nanomaterial's shape and surface structure are also important factors in reactivity and toxicity, making the field of nano-toxicology even more challenging (Anon. 2005). If all the possible variations of substance, size, shape and surface structure are taken into account, the task of mapping out the entire new world of nano-scale materials is Herculean, if not impossible.

If nanomaterials find a way inside the body (through inhalation or ingestion, for example), the extent to which they translocate (move from one place to another) in the body is not at all clear, and a particle's size, composition and shape all play a role. One recent study, for example, showed that spherical particles – some with a diameter of 14 nm and others 74 nm in diameter – entered cells more easily than rod-shaped nanoparticles measuring 14 nm x 74 nm (Kalaugher 2006). Spherical 50 nm particles, however, were twice as likely to enter cells than spherical particles that were slightly larger *or* slightly smaller (ibid.). A study on rats has shown that inhaled nanoparticles smaller than 40 nm can reach the brain (specifically, the olfactory bulb) via the olfactory nerve (Oberdörster et al. 2004).

Can inhaled nanoparticles reach the central nervous system? Can nanoparticles in cosmetics and sunscreens penetrate through layers of skin? Cross the blood brain barrier? How small must they be to enter cells? Can nanoparticles enter the food chain?

The knowledge gaps require urgent attention because there are hundreds of products that contain nanomaterials already on the market (see the product inventory compiled by the Woodrow Wilson International Center for Scholars, http://www.nanotechproject.org/consumerproducts/), and no federal agency in the world regulates nano-scale materials *per se*.

It was the lack of scientific certainty and the lack of government oversight that prompted ETC Group back in 2002 to call for a moratorium on the commercialization of nanoproducts until it could be established that consumers were being protected and until lab protocols were put in place

to protect workers. It was the lack of scientific certainty that prompted this recommendation from the UK's Royal Society in 2004:

> "Specifically we recommend as a precautionary measure that factories and research laboratories treat manufactured nanoparticles and nanotubes as if they were hazardous and reduce them in waste streams and that the use of free nanoparticles in environmental applications such as remediation in groundwater be prohibited" (The Royal Society and Royal Academy of Engineering 2004, p. 4).

Conclusion

From several different vantage points, BANG – led by nanotechnology – looms as the most powerful technological onslaught the world has ever seen. The shock waves that will accompany the 'Little BANG' have breathtaking societal implications, especially for poor and marginalized communities. The Little BANG could upend markets for labour and raw materials and change the way we live, eat, work, wage war and define life. Some predict that it will trigger a new economic and cultural utopia combining material abundance, sustainable development, healthful longevity and profit. But history suggests a different scenario. In recent decades we have witnessed the privatization of science and a staggering concentration of corporate power that has undermined democracy and dissent throughout the world. Nano-scale manipulations offer unprecedented potential for sweeping monopoly control of elements and processes fundamental to life and material resources.

The sweeping economic, social and political issues raised by converging technologies range far beyond the boundaries of any single country and require broad societal dialogue and new governance strategies. In a just and judicious context, technological convergence could bring useful benefits to the poor – cleaner water, cheaper energy, and improved health. There could also be significant environmental gains from replacing some conventional materials with new nanomaterials, and there appear to be some potentially useful applications in the area of solar cells. But if the technological imperative and pursuit of profits continue to propel BANG, will poor communities have access to nanotech's proprietary products? Will today's nanotech patent grab establish barriers to entry and mega-monopolies on the basic elements that are the building blocks of the entire natural world? BANG, with its emphasis on enhancing the performance of humans (those who can afford to pay for the enhancements) will widen the gap between rich and poor. The simple truth is that new technologies,

no matter how compelling, cannot solve old injustices, and technology is never an alternative to sound social policies.

References

Anon. (2005): Nanotube Toxicity Linked to Functionalization (3 November 2005). URL: http://nanotechweb.org/articles/news/4/11/3/1, viewed June 21, 2006.

Bostrom, N. (2003): The Transhumanist FAQ: A General Introduction. Version 2.1. URL: http://www.transhumanism.org/resources/faq.html, viewed June 21, 2006.

Bouchard, R. (2003): Bio-Systemics Synthesis. Science and Technology Foresight Pilot Project (STFPP) Research Report # 4. No Place of Publication.

Canton, J. (2002): The Impact of Convergent Technologies and the Future of Business and the Economy. In: Roco, M. C.; Bainbridge, W. S. (ed.): Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology, and Cognitive Science (NBIC). Arlington. pp. 71-79.

ETC Group (ed.) (2003): The Strategy for Converging Technologies: The Little BANG Theory. A Mix of Bits, Atoms, Neurones and Genes (B.A.N.G.) Make the World Come ‘Round for the USA. Ottawa (=Communiqué 78).

Kalaugher, L. (2006): Nanoparticle Size Affects Uptake by Cells (17 March 2006). URL: http://nanotechweb.org/articles/news/5/3/10, viewed June 21, 2006.

Miller, P.; Wilsdon, J. (eds.) (2006): Better Humans? The Politics of Human Enhancement and Life Extension. London (=Demos Collection 21).

Moynihan, R.; Henry, D. (2006): The Fight Against Disease Mongering: Generating Knowledge for Action. In: PloS Medicine 3 (4). pp. 425-428.

Oberdörster, G.; Sharp, Z.; Atudorei, V.; Elder, A.; Gelein, R.; Kreyling, W.; Cox, C. (2004): Translocation of Inhaled Ultrafine Particles to the Brain. In: Inhalation Toxicology 16 (6-7). pp. 437-445.

Roco, M. C.; Bainbridge, W. S. (2002): Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology, and Cognitive Science (NBIC). Arlington.

Ross, P. E. (2006): Tiny Toxins? URL: http://www.technologyreview.com/read_article.aspx?id=16814&ch=nanotech&sc=&pg=1, viewed June 21, 2006.

The President's Council on Bioethics (ed.) (2003): Beyond Therapy: Biotechnology and the Pursuit of Happiness. Washington, DC.

The Royal Society and Royal Academy of Engineering (ed.) (2004): Nanoscience and Nanotechnologies: Opportunities and Uncertainties. Summary and Recommendations. London.

Wolbring, G. (2006): The Unenhanced Underclass. In: Miller, P.; Wilsdon, J. (eds.): Better Humans? The Politics of Human Enhancement and Life Extension. London (=Demos Collection 21). pp. 122-128.

Sebastian Henn

Wirtschaftliche Aspekte der Nanotechnologie

In der Debatte über potenzielle Risiken von Nanotechnologien dürfen deren positive Implikationen nicht gänzlich ausgeblendet werden, zumal die unsachliche oder einseitige Diskussion über negative Technikfolgen neben dem ‚Nanohype', d. h. dem Rückzug von Investoren infolge nicht realisierbarer Erwartungen, als größter ‚show-stopper' weiterer Entwicklungen diskutiert wird (Henn 2006b, S. 102). Wendet man sich dem wirtschaftlichen Potenzial der Nanotechnologien als einer Facette der mit ihr verbundenen Hoffnungen und Chancen zu, wird man schnell feststellen, dass die Zahl diesbezüglicher Untersuchungen in den letzten Jahren zwar deutlich zugenommen hat (u. a. Glauner et al. 2006; Henn 2006b; Luther et al. 2005; Luther/Malanowski 2004; Luther et al. 2004; Deutscher Bundestag 2004; Roco et al. 2001), die Datenlage insgesamt aber noch immer als sehr lückenhaft beurteilt werden muss (zu den Schwierigkeiten der Quantifizierbarkeit des wirtschaftlichen Potenzials der Nanotechnologie vgl. Luther et al. 2005, S. 18).

Übereinstimmung erzielen die bisher vorliegenden Arbeiten dahingehend, dass die Nanotechnologie als Schlüssel(technologie)- oder Zukunftsindustrie angesehen werden kann, von der man sich einen entscheidenden Beitrag zum wirtschaftlichen Strukturwandel, die Übertragung wirtschaftlicher Impulse auf verschiedene Bereiche einer Volkswirtschaft sowie die Stabilisierung von (Teil-)Arbeitsmärkten erhofft (zum Begriff der Schlüsseltechnologie vgl. Bathelt 1991, S. 11). Im Folgenden wird ein kurzer Überblick über die wirtschaftlichen Implikationen von Nanotechnologien gegeben, wobei eine Unterscheidung in die mit ihr einhergehen-

den Innovations-, Beschäftigungs-, Wachstums- und Verteilungsaspekte vorgenommen wird.

Innovation und Wettbewerbsfähigkeit

Das sicherlich augenfälligste Charakteristikum der Nanotechnologie ist ihr Potenzial, Produkte mit bislang unbekannten Eigenschaften herstellen zu können. Aufgrund der immer noch starken Grundlagenorientierung wird es kurz- bis mittelfristig allerdings weniger zur Ausbildung eigener Nanotechnologiemärkte als vielmehr zur Modifikation bestehender Produkte kommen (DG-Bank/GZ-Bank 2001, S. 39; BMBF 2004, S. 4ff.). Je nachdem welche Technologiebereiche, welcher Zeithorizont und welche Wertschöpfungssegmente betrachtet werden, rangieren die gegenwärtigen weltweiten Schätzungen des Marktpotenzials im Bereich zwischen 493 Millionen (Schätzung für 2000 im Hinblick auf anorganische Nanopartikel und -pulver) und einer Billion US-Dollar (Prognose für nanotechnologische Produkte für das Jahr 2015) (zu Angaben über das Marktpotenzial einzelner Technologiesegmente vgl. Luther/Malanowski 2004, S. 29; Luther 2003, S. 29).

Neben neuen Produkten sind auch auf Nanotechnologie beruhende Verfahren, auf deren Grundlage sich Effizienzsteigerungen u. a. durch eine Abnahme des Energieverbrauchs, die Einsparung stofflicher Ressourcen und die Verringerung von Nebenprodukten realisieren lassen, von erheblicher wirtschaftlicher Bedeutung (Deutscher Bundestag 2004, S. 160): Sie bewirken nicht nur eine Reduktion interner, d. h. betrieblicher, sondern auch externer Kosten (Umweltverschmutzung) und liefern damit einen Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung (vgl. dazu auch die Beiträge von W. Kühling in diesem Band).

Ergebnisse empirischer Untersuchungen legen die Vermutung nahe, dass sowohl Produkt- als auch Verfahrensinnovationen eine Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit der Nanotechnologie betreibenden Unternehmen zur Folge haben, die entsprechende Investitions- und Umsatzsteigerungen, insbesondere im kleinen und mittleren Unternehmensgrößensegment nach sich ziehen wird (Henn 2006b, S. 124): So gaben 75 % der von Luther et al. (2004, S. 129) befragten Unternehmen an, dass Nanotechnologie ihnen bei der Erschließung neuer Märkte helfen wird. Über 60 % vertraten zudem die Ansicht, dass Nanotechnologie für sie einen entscheidenden Wettbewerbsfaktor bzw. die Chance darstellt, die eigene technologische Wettbewerbsfähigkeit zu erhöhen.

Fragt man nach der Struktur der privatwirtschaftlichen Träger nanotechnologischer Innovationen, so fällt auf, dass etablierte Firmen mit auf

Nanotechnologie spezialisierten Mitarbeitern oder sogar ganzen Abteilungen den weitaus größten Anteil ausmachen (Henn 2006b, S. 114f.). Dies darf allerdings nicht über die hohe Bedeutung hinwegtäuschen, die Ausgründungen aus Hochschulen und Forschungseinrichtungen (sog. Spin-Offs) (Henn 2006b, S. 115; BMBF 2004, S. 13) aufgrund des durch sie bewirkten raschen Transfers neuester wissenschaftlicher Ergebnisse in die wirtschaftliche Praxis zuteil wird.

Wachstum

Seit der industriellen Revolution und verstärkt seit Einsetzen des weltweiten Strukturwandels in den 1970er Jahren gelten technische Innovationen als entscheidende Triebfeder wirtschaftlichen Wachstums. Vor dem Hintergrund der oben geschilderten Innovationspotenziale kann von der Nanotechnologie somit in besonderer Weise ein Beitrag zum Wachstum entwickelter Volkswirtschaften angenommen werden.[1]

Eine Besonderheit ist darin zu sehen, dass gerade weil die Nanotechnologie keinen eigenständigen Wirtschaftszweig beschreibt und auch in der amtlichen Statistik nicht gesondert erfasst wird, sondern als sog. ‚enabling technology' (Querschnittstechnologie) in den unterschiedlichsten Anwendungsbereichen zum Einsatz gelangt, verschiedene Wirtschaftszweige von nanotechnologischen Innovationen profitieren werden (sog. ‚Hebelwirkung', vgl. Deutscher Bundestag 2004, S. 15). In Deutschland beispielsweise wird vor allem im Automobilbau, in der chemischen Industrie, der Pharmaindustrie, der Informationstechnik und Optik mit einer starken Wachstumsdynamik gerechnet, weshalb die Entwicklung nanotechnologischer Anwendungen in diesen sog. Lead-Märkten (Beise-Zee 2006; 2001) von Seiten der Politik auch besonders gefördert wird (BMBF 2004, S. 27; Luther/Malanowski 2004, S. 26).

Um die Potenziale des interdisziplinär angelegten Forschungsfeldes bestmöglich ausschöpfen zu können, ist eine intensive Vernetzung zahlreicher Entscheidungsträger aus verschiedenen Bereichen erforderlich (Wissenschaft, Wirtschaft, zivilgesellschaftliche Akteure). Dies gelingt am besten dort, wo diese Akteure in besonderer Weise räumlich konzentriert sind. Schon heute lässt sich die Ausbildung solcher ‚Nanotechnologiecluster' beobachten (so z. B. im Saarland, im Raum Dresden, in Münster). Es kann angenommen werden, dass Standorte mit derartigen Akteurskonstellationen beim globalen „Rennen in die Nano-Economy" (Boe-

[1] Bisweilen wird die Nanotechnologie auch als Basisinnovation und damit als Grundlage einer neuen Langen Welle angesehen (Stiller 2005).

ing 2004, S. 38) besondere Vorteil besitzen (Glauner et al. 2006; Henn 2006a; 2006b; 2005).

Beschäftigung

Das zu erwartende Markt- und Umsatzwachstum ist verbunden mit entsprechenden Wirkungen am Arbeitsmarkt: in einer im Jahre 2004 durchgeführten Befragung gaben 93,4 % von 106 antwortenden, in der Nanotechnologie tätigen Unternehmen an, dass sie bis 2007 mit Beschäftigungszuwächsen rechneten. Im Durchschnitt konnte dabei ein voraussichtlicher Zuwachs von 15 Beschäftigten pro Betrieb ermittelt werden (Henn 2006b, S. 125). Dieser positive Trend spiegelt sich auch in den Ergebnissen der Untersuchung von Luther et al. (2004, S. 236) wider, die von wenigstens 2.000 bis 10.000 neuen Arbeitsplätzen in den deutschen Nanotechnologieunternehmen im Zeitraum von 2004 bis 2006 ausgehen. Der gesamtwirtschaftliche Beschäftigungseffekt wird noch deutlich höher ausfallen, da neben den direkten Effekten auch sog. indirekte Effekte zu berücksichtigen sind, die sich auf die mit der Nanotechnologie in Verbindung stehenden Neueinstellungen bei Zulieferern und Abnehmern beziehen. Alleine für Deutschland ist demnach für das Jahr 2006 zwischen 20.000 und 114.000 (direkt und indirekt abhängigen) Arbeitsplätzen und einem Zuwachs von 10.000 bis 15.000 Beschäftigungsverhältnissen auszugehen ((Luther et al. 2005, S. 18; Luther et al. 2004, S. 228ff.).[2] Auch für andere Volkswirtschaften werden im Bereich Nanotechnologie z. T. beträchtliche Beschäftigungseffekte erwartet (z. B. Center for Economic Growth and the Lally School of Management and Technology 2004, S. 6).

Im Hinblick auf das Qualifikationsniveau der nachgefragten Arbeitskräfte ist vor allem mit einem Bedarf an höher- und hochqualifizierten Mitarbeitern zu rechnen, wobei ein besonderer Schwerpunkt auf den Absolventen traditioneller natur- und ingenieurwissenschaftlicher, möglicherweise aber auch neuer nanotechnologiespezifischer Studiengänge (Krämer/Helfgen 2003) liegt. Deutlich geringer fällt bislang die Nachfrage nach Personen aus dem mittleren Bildungssegment (Berufsausbildung, Facharbeiter) aus. Dennoch gilt es auch hier, dem sich abzeichnenden Bedarf entsprechende Aus- und Weiterbildungsgänge zu entwickeln (Abicht et al. 2005; Mallmann 2005; Vanston/Elliott 2003, S. 5ff.).

[2] Zu recht wird im Bericht der Royal Society & The Royal Academy of Engineering (2004, S. 52) darauf hingewiesen, dass die Einführung neuer Technologien nicht nur mit der Schaffung neuer Arbeitsplätze, sondern auch mit einer Substitution bestehender Beschäftigungsverhältnisse in anderen Sektoren auszugehen ist. Über den daraus resultierenden Nettoeffekt liegen bislang allerdings keine Angaben vor.

Verteilung

Während der Nanotechnologie in den Industrienationen angesichts der genannten Aspekte große Bedeutung bei der Sicherung der Erwerbs- und Einkommensmöglichkeiten beigemessen wird, erhofft man sich von ihr in den Entwicklungsländern einen Beitrag zur Überwindung bestehender Entwicklungshemmnisse[3] (z. B. verbesserte Trinkwasseraufbereitung; frühzeitige Erkennung von Krankheiten; landwirtschaftliche Effizienzgewinne etc.) (Stinger et al. 2005; The Royal Society; The Royal Academy of Engineering 2004, S. 53). Inwiefern ärmere Länder von nanotechnologiebasierten Innovationen profitieren werden, hängt allerdings nicht zuletzt von ihrem Zugang zu entsprechendem Know-How ab. Schon heute wird unter dem Stichwort ‚Nanodivide' die Verstärkung bestehender globaler Disparitäten diskutiert, die sich infolge der unterschiedlichen Fähigkeiten, am nanotechnologischen Fortschritt partizipieren zu können, einzustellen vermögen (Deutscher Bundestag 2004, S. 175; The Royal Society; The Royal Academy of Engineering 2004, S. 52-53). Wenngleich es gilt, diesen Aspekt in die Debatte über ethische Implikationen der Nanotechnologie einfließen zu lassen, muss darauf hingewiesen werden, dass mit dem Stichwort Nanodivide bislang nicht die tatsächlich anzutreffenden Verhältnisse, sondern ein mögliches (negatives) Szenario beschrieben wird. Zudem handelt es sich bei ihm weniger um ein Spezifikum der Nanotechnologie, als vielmehr um eine offensichtlich charakteristische Begleiterscheinung neuer Technologien, wie die Debatte um den ‚digital divide' (Zugang zu digitalen Technologien) belegt (vgl. Tichenor/Donohue/Olien 1970).

Fazit

Alles in allem zeichnen die bislang vorliegenden Untersuchungen ein Bild von der Nanotechnologie als von einem hoch dynamischen Technologiefeld. Während kurzfristig von inkrementalen Neuerungen in nahezu allen Branchen auszugehen ist, dürfen langfristig durchaus tief greifende wirtschaftliche Veränderungen erwartet werden, von denen aller Voraussicht nach jedermann betroffen sein wird. Wie bei entstehenden Technologien nicht anders zu erwarten, sind bislang viele der öffentlich ausgetragenen Diskussionen über das wirtschaftliche Potenzial von Nanotechnologien allerdings noch von zahlreichen Visionen geprägt, die in den Bereich der

[3] So vertreten Stinger et al. (2005) die Ansicht, dass die Nanotechnologie zu fünf der insgesamt acht United Nations Milennium Development Goals beitragen kann.

„Nano-Fiction“ (Collins 2001, S. 82) zu verbannen sind. Um die Gefahr eines damit verbundenen ‚Nano-Hypes’ zu verringern und das tatsächlich vorhandene Potenzial der Nanotechnologie umzusetzen, bedarf es eines verstärkten Engagements für die Auseinandersetzung mit den kurz- und mittelfristig realisierbaren Lösungen. Dazu gehört nicht zuletzt eine sachliche Aufklärung der Bevölkerung, die zum Ziel hat, unbegründete Ängste gegenüber dem noch vergleichsweise unbekannten Technologiefeld (siehe auch den Beitrag von T. Fleischer in diesem Band) abzubauen sowie der nicht emotionale Umgang mit den heute noch weitgehend unbekannten Risiken und Gefahrenpotenzialen.

Literatur

Abicht, L.; Schlicht, E.; Schumann, U. (2005): Trendqualifikationen in der Nanotechnologie. II Eingehende Darstellung. Schlussbericht. Halle (Saale).

Bathelt, H. (1991): Schlüsseltechnologie-Industrien. Standortverhalten und Einfluss auf den regionalen Strukturwandel in den USA und in Kanada. Berlin [u. a.].

Beise-Zee, M. (2006): Die Lead-Market Strategie. Berlin.

Beise-Zee, M. (2001): Lead Markets. Country Specific Success Factors of the Global Diffusion of Innovation. Mannheim (=ZEW Economic Studies 14).

BMBF [Bundesministerium für Bildung und Forschung] (Hrsg.) (2004): Nanotechnologie erobert Märkte. Deutsche Zukunftsoffensive für Nanotechnologie. Berlin.

Boeing, N. (2004): Die Wahrheit über Nanotechnologie. In: Technology Review 5. S. 20-38.

Center for Economic Growth and the Lally School of Management and Technology (Hrsg.) (2004): Nanotechnology Sector Report. Technology Roadmap Project. Ohne Ort.

Collins, G. P. (2001): Visionäre des Nanokosmos. In: Sepktrum der Wissenschaft (Spezial: Nanotechnologie). S. 76-82.

Deutscher Bundestag (Hrsg.) (2004): Bericht des Ausschusses für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung (17. Ausschuss) gemäß § 56a der Geschäftsordnung. Technikfolgenabschätzung – hier: TA-Projekt – Nanotechnologie. Berlin (=BT-Drucksache 15/2713).

DG-Bank; GZ-Bank (Hrsg.) (2001): Im Fokus. Nanotechnologie in der Chemie. Frankfurt a. M.

Glauner, C., Malanowski, N., Werner, M., Henn, S., Bachmann, G., Zweck, A. (2006): Regionalstudie Nanotechnologie in Dresden. Düsseldorf (=Zukünftige Technologien 60).

Henn, S. (2006a): Evolution of Regional Clusters in Nanotechnology. Empirical Findings from Germany. Halle (Saale) (=Hallesche Diskussionsbeiträge zur Wirtschafts- und Sozialgeographie 7).

Henn, S. (2006b): Regionale Cluster in der Nanotechnologie. Entstehung, Eigenschaften, Handlungsempfehlungen. Frankfurt/M.

Henn, S. (2005): Regional Clusters in Nanotechnology: Evolution, Development, Political Options. In: Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): Nanofair 2005. New Ideas for Industry. 4th International Nanotechnology Symposium. Düsseldorf (=VDI-Bericht 1920). S. 281-286.

Krämer, M.; Helfgen, B. (2003): Ausbildung zum „Nanoingenieur“. In: VDI-Gesellschaft für Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (Hrsg.): Nanotechnik als Schlüsseltechnologie. Perspektiven und Anwendungen in Chemie, Pharma und Medizin. Düsseldorf (=VDI-Berichte 1772). S. 81-92.

Luther, W. (2003): Marktpotentiale in der Nanotechnologie. Wie aussagekräftig sind Marktzahlen und -prognosen? In: Venture Capital Magazin (November 2003). S. 27-29.

Luther, W.; Malanowksi, N. (2004): Das wirtschaftliche Potenzial der Nanotechnologie. In: Technikfolgenabschätzung. Theorie und Praxis 2 (13). S. 26-33.

Luther, W.; Malanowksi, N.; Bachmann, G. et al. (2004): Nanotechnologie als wirtschaftlicher Wachstumsmarkt. Innovations- und Technikanalyse. Düsseldorf (=Zukünftige Technologien 53).

Luther, W.; Malanowski, N; Zweck, A. (2005): Potentiale der Nanotechnologie für Wirtschaft, Umwelt und Gesellschaft. In: GAIA - Ecological Perspectives for Science and Society 14 (1). S. 18-20.

Mallmann, M. (2005): Weiterbildungs- und Fachkräftebedarf im Bereich des Nanobiotechnologieclusters NanoBioNet e. V. Eine Bedarfsanalyse in der Region Saarland-Rheinhessen-Pfalz im Rahmen des BMBF-Projekts CC-Nanobiotech in Kaiserslautern. Saarbrücken.

Roco, M. C.; Bainbridge, W. S. (Hrsg.) (2001): Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology. Arlington, Virginia (USA).

Stiller, O. (2005): Innovationsdynamik in der zweiten industriellen Revolution – Die Basisinnovation Nanotechnologie. Marburg. URL: http://deposit.d-nb.de/cgi-bin/dokserv?idn=978819047&dok_var=d1&dok_ext=pdf&filename=978819047.pdf, Abruf: 20.07.2006

Stinger, P. A.; Salamanca-Buentello, F.; Daar, A. S. (2005): Harnessing Nanotechnology to Improve Global Equity. In: Issues in Science and Technology online 21.4 (Spring 2005). URL: http://www.issues.org/21.4/singer.html, Abruf: 20.07.2006.

The Royal Society/The Royal Academy of Engineering (Hrsg.) (2004): Nanoscience and Nanotechnologies. Opportunities and Uncertainties. London.

Tichenor, P. J.; Donohue, G. A.; Olien, C. N. (1970): Mass Media Flow and Differential Growth in Knowledge. In: Public Opinion Quarterly 34 (2). S. 159-170.

Vanston, J.; Elliott, H. (2003): Nanotechnology. A Technology Forecast. Implications for Community & Technical Colleges in the State of Texas. Waco.

VDI-Gesellschaft für Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (Hrsg.) (2003): Nanotechnik als Schlüsseltechnologie. Perspektiven und Anwendungen in Chemie, Pharma und Medizin. Düsseldorf (=VDI-Berichte 1772).

Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.) (2005): Nanofair 2005. New Ideas for Industry. 4th International Nanotechnology Symposium. Düsseldorf (=VDI-Bericht 1920). S. 281-286.

Umgang mit Umwelt- und Gesundheitsrisiken

Torsten Fleischer

Umgang mit den möglichen Folgen der Nanotechnologien[1]

Von der Technikfolgenabschätzung zu neuen Schutz- und Gestaltungskonzepten?

Nanotechnologie

Nanotechnologie hat sich seit ca. zehn Jahren als Oberbegriff für eine Reihe avancierter Wissenschafts- und Technikrichtungen etabliert, deren Gemeinsamkeit darin besteht, gezielte Analyse und Manipulation in einer Größenordnung zu erlauben, die bislang menschlichem Zugriff verschlossen war: in der Nanometer-Dimension (der Größenordnung z. B. komplexer Moleküle). Nanotechnologie gilt als eine der Schlüsseltechnologien der Gegenwart mit einem großen antizipierten wirtschaftlichen und forschungsbezogenen Innovationspotenzial.

Diese Vielseitigkeit erklärt ihre – politische wie wirtschaftliche – Attraktivität, verführt(e) aber oft auch zu falschen Generalisierungen und überschießenden Visionen. Inzwischen liegen gründlichere und nüchternere Analysen, etwa zur Anwendung von Nanotechnologie im Medizinbereich, in der Energietechnik oder im Umweltschutz vor, die umfangreiche Potenziale aufzeigen.

Als hartnäckig schwierig erweisen sich dabei sowohl die Charakterisierung von wie vor allem auch die Kommunikation über Nanotechnologie. Dies liegt zum einen darin begründet, dass bis heute unbestimmt ist, was im Einzelnen unter Nanotechnologie verstanden werden soll – und was

---

[1] Das Manuskript greift in Teilen auf bereits erschienene Veröffentlichungen zurück, die entweder vom Autor allein oder gemeinsam mit Armin Grunwald bzw. Michael Decker erarbeitet wurden. Die inhaltliche Verantwortung für den vorliegenden Text liegt alleine beim Autor.

nicht. Eine im Wissenschaftsbereich allgemein akzeptierte Definition des Gebietes fehlt bislang, sie ist vielleicht auch gar nicht möglich.

Es handelt sich bei ‚Nanotechnologie‘ weder im engeren Sinne um eine spezifische Technik noch um eine abgrenzbare Gruppe von Techniken. Vielmehr umfasst der Begriff eine breite Palette von in Bezug auf Gegenstand, möglichen Anwendungsbereich und denkbaren Realisierungszeitraum höchst heterogenen Ansätzen.

Vieles ‚Nanotechnologie‘ genannte ist eher Resultat wissenschaftlicher Neugier, bei dem die technisch-wirtschaftliche Nutzbarkeit und mögliche Umsetzungen noch nicht einmal einigermaßen geklärt sind. Auch eine bislang kaum aufzufindende disziplinäre Identität und die zeitweise fast inflationäre Verwendung des Präfixes ‚nano’ als Avantgarde-Label in wirtschaftlichen und forschungspolitischen Zusammenhängen legen die Vermutung nahe, dass die bisherigen Aktivitäten wenig mehr eint als das Versprechen des technischen Zugriffs auf einen bislang für menschliche Aktivitäten kaum zugänglichen Größenbereich.

Eine zweite Herausforderung resultiert daraus, dass viele als ‚Nanotechnologie’ bezeichnete Techniken nicht als direkt anwendungsorientiert zu begreifen, sondern vielmehr einer Reihe von Querschnittstechnologien zuzuordnen sind. Diese können ihrerseits vielfältige Implikationen für andere Technikfelder mit sich bringen, für die sie die Rolle einer ‚enabling technology’, einer ‚ermöglichenden Technik’ spielen. Dies kann anhand des nachstehend dargestellten ‚Blasenmodells’ (Abb. 1) beschrieben und anhand einiger Beispiele verdeutlicht werden.

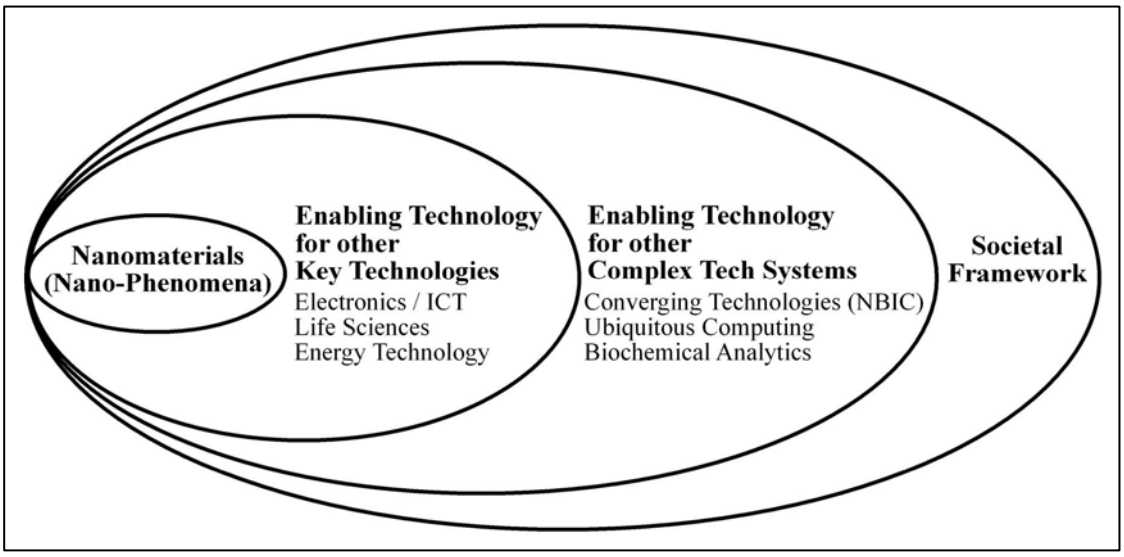


Abb. 1: Die verschiedenen Rollen von Nanotechnologie (Quelle: Eigene Darstellung)

Einer, vielleicht sogar der Kernbereich von 'Nanotechnologie' ist ihr tiefgreifender Einfluss auf die Welt der Materialien und Werkstoffe. Ent-

wicklung, Herstellung und Verarbeitung neuer Materialien und Werkstoffe haben herausragende Bedeutung für viele Technikfelder und Wirtschaftsbranchen. Bei mit Massen-Werkstoffen (etwa Stähle, Aluminium, Keramiken oder Baustoffe) verbundenen Techniken ist dies offenkundig. Aber auch Fortschritte bei Technologien, die nicht auf den ersten Blick mit neuen Werkstoffen in Verbindung gebracht werden, beruhen in erheblichem Maße auf neuen Werkstoffentwicklungen. So machen neue Funktionsmaterialien, z. B. Halbleitermaterialien für die Elektronik, die ihrerseits in neue Produkte etwa bei Information und Kommunikationstechniken integriert werden, neue technische Ansätze überhaupt erst möglich.

Eine wesentliche Motivation für Entwicklungsanstrengungen ist, dass die Verkleinerung von Materialstrukturen in den Nanometerbereich hinein häufig zu neuen, überraschenden Eigenschaften von Werkstoffen führt, die makroskopisch beim gleichen Material nicht auftreten. Durch den kontrollierten Aufbau von Materialstrukturen aus atomaren und molekularen Bausteinen lassen sich funktionale Eigenschaften gezielt einstellen. Besondere Relevanz hat dies für die Oberflächenbehandlung, da relativ dünne Schichten über wichtige Oberflächeneigenschaften entscheiden. Entscheidende Materialgrößen (Härte, Verschleißfestigkeit etc.) können durch die Einführung charakteristischer Strukturgrößen im Nanometerbereich gezielt verbessert werden.

Nanopartikel (Teilchen, die in einer oder mehreren Raumrichtungen kleiner als 100 Nanometer sind) lassen sich aus unterschiedlichsten organischen und anorganischen Materialien herstellen und werden für vielfältigste Anwendungen eingesetzt, etwa als Pigmente in Farben, als UV-Filter in Sonnenschutzcremes oder als Beimischung für moderne Autoreifen, aber auch als Marker in der medizinischen Diagnostik, zum Verkapseln von Pharmazeutika oder als Polierkörner in Schleifmitteln für die Elektronikfertigung.

Die direkte Nutzung von Nanomaterialien in Produkten für den Endverbraucher wird jedoch nur einen kleinen Teil ausmachen. Zu einem größeren Umfang werden Nanomaterialien und -techniken in Produkten oder Techniken eingesetzt werden, die ihrerseits erst Grundlage von neuen technischen Ansätzen, ggf. auch bei Schlüsseltechnologien wie der Elektronik oder der Biotechnologie sein könnten. Durch das ‚Eindringen' von Nanotechnologie in den Bereich der Materialien und Werkstoffe werden Innovations- und Substitutionsprozesse angestoßen, die in ihrer Reichweite bislang kaum überschaubar, aber von z. T. erheblicher technischer, wirtschaftlicher, ökologischer und sozialer Relevanz sind.

In der chemischen Industrie werden durch nanotechnologische Verfahren neue Materialien als Katalysatoren erschlossen (z. B. Gold-Nanopartikel), die gezielte Anpassung heterogener Katalysatoren für gewünschte

Reaktionen ermöglicht oder neue Synthesewege in der organischen Chemie eröffnet. Oberflächenaktive Membranen, nanoporöse (Bio)Filter und Adsorptionsmittel (an deren Oberfläche sich bestimmte Substanzen anreichern) sind aus nanotechnologischer Sicht optimierbar, z. B. zur Abwasseraufbereitung, Schadstoffbeseitigung und Nebenproduktabtrennung. Im Energiebereich könnte durch Leichtbau bei Fahrzeugen oder durch bessere Dämmmaterialien im Gebäudebereich eine Reduktion des Energieverbrauchs ohne Komfortverzicht erreicht werden. Einige moderne Solarzellenkonzepte können als nanotechnologisch betrachtet werden, gleiches gilt beispielsweise für Optimierungsansätze für die Membran in Niedrigtemperatur-Brennstoffzellen. Wesentliche Eigenschaftsverbesserungen sind auch bei Baustoffen (z. B. Hochleistungsbetone) durch Beimischen von Nano-Zusatzstoffen möglich. Weitere Beispiele sind quasi ‚selbstreinigende' Oberflächen, die gleichzeitig wasser- und ölabweisende Eigenschaften zeigen, oder Entspiegelungen von Oberflächen, etwa für Fassaden oder Solarzellen. Hochtemperaturfeste Werkstoffe würden die Effizienz der konventionellen Energiewandlung weiter verbessern helfen.

Im Elektronikbereich, dessen Zugehörigkeit zur ‚Nanotechnologie' nicht ganz unumstritten ist, findet die Strukturierung von klassischen Elektronikmaterialien bereits unterhalb von 100 nm statt. Es werden neue Materialien (z. B. für die Polymer- oder Molekularelektronik) sowie ggf. ihre Verbindung mit ‚klassischen' Elektronikmaterialien sowie neue – konventionelle oder neue Materialien nutzende – Konzepte für Komponenten (z. B. für nichtflüchtige Speichersysteme, neue Anzeigesysteme oder neue Ansätze für Informationsverarbeitung und -übertragung) entwickelt. Das Interesse gilt darüber hinaus neuartigen Sensoren (optisch, biologisch, chemisch, ...) und Wandlern, neuen – kostengünstigeren oder präziseren – Verfahren für die Herstellung von Elektronik-Strukturen und einer Verbesserung der Aufbau- und Verbindungstechnik.

Die ‚Wirkung' von Nanotechnologie kann aber noch weiter reichen. Neue Elektronikkonzepte, neue Informations- und Kommunikationstechniken oder Entwicklungen in den Biotechniken und ihre Verknüpfungen – teilweise möglich gemacht durch Fortschritte in den Nanotechniken – sind technische Grundlage von komplexeren Ansätzen. Als Beispiele zu nennen sind hier etwa die ‚allgegenwärtige Informationsverarbeitung', besser bekannt unter den englischen Bezeichnungen ‚ubiquitous computing' oder ‚pervasive computing', oder Systeme für die integrierte biochemische Analytik, etwa für eine patientennahe Diagnostik. Solche Techniken versprechen beträchtliche wirtschaftliche Potenziale, werfen aber auch erhebliche Fragestellungen in Bezug auf ihre nichttechnischen Implikationen auf. Einige davon wurden bzw. werden bereits im Rahmen von TA-Studien diskutiert, andere bisher kaum betrachtet.

Für die öffentliche Wahrnehmung von Nanotechnologie kann dies insofern relevant werden, als die genannten Systeme und die dadurch entstehenden oder erwarteten Nutzen(potenziale) in Präsentationen von Wissenschaftlern, Darstellungen von Unternehmen und Medienberichten oft mit Nanotechnologie in Zusammenhang gebracht, als beispielgebende Anwendungen vorgestellt werden. In Diskussionen über mit ihrer Nutzung möglicherweise ebenfalls verbundenen ethischen Fragestellungen oder sozialen Konsequenten wird dieser Bezug dann nicht selten verneint, die verantwortliche Rolle anderen an der Technikentwicklung beteiligten Disziplinen zugewiesen, eine Diskussion derartiger Folgen im Kontext von ‚Nanotechnologie' oft abgelehnt. Bei einer solchen argumentativen Asymmetrie ist das Entstehen von Unheilsvermutungen und Misstrauen, von dystopischen Phantasien und Ablehnung eigentlich nicht weiter verwunderlich.

Die wohl weitreichendste Vision zur Rolle von Nanotechnologie wurde Anfang des Jahrzehnts in den USA vorgestellt. Dort wurden unter den Überschriften ‚konvergierende Techniken', Converging Technologies (CT) oder NBIC (nano-bio-info-cogno) convergence Ansätze zur technischen Wiederherstellung oder Verbesserung motorischer, sensorischer oder kognitiver Fähigkeiten des Menschen diskutiert und untersucht (Abb. 2).

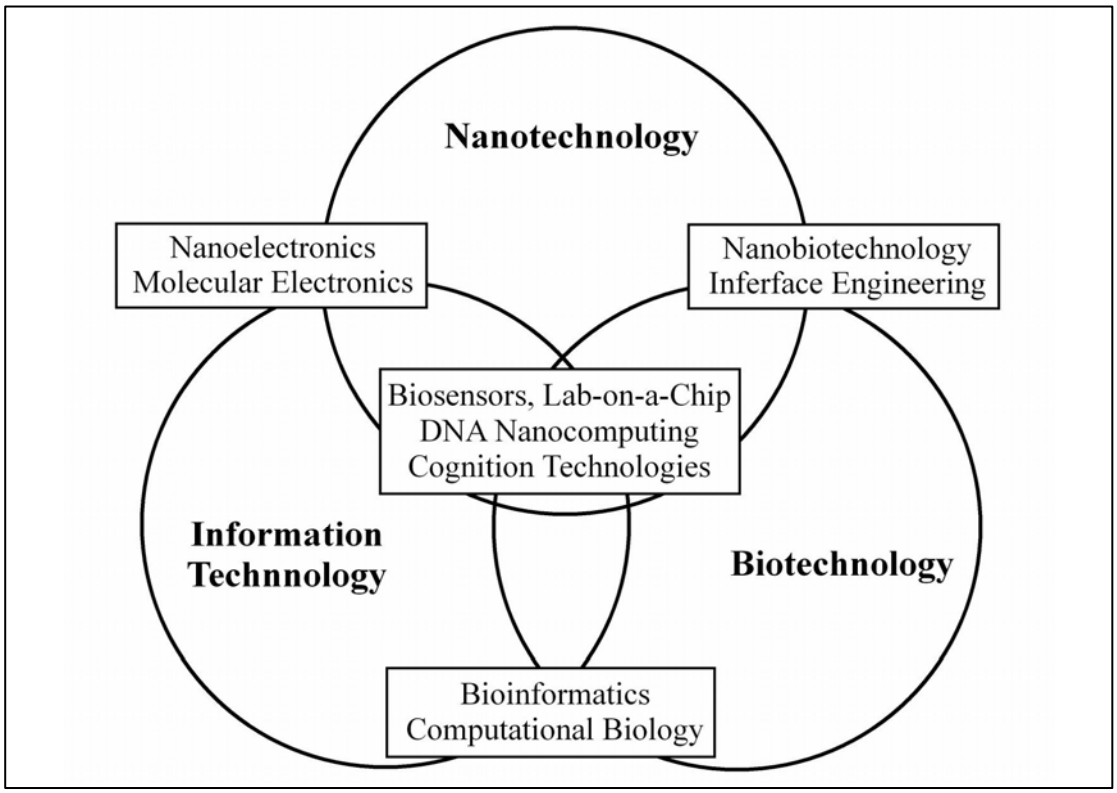


Abb. 2: Nanotechnologie als Komponente ‚konvergierender Techniken'
(Quelle: Eigene Darstellung)

Insbesondere durch die synergistische Kombination emergenter Nano-, Bio- und Informationstechniken mit den Erkenntnissen der Kognitionswissenschaften erschlössen sich technische Ansätze, bislang biologisch begrenzte Fähigkeiten des Menschen erweitern und verbessern zu können. Sollte sich diese bisher noch des Beweises harrende These der Protagonisten als tragfähig erweisen, wäre der Diskussion um die Fragilität des Individuums infolge biologischer Interventionsmöglichkeiten im Zuge der Erkenntnisse und Umsetzungsbestrebungen der Life Sciences eine um seine Fragilität durch Modifikation mittels technischer Artefakte hinzufügen.

Besonders deutlich wird dies im Bericht zu einem Workshop im Dezember 2001, der von der National Science Foundation (NSF) und dem US-Handelsministerium organisiert wurde und den Titel ‚Converging Technologies for Improving Human Performance' trug. Die Ergebnisse des Workshops und Beiträge von Teilnehmern wurden im Juni 2002 in einem Bericht gleichen Titels publiziert. Dieser beinhaltet eine Definition, die zugleich Einblicke in die unterliegende Ideologie gestattet, in der der Nanotechnologie und ihren Ergebnissen eine entscheidende Rolle für die Verwirklichung des Zieles zukommt:

> "The phrase 'convergent technologies' refers to the synergistic combination of four major 'NBIC' (Nano-Bio-Info-Cogno) provinces of science and technology, each of which is currently progressing at a rapid rate: (a) nanoscience and nanotechnology; (b) biotechnology and biomedicine, including genetic engineering; (c) information technology, including advanced computing and communications; (d) cognitive science, including cognitive neuroscience. … Convergence of diverse technologies is based on material unity at the nanoscale and technology integration from that scale. … Developments in system approach, mathematics and computation in conjunction with NBIC allow us for the first time to understand the natural world and scientific research as closely coupled complex, hierarchical systems. At this unique moment in the history of technical achievement, improvement of human performance through integration of technologies becomes possible."

Sowohl der Gegenstand selbst als auch der Inhalt des Berichts lösten schnell Reaktionen von den Technology Assessment- und Foresight-Communities wie auch von nationalen FuE-Politiken aus. Zahlreiche andere Studien setzen sich mit ihm auseinander.

Das Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag charakterisiert den US-Ansatz als sehr futuristisch, offen für die Ideen „visionärer Ingenieure" (wie etwa Ray Kurzweil) und nahe an Denkgebäuden

des „Transhumanismus“. Die britischen Wissenschaftsorganisationen Royal Society und Royal Academy of Engineering kritisieren das Vermengen von “science and science fiction” wie auch, dass er eine beunruhigende Unbekümmertheit in Bezug auf problematische Aspekte der “Verbesserung” der menschlichen Leistungsfähigkeit zeige, die letztendlich zu einer „menschlich verarmten Schönen Neuen Welt“ führen könnten. Das vom kanadischen Nationalen Forschungsrat initiierte Science and Technology Foresight Pilot Project setzt sich unter der Überschrift „Bio-Systemics“ mit dem Thema auseinander. Eine von der Forschungsdirektion der Europäischen Kommission eingesetzte hochrangige Expertengruppe ‚Foresighting the New Technology Wave’ präsentiert im September 2004 ihren Abschlussbericht mit dem Titel „Converging Technologies – Shaping the Future of European Societies“, der sich um die Entwicklung einer spezifisch europäischen Perspektive auf CT bemüht, wobei er aber die eigene Vision und die Diskussion der möglichen europäischen und nationalen Handlungsspielräume weitgehend schuldig bleibt. Zugleich betont er stärker die Rolle des Sozialen bei der Zieldefinition von CT.

Den gegenwärtigen Stand der Diskussion zu CT umfassend zu referieren, würde hier den Rahmen sprengen, die technische Dimension und Folgenaspekte sollen aber nachstehend kurz illustriert werden.

Eine – vielleicht die – entscheidende Rolle im Rahmen von NBIC kommt den ‚Neurotechniken’ zu. Diese stellen das zentrale Bindeglied zwischen den drei Technikfeldern Nano-, Bio- und Informationstechnik auf der einen Seite und den Kognitionswissenschaften auf der anderen Seite dar. Für funktionale neurotechnische Systeme ist eine Integration von Wissen und Fähigkeiten aus der Nanotechnologie (als eine Art avancierte Materialwissenschaft), Biotechniken und Techniken der Informationsgewinnung, -übertragung, -verarbeitung und -speicherung anzunehmen. Nano- und Biotechnologie werden als die antreibenden Kräfte der materiellen Umsetzung sowie des technischen ‚Anschlusses’ von Artefakt und Nervensystem gesehen. Von den Kognitionswissenschaften wird erwartet, Prozesse des Erkennens, Wahrnehmens, Fühlens … zu analysieren, zu interpretieren und zu denen ihnen unterliegenden materiellen Prozessen in Beziehung zu setzen. In aktuellen Entwicklungen werden hierzu erste Versuche unternommen. Eine Übersicht über solche technischen Ansätze gibt nachstehende Tabelle (Tab. 1):

Technische und konzeptionelle Ansätze	*Zuordnung*
Biosensors under the skin or ingested for diagnosis, therapeutics, prognosis and monitoring of treatment implanted	[NBI]
Brain-machine interaction and neuromorphic engineering	[NBIC]
Brain simulation	[NBC]I?
Improving sensorial capacities and expanding sensorial functions	[NBIC]
Intelligent artificial noses (diagnosis of disease, fast detection of microbes)	[NBI]
Intelligent drug delivery	[NBI]
Memory Improvement and restitution, metabolic enhancement	[NBC]I?
Prosthetic vision/hearing	[NBC]I?
Regenerative medicine	[NBIC]
Telemedicine: monitoring, diagnosis and treatment	[NBIC]

Tab. 1: NBIC/CT am Menschen (Auswahl) (N=Nanotechnology, B=Biotechnology, I=Informatics and C=Cognitive Science) (Quelle: Europäische Kommission 2004, S. 15ff., modifiziert und ergänzt)

Die technische Realisierbarkeit dieser Visionen im Einzelnen zu bewerten, ist eine reizvolle TA-Aufgabe für die Zukunft. Generell lässt sich aber festhalten, dass es noch viele Zweifel in Bezug auf die technische Machbarkeit der vorgestellten Anwendungsvisionen gibt. Wenngleich Wissenschaft und Technik in vielen NBIC-Feldern in den letzten Jahren enorme Fortschritte gemacht haben, so sind doch viele der unterliegenden natürlichen Prozesse bis hin in ihre Grundlagen noch nicht ausreichend verstanden. Unstreitig ist, dass es erheblichen Klärungsbedarf in Bezug auf die Möglichkeiten, Herausforderungen und Grenzen für CT gibt. A prima vista scheint es jedoch so zu sein, dass die Konjunktur von ‚NBIC' als eine ‚technische Resonanz' eines allgemeineren Trends, dem des Verwischens der Grenze zwischen Natur und Technik, gesehen werden kann.

Auf der einen Seite dringen medizinische Forschung und Medizintechnik immer tiefer in die physiologischen Prozessen unterliegende Biochemie und -physik ein. Diese grundlegenden Lebensprozesse spielen sich im Nanomaßstab ab, wesentliche Bausteine haben diese Größenordnung. Zugleich ermöglichen Fortschritte bei den Nanotechniken einen verbesserten analytischen Zugang zur Nanowelt, so dass – unterstützt durch Nanotechnologie – biologische Prozesse und Systeme zunehmend detaillierter analysierbar und in der Folge besser verstanden und möglicherweise auch imitierbar, kontrollierbar oder gar manipulierbar werden. Solche Entwicklungen dienen zunächst primär therapeutischen Zielen und werden deshalb in der Regel kaum oder gar nicht kontrovers diskutiert. Man

kann jedoch erwarten, dass – sollten entsprechende Techniken zu medizinischen Zwecken eingeführt und erprobt sein – auch andere Anwendungsmöglichkeiten untersucht und gegebenenfalls umgesetzt werden. Ein Treiber könnten sicherheitsrelevante Anwendungen sein, bei denen man sich Vorteile aus der Erweiterung der Wahrnehmungsmöglichkeiten oder durch eine ‚Verbesserung' der kognitiven Leistungsfähigkeit des Personals erhofft. Im Zuge der fortschreitenden Ökonomisierung von Gesundheitssystem und medizinischen ‚Dienstleistern' sowie erkennbarer gesellschaftlicher Trends hin zu wachsender Individualisierung und einem sich weiter ausprägenden sozialen Wettbewerb könnten auch ‚Lifestyle'-Anwendungen eine große Rolle spielen.

Zu diskutieren wäre also, was sich an weitergehenden neuen Fragen stellte, welche ethischen und sozialen Aspekte zu analysieren wären sowie welche Folgen für den Bedarf an wissenschaftlicher Forschung entstünden. Viele der hier diskutierten Ansätze und Argumente sind nicht ganz neu, sie sind aus früheren Debatten um künstliche Intelligenz, Robotik oder ‚Cyborgs' wohl vertraut. Zudem finden sich viele Anknüpfungspunkte und Überlappungen zu aktuellen bioethischen Diskussionen.

Andererseits würden die in Zusammenhang mit Converging Technologies diskutierten Techniken für viele dieser Diskussionen einen technischen Qualitätssprung darstellen, so dass diese Diskussionen ‚aus aktuellem Anlass' wieder aufgenommen werden müssen. Einige in Stichpunkten: Grenzen der Technisierung des Menschen? Forschung zur ‚Verbesserung' des ‚Mängelwesens' Mensch? Ziehen einer Grenze zwischen Menschen und ‚Nicht-Menschen'? Verteilungsgerechtigkeit? Haftung bei Fehlverhalten? Vorbeugung gegen Missbrauch? Wechselwirkung biologischer Instabilität mit den Funktionen technischer Geräte?

Technikfolgenabschätzungen zu Nanotechnologie

Dieser längere Exkurs sollte unter anderem deutlich machen, dass die Frage nach den Folgen der Nanotechnologie weder zu beantworten noch überhaupt sinnvoll zu stellen ist. In ihrer Doppelbeschreibung als 'emerging technology' – es gibt kaum marktgängige Produkte oder Verfahren, zugleich aber vielfältige Produktideen und Anwendungsvisionen mit unterschiedlichen Zeithorizonten – und als 'enabling technology' – unmittelbare Nano-Produkte spielen nur eine untergeordnete Rolle, typischerweise ist Nano eine (nicht selten entscheidende) Komponente von technischen Systemen unterschiedlicher Größenordnung, Komplexität und Rolle – entzieht sich Nanotechnologie einer einfachen Charakterisierung. Fehlende Definition und Nomenklatur tun hierzu ein Übriges. Für Analysen und

Folgendiskussionen sind deshalb vielmehr differenzierte und detaillierte Untersuchungen notwendig, bei denen dem Framing eine entscheidende Rolle zukommt.

Da sich hinter Nanotechnologie zahlreiche junge hochdynamische Entwicklungen verbergen, sind zudem neue konzeptionelle Ansätze gefragt, die Gestaltung unter Hilfestellung von Technikfolgenabschätzung nicht als ein Planen auf ein festgelegtes Ziel hin, sondern als einen ständigen Prozess unter maximalem Einsatz von gesellschaftlichen Dialogen und Lernprozessen verstehen und ermöglichen.

Im Rahmen von Technikfolgenabschätzungen zu abschließenden Bewertungen über emergente Techniken kommen zu wollen, ist aus erkenntnis- und wissenschaftstheoretischen Überlegungen heraus ins Reich des Illusorischen zu verweisen. Oftmals ist ex ante nicht hinreichend bekannt, welche Folgen zur Diskussion stehende Techniken im Detail haben werden, ob nichtintendierte Nebenfolgen in Betracht zu ziehen sind und wie gravierend diese sind. Technikfolgenabschätzungen können aber kontextabhängige, vorläufige und der Weiterentwicklung durch gesellschaftliche Lernprozesse gegenüber offene Einschätzungen über Schritte in einer Koevolution von Gesellschaft und Technik auf dem Weg in die Zukunft geben. Wie diese Schritte ausfallen, in welcher Weise ein Lernen durch Wissenszuwachs, durch neue Erkenntnisse über Technikfolgen, durch eine Annäherung von Schlüsseltechnologien an die Marktreife in bestimmten Produkten und damit eine bessere Einschätzbarkeit der Anwendungssituation oder durch eine bessere Absehbarkeit der relevanten Rahmenbedingungen und Regulierungen erfolgen kann, hängt dabei stark von den spezifischen Kontexten einer Technikentwicklung, vom Stadium ihrer Entwicklung, von den potenziellen Anwendungsfeldern und ihrer eigenen Dynamik ab.

Für die Umsetzung dieser Ziele sind zahlreiche, zum Teil für die TA-Praxis neue, zum Teil modifizierte Konzepte für Technikfolgenabschätzungen vorgestellt wurden. Einige davon wurden bereits angewandt, andere haben den Beweis ihrer Leistungsfähigkeit noch zu erbringen. Ausgewählte, für Untersuchungen im Nanotechnologie-Kontext stark diskutierte Ansätze[2] sind – versehen mit dem Versuch einer kurzen Charakterisierung sowie ihrer antizipierten bzw. gefundenen Grenzen – in nachstehender Tabelle (Tab. 2) aufgeführt.

[2] Für eine detaillierte Diskussion muss an dieser Stelle auf die einschlägige Literatur zur Technikfolgenabschätzung verwiesen werden.

Entwicklungsbegleitende TA / 'Real-Time TA'	• Kontinuierliche kooperative Begleitung von Handelnden im Forschungs- und Entwicklungsprozess, Entscheidungsunterstützung, Reflexion • Ressource 'Zeit'? Vertrauen? Interessenkonflikte?
Nachhaltigkeitsbewertung	• Nachhaltigkeit = Normativer Rahmen für Bewertung in TA-Prozessen • Gesellschaftliche Akzeptanz? Festlegung von Indikatoren? Wertkonflikte?
Vision Assessment	• Analyse des kognitiven Gehalts von Visionen sowie ihrer Rolle für Zielfindungen im FuE-Prozess und der gesellschaftlichen Diskussion zu FuT • Relevanz von Leitbildern? Handlungsbezug? Ambivalenz von visionären Diskursen in der Wissenschaftskommunikation (Faszination vs. Furcht)?
Partizipative Verfahren	• Einflussnahme nicht routinemäßig Beteiligter bei Entscheidungsverfahren • Legitimation / Repräsentativität? Engagement? Verbindlichkeit?
Upstream Engagement	• Gesellschaftliche Verständigung über Ziele und Governance von FuT im Prozess; Identifikation von Sensibilitäten, Nichtwissen, Konflikten

Tab. 2: Neue konzeptionelle Ansätze in Technikfolgenabschätzungen zur Nanotechnologie – Zielsetzungen und offene Fragen (Quelle: Eigene Darstellung)

Gemeinsam ist ihnen, die Gestaltung von Technik als einen ständigen Lernprozess zu verstehen, in dem über Gestaltungsziele und Realisierungsoptionen diskutiert wird, in den wissenschaftliches Wissen und ethische Orientierungen eingehen, und in dem sich Entwicklungsziele für Techniken allmählich, Schritt für Schritt, herausbilden. Technikfolgenabschätzung ist in dieser Weise ein Medium des Lernens, in dem die Technikentwicklung, die Nutzung von Technik und die Entwicklung der entsprechenden gesellschaftlichen Rahmenbedingungen analysiert sowie kritisch und konstruktiv begleitet werden.

Nanotechnologie und Öffentlichkeit

Abschließend noch einige Worte zur öffentlichen Wahrnehmung von und Kommunikation über Nanotechnologie. Die Öffentlichkeit begegnet Nanotechnologie im Grunde auf drei Wegen: über Produkte für Endkunden, die manchmal tatsächlich Nanotechnologie-Bezug haben, manchmal nur als ‚nano' beworben werden; über Medienberichterstattung und Sachbücher sowie in Reflexionen über Nanotechnologie in der Populärkultur, etwa in Filmen oder Romanen. In den letzten Jahren sind in allen drei Gebieten erhebliche Zuwächse an ‚Nanotechnologie-Präsenz' zu verzeich-

nen. Man kann mithin fragen, wie das gegenwärtige Bild, das die allgemeine Öffentlichkeit hat, aussieht. Das empirische Material ist nicht sehr umfangreich, dennoch lassen sich einige Trendaussagen treffen.

In einer Anfang 2005 durchgeführten Eurobarometer-Umfrage in allen 25 Mitgliedstaaten der Europäischen Union sowie weiteren europäischen Ländern wurden Bürger nach ihren Ansichten zu Wissenschaft und Technik befragt. Etwa 80 % äußerten, dass sie sehr oder durchschnittlich an Innovationen und wissenschaftlichen Entdeckungen interessiert seien. Daraufhin gebeten, ihre wichtigsten Interessensgebiete zu bezeichnen, nannten mehr als 60 % Medizin- und rund 45 % Umweltthemen, gefolgt von Internet, Wirtschaftsfragen und Geisteswissenschaften. Zwischen den Ergebnissen für die EU25 und den Zahlen für Deutschland gibt es nur geringfügige Abweichungen. Nanotechnologie landete mit 11 % (EU25: 8 %) auf dem letzten Platz der möglichen Antworten. Auch bei der Frage nach Techniken, von denen in den nächsten 20 Jahren positive Effekte auf unseren Lebensstil erwartet werden, könnte sich Nanotechnologie nur im letzten Drittel platzieren. Detailliertere Länderstudien in den USA, Großbritannien und Deutschland liefern ein ähnliches Bild: Etwa 30 % der Befragten hatten schon etwas von Nanotechnologie gehört, zwischen 10 und 20 % hatten konkretere Vorstellungen.

All dies legt den Schluss nahe, dass die überwiegende Mehrheit der allgemeinen Öffentlichkeit gegenwärtig nicht an Nanotechnologie interessiert ist oder sie ignoriert. Wenn überhaupt, nehmen die Bürger Nanotechnologie eher als unscharfes oder unspezifisches Konzept wahr, ihre Einschätzungen zu Möglichkeiten und Risiken von Nanotechnologie entsprechen in etwa ihren Erwartungen zu Wissenschaft und Technik allgemein, so dass Nanotechnologie gegenwärtig als ‚No attitudes'-Technologie beschrieben werden kann. Andererseits haben einige Medien und NGOs das Thema stärker aufgegriffen, wobei drei Diskussionsstränge zu beobachten sind:

- *Unbekannte Materialeigenschaften (vor allem von Nanopartikeln) und ihre Auswirkungen auf Mensch und Umwelt*: Auch wenn diese Materialgruppen einige Besonderheiten (u. a. Fragen der Charakterisierung, der Nomenklatur, der Messtechnik) aufweisen, scheint aus heutiger Sicht das mögliche Risikomanagement strukturell vergleichbar zu 'konventionellen' Chemikalien zu sein. Somit ist zu klären, inwieweit es durch Instrumente ‘klassischer’ Regulierungspolitik geregelt werden kann, und wo neue Ansätze notwendig sein könnten.
- *Folgen von NT-ermöglichten Technologien:* Damit verbundene Fragestellungen sind aus Diskussionen beispielsweise über IT (Privatsphäre, Überwachung) oder Medizin (Biopolitik, Neuroethik) in Teilen be-

kannt, entsprechend adaptierte TA könnte hier weitere Einsichten liefern.

- *NT als weiterer Repräsentant für 'Risikotechniken' in generellen STS-Debatten:* Hier werden grundsätzliche Fragen der gesellschaftlichen Steuerung von Wissenschaft, des Vertrauens in Wissenschaft(ler), des (als fehlend wahrgenommenen) Einflusses auf die FuT-Politik und ähnliches am Beispiel von Nanotechnologie neu aufgeworfen.

Die reflexive Forschung unterscheidet zwischen diesen Ebenen, viele Nano-Forscher, Politiker und Medien nicht. Gerade weil Nanotechnologie aufgrund ihres Mangels an Spezifizität anfällig für (irreführende) Analogien und falsche Verallgemeinerungen ist, kommt einer differenzierten Diskussion hier eine hohe Bedeutung zu, will man nicht riskieren, die öffentliche Wahrnehmung von – und Haltung zu – Nanotechnologie in einer Weise zu prägen, die ihren tatsächlichen Potenzialen und Risiken nicht adäquat Rechnung trägt.

Literatur

Europäische Kommission (Hrsg.) (2004): Foresighting the New Technology Wave SIG I – Quality of Life. Ergebnisse der Tagung 'Converging Technologies for a Diverse Europe', 14.-15. September, Brüssel. Ohne Ort.

Harald F. Krug

Gibt es Gefährdungen oder Risiken durch Nanopartikel?

Die ‚Nanotechnologie' gilt allgemein als eine der Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts. Mit dieser Technologie verbinden sich viele Hoffnungen, sowohl der Wirtschaft als auch der Nutzer, aber es werden auch eine Reihe von Befürchtungen bzw. Vorbehalten geäußert. Solche Vorbehalte sind nicht unwesentlich auch auf die teilweise schlechten Erfahrungen mit anderen Technologien zurückzuführen, da von ihnen neben den erhofften Vorteilen auch Risiken und Gefahren gesundheitlicher, sicherheitstechnischer oder auch gesellschaftlicher Art ausgingen (Krug et al. 2004). So werden die möglichen Gefahren der Nanotechnologie mittlerweile nicht nur in *Science-Fiction* Romanen thematisiert, sondern auch von verschiedenen Interessengruppen problematisiert. ‚Zu Recht?', lautet hier die Frage. Wirtschaftliche und wissenschaftliche Innovationen sind ohne jedes Risiko nicht realisierbar. Entscheidend sind jedoch die Kenntnis und die zufriedenstellende Beherrschung der Risiken sowie eine Risiko/Nutzenabwägung, die sich an den Interessen der Gesellschaft und der Individuen orientiert. Im Zusammenhang mit der Nanotechnologie und dem Umgang mit Nanomaterialien stehen momentan vor allem mögliche gesundheitliche Risiken im Vordergrund (Krug 2003). Ist ein solches Gefährdungspotenzial tatsächlich vorhanden und ist es derzeit kalkulierbar? Können die Risiken soweit aufgeklärt werden, dass diese tatsächlich von der Gesellschaft akzeptierbar sind? Im Folgenden werden wichtige Gesichtspunkte gesundheitlicher Aspekte von Nanopartikeln erläutert.

Wie ‚neu' sind Nanopartikel?

Von der Möglichkeit, technisch ultrafeine Partikel herzustellen, geht nicht gleichzeitig eine völlig neue Exposition des Menschen gegenüber solchen sehr kleinen Teilchen, z. B. in der Atemluft, aus. Lange bevor wir mit neuen Technologien in den Nanobereich vordringen konnten, waren wir bereits kleinsten Partikeln ausgesetzt. Denn bei jedem Waldbrand oder anderen Verbrennungsprozessen, bei jedem Vulkanausbruch und bei allen mechanischen Vorgängen werden nicht nur die sichtbaren Stäube und Rußpartikel in die Atmosphäre abgegeben, sondern auch beachtliche Mengen an feinen (< 2,5 µm) und ultrafeinen (< 100 nm) Stäuben erzeugt. Eine Exposition gegenüber einem Gemisch aus Grob-, Fein- und Ultrafeinstaub ist somit schon lange gegeben und auch als gesundheitlich nachteilig bekannt. An Arbeitsplätzen mit berufsbedingter Exposition (in der BRD ca. 6 Mio.) treten auch häufiger entsprechende Erkrankungen auf; bei Bergleuten beispielsweise die Pneumokoniose nach Inhalation quarzhaltiger Stäube.

Feine und ultrafeine Partikel in der Umgebungsluft, die nicht natürlichen Ursprunges sind, stammen derzeit in den meisten Fällen aus

1. technischen Verbrennungsprozessen aller Art,
2. dem Straßenverkehr (Dieselruß, Katalysatorausstoß, Abrieb von Reifen, Kupplungen und Bremsen),
3. dem häuslichen Bereich, z. B. aus Kerzenbrand,
4. Küchentätigkeiten, wie Kochen, Braten und Grillen,
5. Zigarettenrauch.

In Deutschland ging in jüngster Zeit zwar die Gesamtbelastung der Luft durch Stäube zurück (auf die Masse bezogen), die Partikelanzahl (N/m³) nahm jedoch zu (vor allem der Anteil der ultrafeinen Partikel trägt dazu bei). Für die nachgewiesenen Partikel sind auch die Quellen bekannt: Verbrennungsprozesse und Straßenverkehr haben den größten Anteil an der Gesamtschwebstaubfraktion. Gerade die kleinsten Partikel aber zeichnen sich durch eine erheblich größere Oberfläche im Verhältnis zum Volumen und zur Masse aus. Bei gleicher Masse wird dies besonders deutlich: die Oberfläche und besonders die Anzahl der Partikel steigen enorm an, wenn die Größe reduziert wird[1]. Hieraus leiteten sich im Wesentlichen zwei Hypothesen ab: wird die Anzahl größerer Partikel erniedrigt, können die kleineren Partikel seltener durch Koagulation mit großen Partikeln

[1] Partikel mit einem Durchmesser von 10 nm besitzen gegenüber Partikeln mit einem Durchmesser von 1 µm bei gleicher Masse eine mehr als 300 mal größere Oberfläche, ihre Anzahl steigt bei gleicher Masse auf das eine Millionfache.

beseitigt werden und sie bleiben länger stabil; Partikel werden mit abnehmender Größe immer toxischer, da ihre Oberfläche katalytisch wirksam ist und unerwünschte Reaktionen auslöst. Beide Hypothesen sind nach wie vor noch nicht stichhaltig bewiesen, und werden teils kontrovers diskutiert (Warheit et al. 2006; Wottrich et al. 2004; Zhang et al. 2003; Oberdörster 2001; Oberdörster et al. 2000).

Alle diese Studien betreffen Umweltbelastungen durch Verbrennungs- und Verarbeitungsprozesse. Wie anfangs jedoch erwähnt, mehren sich auch Vorbehalte gegenüber den industriell genutzten Nanopartikeln. Diese werden in einer ganzen Reihe von Produkten schon seit geraumer Zeit eingesetzt, dazu gehören:

1. Cremes/Pasten/Kosmetika/Zahnpasta,
2. Drucker/Kopierer,
3. Sonnenschutz,
4. Farben/Lacke/Kleber u. v. m.,
5. Autoreifen,
6. Nahrungsmitteladditiva,
7. Oberflächenimprägnierung.

Nanopartikel sind somit neben den ungewollt in die Umwelt entlassenen Partikeln ebenfalls eine mögliche Expositionsquelle schon während der Herstellung und Verarbeitung dieser Produkte. Folgende Fragen werden dadurch aufgeworfen: Geht mit Produkten auf Basis von Nanopartikeln eine nachweisbare Exposition für den Menschen bei Herstellung, Gebrauch oder Entsorgung einher? Auf welchen Wegen erfolgt diese Exposition? Wo verbleiben letztlich die Nanopartikel und ist mit diesen ein unzumutbares Risiko verbunden? Für die kleinsten Partikel in der Atemluft wurde geäußert, dass „ultrafeine Partikel (Durchmesser < 0,1µm) in ihrer Konzentration in der Atemluft eher zugenommen haben“, sowie dass „die Wirkungen auf Herz-Kreislauf-Systeme und auf das autonome Nervensystem möglicherweise extrem relevant für Personen mit entsprechenden Vorerkrankungen sind“ und „die Exposition gegenüber höheren Konzentrationen zu einer Verkürzung der Lebenserwartung bis zu zwei Jahren führen kann“ (Eikmann und Seitz 2002, S. 63). Bei der Anwendung von Produkten, die Nanopartikel enthalten, sind solche Daten bisher epidemiologisch noch nicht erfasst worden, da es kaum Hinweise für mögliche gesundheitsbeeinträchtigende Wirkungen gibt. Außerdem ist bei Produkten wie Cremes, Farben und Sonnenschutz nicht immer die Lunge betroffen, und ein Produkt, das Nanopartikel enthält oder daraus gebildet wurde, emittiert nicht automatisch wieder solche in die Umgebung. Daher lassen sich die epidemiologischen Studien zur Luftverunreinigung auch nicht

ohne weiteres auf andere Formen der Exposition übertragen. Die Exposition über die Lunge durch inhalierbare Stäube ist aber sicherlich der maßgebliche Weg; er gilt für die meisten gesundheitlich relevanten Wirkungen ultrafeiner Stäube bzw. Partikel (Oberdörster 2001) und somit auch für technisch erzeugte Nanoteilchen.

Neue Materialien – Neue Risiken?

Neue Technologien sind nicht ohne einhergehende Risiken zu entwickeln. Immer werden mit der Produktion neuer Materialien oder der Etablierung ganzer Technologiezweige auch entsprechende schädliche Wirkungen einhergehen. Die Frage, die sich hier allerdings stellt, betrifft die Akzeptanz der damit verbundenen Risiken. Sind die möglichen negativen Folgen vom Individuum oder von der Gesellschaft akzeptabel, so wird sich eine neue Technologie durchsetzen, dabei muss vor allem der Vorteil bzw. auch der Nutzen deutlich werden. Das Risiko ergibt sich durch den einfachen Zusammenhang zwischen einer Exposition, also dem Ausgesetztsein gegenüber den neuen Materialien oder neuen Techniken, und einem biologischen Effekt, der möglicherweise negative Folgen für ein Organ, den gesamten Organismus oder ein Ökosystem mit sich bringt. Nur wenn beide Punkte erfüllt sind, also eine Exposition vorliegt und ein negativer Effekt damit einhergeht, ist ein Risiko vorhanden. Daher ist es an erster Stelle notwendig, die eventuell vorhandenen Expositionen durch entsprechende Messungen zu erfassen und die biologischen Wirkungen nachzuweisen. Die große Herausforderung für uns Toxikologen besteht nun darin, das Hauptaugenmerk nicht auf die Erforschung der gewünschten Effekte der neuen Materialien zu legen, sondern vor allem auch die unerwünschten Effekte, also die möglichen Nachteile, die mit dieser Technologie verbunden sind, zu erforschen. Noch sind wir nicht wirklich auf dem Stand, von einer echten ‚Nanotechnologie' zu sprechen, sondern nach wie vor handelt es sich um Nanowissenschaften, die noch dabei sind, Eigenschaften und Anwendungen zu erforschen, aber schleichend und nahezu unbemerkt hat sich die Anwendung einiger Nanoteilchen bereits in der Gesellschaft etabliert. Das sind nicht unbedingt solche Anwendungen, die unter den Begriff Nanotechnologie fallen würden, aber es führt eben bereits dazu, dass diese Nanoteilchen in die Umwelt bzw. an oder in lebende Organismen und den Menschen gelangen. Hier nun ist die Wissenschaft gefordert, rechtzeitig mögliche nachteilige Wirkungen zu untersuchen, um möglichen negativen Effekten vorzubeugen.

Gesundheitliche Aspekte und Umweltfragen

Exposition über die Lunge

In unserem Atmungssystem sorgen verschiedene Schutzmechanismen dafür, dass eingeatmete Krankheitserreger und Fremdstoffe keinen Schaden anrichten können. Neben der mechanischen Ausschleusung (Husten, Niesen) spielen unspezifische und spezifische Immunabwehrprozesse sowie Entgiftungsmechanismen eine wichtige Rolle. Zur Bekämpfung von Bakterien und Viren oder zur Beseitigung nicht-infektiöser Partikel werden lokal Entzündungsreaktionen ausgelöst oder die vor Ort anwesenden Immunzellen, in Lungenbläschen sind das Alveolarmakrophagen, aktiviert. Dabei werden neben reaktiven Sauerstoffspezies auch Proteine und Lipide freigesetzt, die als chemische Botenstoffe (Mediatoren) auf andere Zelltypen wirken. Dadurch sind z. B. die Epithelzellen, welche die Lungenbläschen auskleiden, oder die Endothelzellen, welche die in unmittelbarer Nachbarschaft liegenden Blutgefäße auskleiden, betroffen. Die einsetzende Bekämpfung der eingedrungenen Fremdkörper kann auch gesundes Gewebe in Mitleidenschaft ziehen, das durch anti-inflammatorische Prozesse geschützt bzw. wieder repariert werden muss. Die Feinregulation (Homöostase) dieses Netzwerks von Mediatoren sorgt dafür, dass der Schaden für die Lunge oder den Organismus begrenzt wird. Eine Unter- oder Überregulierung bestimmter Mediatoren würde zu größeren Schäden und damit zur Verschlimmerung von Erkrankungen führen.

Die inflammatorische Antwort nach Inhalation von feinen und ultrafeinen Partikeln wurde am Menschen sowie mit Ratten eingehend untersucht (Übersicht bei: Oberdörster 2001; Oberdörster et al. 2000). Die mit der Einwanderung von Entzündungszellen verbundene Freisetzung von reaktiven Sauerstoffspezies und lysosomalen Enzymen schädigte das Lungenepithel, so dass die Fähigkeit zur Abwehr von Krankheitserregern beeinträchtigt wurde. Die im Umweltaerosol enthaltenen Metalle scheinen bei der Auslösung von partikelinduzierten Effekten eine wichtige Rolle zu spielen, wie experimentelle und epidemiologische Versuchsansätze zeigen konnten. Als Ursache für die zytotoxische Wirkung von Partikeln werden auch Oberflächeneigenschaften und das elektrokinetische Potenzial von Partikeln diskutiert. Zu den ultrafeinen Stäuben und den Nanopartikeln fehlen solche Untersuchungen noch weitgehend. Es besteht in diesem Zusammenhang ein enormer Forschungsbedarf zu den Fragen, ob Nanopartikel eine toxische Wirkung haben, vor allem auch in Hinblick auf die Aufnahmemechanismen, mögliche Akkumulationsprozesse und die Translokation zwischen verschiedenen Geweben. Darüber hinaus müssen alle Fragen, den Lebenszyklus der Produkte betreffend, ausreichend adressiert werden. Das bedeutet: von der Produktion der Nanomaterialien

und damit möglicherweise verbundenen Emissionen, den Expositionen am Arbeitsplatz, bis hin zu den biologisch/toxikologisch relevanten Mechanismen müssen alle Vorgänge betrachtet werden, um zu einer vernünftigen Risiko-Charakterisierung und Risiko-Kommunikation zu kommen.

Nanopartikel – Risiken

In dieser Zusammenfassung würde es zu weit führen, auf alle möglichen neuen Materialien einzugehen und diese erschöpfend zu diskutieren. Daher soll beispielhaft an wenigen partikulären Systemen auf die wesentlichen Belange in der Risikodebatte hingewiesen werden. In der Nanotechnologie sind aktuell Kohlenstoff-Nanoröhrchen für viele Entwicklungen von großem Interesse, und zwar wegen ihrer herausragenden mechanischen, elektrischen und magnetischen Eigenschaften. Es gibt einwandige Nanoröhrchen mit Durchmessern von 1-2 nm oder mehrwandige Nanoröhrchen mit Durchmessern von 10-30 nm. Beide können eine Länge von mehreren Mikrometern haben und durchaus von Zellen aufgenommen werden. Die potenziellen Gefahren in Bezug auf die Inhalation von Nanoröhrchen, z. B. bei deren Herstellung, sind weitestgehend unbekannt. Bei Inhalationsversuchen an Ratten wurde festgestellt, dass inhalierte Kohlenstoffpartikel beträchtliche Lungenschäden verursachen können und dass das toxische Potenzial mit kleiner werdender Partikelgröße und größer werdender Partikeloberfläche steigt. Vergleichbare Versuche mit Kohlenstoff-Nanoröhrchen sind sehr schwierig, weil sie stark agglomerieren. Bei ersten Versuchen wurden die Partikel in Flüssigkeit suspendiert und in die Atemwege von Ratten oder Mäusen instilliert (Lam et al. 2004; Warheit et al. 2004). Die höchste Konzentration von 5 mg einwandiger Nanoröhrchen pro kg Körpergewicht führte zu einer Mortalität von ca. 15 % der exponierten Ratten. Die Ursache war allerdings eine Verstopfung der Hauptatemwege durch Partikel-Agglomerate und nicht die mögliche Toxizität der Partikel selbst. Bei den Überlebenden wurde eine transiente Lungenentzündung sowie die Bildung von multifokalen Granulomata beobachtet. Das Auftreten von Granulomata bei Abwesenheit anderer schädlicher Effekte scheint nicht dem normalen Paradigma zu folgen, das durch toxische Stäube wie Quarz oder Asbest entsteht. Exposition mit diesen Stäuben führt zu Zellschäden, Entzündung und Fibrose. Wegen der starken Agglomeration in Suspensionen ist es unumgänglich, diese Partikel als Aerosol in einer Inhalationsstudie oder mit einem *in vitro*-Test zu untersuchen. Unsere eigenen Studien haben ergeben, dass die Kohlenstoff-Nanoröhrchen nur dann eine akute Toxizität aufweisen, wenn die Kontaminanten, die während der Synthese entstehen (amorpher Kohlenstoff) bzw. dort benutzt werden (Metallionen), nicht in ausreichendem Maße entfernt wurden. Das bedeutet, dass die gezeigte akute Toxizität nur von

den Metallen oder dem amorphen Kohlenstoff abhängt, während gereinigte Kohlenstoffröhrchen weder oxidativen Stress noch einen Verlust der Vitalität hervorrufen können (Wörle-Knirsch et al. 2006). In dieser Studie konnten wir darüber hinaus zeigen, dass auch *in vitro* Granuloma-ähnliche Strukturen um die Kohlenstoffröhrchen entstehen. Ebenfalls für Aufregung sorgten die von E. Oberdörster 2004 präsentierten Daten zu Fullerenen, die in aquatischen Systemen auf Fische toxisch wirkten und dabei vor allem in den Gehirnen zu Lipidperoxidation führten (Oberdörster 2004). Die hier aufgeführten Studien belegen gleichzeitig, wie wichtig es ist, keine voreiligen Schlüsse aus einzelnen Ergebnissen zu ziehen, die noch nicht von unabhängiger Seite wiederholt bzw. durch weitere Experimente bestätigt wurden. Während bei der Instillation der Nanotubes in Ratten- und Mäuselungen die Tiere eher erstickt sind, weil es zum Verschluss der oberen Bronchien kam, ist die Studie von Frau Oberdörster bisher noch nicht durch weitere Studien belegt worden. Dennoch ist es vor diesem Hintergrund als kritisch zu bewerten, wenn bereits in Kosmetika Fullerene als ‚anti-oxidatives' Prinzip Verwendung finden. Die Daten zu den Untersuchungen dieses Produktes wären für eine umfassende Beurteilung der Fullerene und ihrer Wirkungen von besonderer Bedeutung.

Aus den oben dargestellten Beispielen werden bereits wichtige Fragen deutlich, die für eine Risikoabschätzung unbedingt adressiert werden müssen, um ein Risiko für den Menschen am Arbeitsplatz, aber auch der Nutzer der Produkte weitestgehend ausschließen zu können. Fälle, wie gerade durch den Badezimmerreiniger ‚Magic Nano' in die Öffentlichkeit gelangt, sollten in der Zukunft möglichst vermieden werden. Daher wäre es notwendig, die nachfolgend aufgeführten Wissenslücken zu schließen und systematische Untersuchungen möglich zu machen:

1. Verlässliche und vergleichbare Methoden sind derzeit nicht vorhanden/definiert.
2. Ein Referenzmaterial fehlt bisher völlig.
3. Expositionsszenarien werden nur wenig untersucht.
4. Einige wichtige biologische Effekte sind zwar beschrieben, aber wichtige Informationen fehlen immer noch zu: Toxikokinetik, Deposition und Akkumulation.
5. Ökotoxikologische Aspekte sind bisher fast völlig unberücksichtigt.
6. Einige Fragen sind bisher nicht adressierbar, da entsprechende Fälle noch gar nicht eingetreten sind.

Nanopartikel – Chancen

Mit der Entwicklung neuer Materialien und der Verbesserung analytischer Systeme geht auch immer ein Aufschwung der verschiedensten Anwendungen einher. Neben einem Einsatz nanostrukturierter Materialien im technischen Bereich finden Nanoteilchen auch ihre Anwendung in Biologie und Medizin. Verschiedene Produkte sind bereits im molekularbiologischen Labor etabliert, wie z. B. die Verwendung von fluoreszierenden Nanopartikeln, so genannten Quantumdots, zur Markierung von Zellstrukturen oder magnetische Nanopartikel zum einfachen Separieren von Proteinen oder Zellorganellen. Die Quantumdots haben gegenüber herkömmlichen Fluoreszenzfarbstoffen den großen Vorteil, dass ihre Fluoreszenz nicht ausbleicht. Funktionalisierte Nanotubes aus Kohlenstoff werden schon als Biosensoren verwendet, sie können spezifisch klinisch relevante Biomoleküle detektieren. In der Medizin werden die Eigenschaften der Nanoteilchen zur Verbesserung der Pharmakotherapie genutzt. Nanopartikel können als Transportsystem für Medikamente verwendet werden und können so die Löslichkeit eines Pharmakons deutlich gegenüber der des freien Medikaments erhöhen; des Weiteren sind sie imstande, Nebenwirkungen zu reduzieren oder verhindern den schnellen Abbau von Arzneimitteln.

Ebenso wichtig ist der Einsatz der Nanomaterialien im Umweltbereich. Hier kann eine Vielzahl von Anwendungen zur erheblichen Einsparung von Energie und Material beitragen, sind Umweltschadstoffe leichter und sensitiver detektierbar, können Abwässer und verunreinigte Böden oder Luft besser und effektiver gereinigt werden, kann auf eine Verwendung von Lösungsmitteln in gewissem Umfang verzichtet werden. Allein diese verschiedenen Aspekte zeigen, welches Potenzial auch in den neuen Materialien liegt, um bereits vorhandene Risiken zu minimieren bzw. sogar zu beseitigen. Umso wichtiger ist es, eine genaue und sachliche Abwägung der verschiedenen Effekte und Einsatzbereiche durchzuführen, um zu einem Urteil zu gelangen.

Resümee

Soviel Potenzial in den neuen Materialien enthalten ist, soviel Unwissenheit besteht aber auch über ihre möglichen nachteiligen Wirkungen in der Umwelt oder im Organismus. Sei es am Arbeitsplatz, bei der Herstellung, bei der technischen Anwendung oder bei der Verwendung als Medikament – immer werden diese Nanoteilchen auch ‚Nebenwirkungen' haben, die genauestens gegen die Vorteile abgewogen werden müssen, bevor sie

bedenkenlos zum Einsatz kommen. Allerdings hat zu den technischen Entwicklungen neuer Nanomaterialien bereits frühzeitig eine Diskussion in der Öffentlichkeit eingesetzt, die nun dazu führt, dass umfangreiche Untersuchungen möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigungen eingeleitet werden. Gerade jetzt werden die Aktivitäten sowohl von der Umwelttoxikologie, den Hygieneinstituten als auch anderen akademischen Forschungseinrichtungen verstärkt, um eventuelle Nachteile und unerwünschte Nebenwirkungen der neuen Materialien frühzeitig zu erkennen. Dazu werden auch Projekte beitragen, die gerade – durch das BMBF gefördert – gestartet sind (INOS, NanoCare, Tracer) und zum Ziel haben, sehr verschiedene Materialien auf ihre möglichen negativen Folgen hin zu untersuchen, die Daten in einer Datenbank interpretiert zur Verfügung zu stellen und den gezielten Dialog mit wichtigen gesellschaftlichen Gruppen, aber auch mit der Öffentlichkeit zu suchen (NanoCare: www.nanopartikel.info).

Literatur

Eikmann, T.; Seitz, H. (2002): Klein, aber oho! Von der zunehmenden Bedeutung der Feinstäube. In: UFP Umweltmedizin in Forschung und Praxis 7 (2). S. 63-64.

Krug, H. F. (2003): Nanopartikel: Gesundheitsrisiko, Therapiechance? In: Nachrichten aus der Chemie 51 (12/2003). S. 1241-1246.

Krug, H. F.; Kern, K.; Diabaté, S. (2004): Toxikologische Aspekte der Nanotechnologie. Versuch einer Abwägung. In: Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis 13 (2). S. 58-64.

Lam, C. W.; James, J. T.; McCluskey, R.; Hunter R. L. (2004): Pulmonary Toxicity of Single-Wall Carbon Nanotubes in Mice 7 and 90 Days after Intratracheal Instillation. In: Toxicological Sciences 77 (1). S. 126-134.

Oberdörster, E. (2004): Manufactured Nanomaterials (Fullerenes, C60) Induce Oxidative Stress in the Brain of Juvenile Largemouth Bass. Environ. In: Environmental Health Perspectives 112 (10). S. 1058-1062.

Oberdörster, G. (2001): Pulmonary Effects of Inhaled Ultrafine Particles. In: International Archives of Occupational and Environmental Health 74 (1). S. 1-8.

Oberdörster, G; Finkelstein J. N.; Johnston C.; Gelein R.; Cox C.; Baggs, R.; Elder, A. C. (2000): Acute Pulmonary Effects of Ultrafine Particles in Rats and Mice. In: Research report (Health Effects Institute) 96 (Aug.). S. 75-86.

Warheit, D. B.; Laurence, B. R.; Reed, K. L.; Roach, D. H.; Reynolds, G. A.; Webb, T. R. (2004): Comparative Pulmonary Toxicity Assessment of Single-Wall Carbon Nanotubes in Rats. In: Toxicological Sciences 77 (1). S. 117-125.

Warheit, D. B.; Webb, T. R.; Sayes, C. M.; Colvin, V. L.; Reed, K. L. (2006): Pulmonary Instillation Studies with Nanoscale TiO_2 Rods and Dots in Rats: Toxicity Is not Dependent upon Particle Size and Surface Area. In: Toxicological Sciences 91 (1). S. 227-236.

Wörle-Knirsch, J. M.; Pulskamp, K.; Krug, H. F. (2006): Oops They Did it Again! Carbon Nanotubes Hoax Scientists in Viability Assays. In: Nano Letters (im Druck).

Wottrich, R.; Diabaté, S.; Krug, H. F. (2004): Biological Effects of Ultrafine Model Particles in Human Macrophages and Epithelial Cells in Mono- and Co-Culture. In: International Journal of Hygiene and Environmental Health 207 (4). S. 353-361.

Zhang, Q.; Kusaka, Y.; Zhu, X.; Sato, K.; Mo, Y.; Kluz, T.; Donaldson, K. (2003): Comparative Toxicity of Standard Nickel and Ultrafine Nickel in Lung After Intratracheal Instillation. In: Journal of Occupational Health 45 (1). S. 23-30.

Karin Wiench

Nanotechnologie – Produktsicherheit

Einführung

Die BASF – The Chemical Company ist das weltweit führende Chemieunternehmen, dessen Portfolio Chemikalien, Kunststoffe, Veredelungsprodukte, Pflanzenschutzmittel und Feinchemikalien sowie Erdöl und Erdgas umfasst. Im Jahr 2005 betrug der Umsatz der BASF 42.745 Millionen EUR, es waren ca. 81.000 Mitarbeiter beschäftigt. Für Forschungen im ‚Wachstumcluster Nanotechnologie' hat die BASF für die Jahre 2006-2008 180 Millionen EUR als Investitionsbudget geplant.

Der Leitgedanke der BASF für das Jahr 2015 steht für eine Forschung und ein Wirtschaften, das sich an einer nachhaltigen Entwicklung orientiert. Dabei ist ein langfristig angelegter wirtschaftlicher Erfolg sowohl mit gesellschaftlicher Verantwortung als auch mit dem Schutz der Umwelt verbunden. Die Geschäftsaktivitäten dienen der Zukunftssicherung jetziger und künftiger Generationen. Das Handeln der BASF ist dabei in Grundwerten, Organisationsstrukturen und Managementprozessen verankert. Eine transparente Information durch kontinuierliche Berichterstattung und eine klare Zielsetzung in den Bereichen Ökonomie, Ökologie, Sicherheit und Gesundheit sowie soziale Verantwortung sollen zudem nachhaltig den Erfolg der BASF sichern.

Aufbauend auf der Erkenntnis, dass nur eine stufenweise Erschließung der Chancen und Risiken Innovationen auf Basis neuer Technologien möglich macht, wurde für die BASF ein Verhaltenskodex Nanotechnolgie

als Selbstverpflichtung zum verantwortlichen Handeln auf Basis von *Responsible Care* entwickelt. Dieser beinhaltet

- den Schutz der Mitarbeiter, Kunden und Geschäftspartner,
- den Schutz der Umwelt,
- die Beteiligung an der Sicherheitsforschung sowie
- die Verpflichtung zu Transparenz und Dialog.

Toxikologische Bewertung von Nanomaterialien

Wir unterscheiden Nanomaterialien in nanostrukturierte Produkte und Produkte, die Nanopartikel enthalten. Nanostrukturierte Produkte haben nanostrukturierte Oberflächen oder Hohlräume im Nanometerbereich, so z. B. nanoporöse Schäume oder Nanocubes (Abb. 1). Von diesen Produkten gehen keine Risiken durch das Vorhandensein der Nanostrukturen aus.

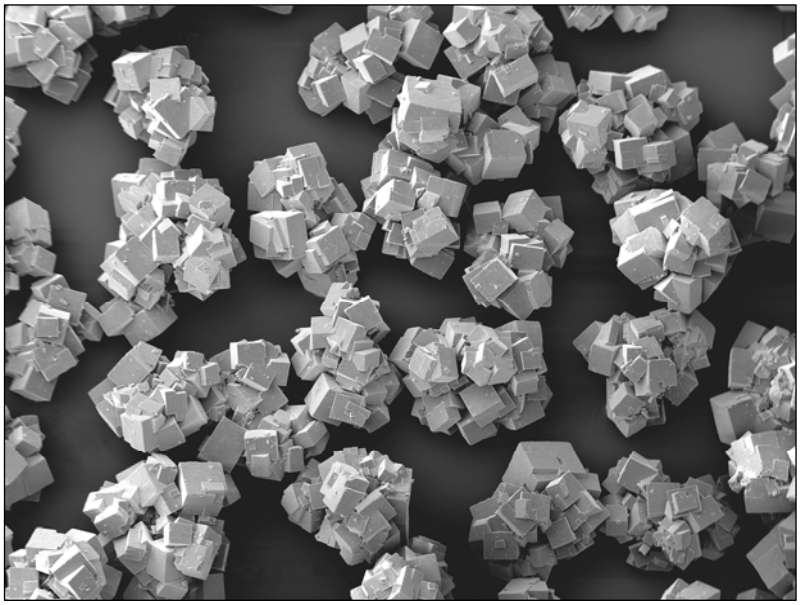


Abb. 1.: ‚Nanowürfel' speichern Wasserstoff dank innerer Oberfläche
(Quelle: BASF AG, 2003)

Produkte, die Nanopartikel fest gebunden in einer Matrix enthalten (z. B. Nanocomposites, Abb. 2), bewerten wir – wie alle unsere Produkte – nach den Verfahren des Chemikalienrechtes. Dabei werden Substanzen im Rahmen von gesetzlichen Vorgaben und Selbstverpflichtungen der chemischen Industrie in Bezug auf ökotoxikologische und toxikologische Eigenschaften untersucht. Der Mindestdatensatz beinhaltet Untersuchungen zur akuten aquatischen Toxizität, zum Bioabbau, zu akuter Säugertoxizi-

tät, Haut/Schleimhautreizwirkung sowie bei strukturellem Verdacht zur Sensibilisierung und Mutagenität.

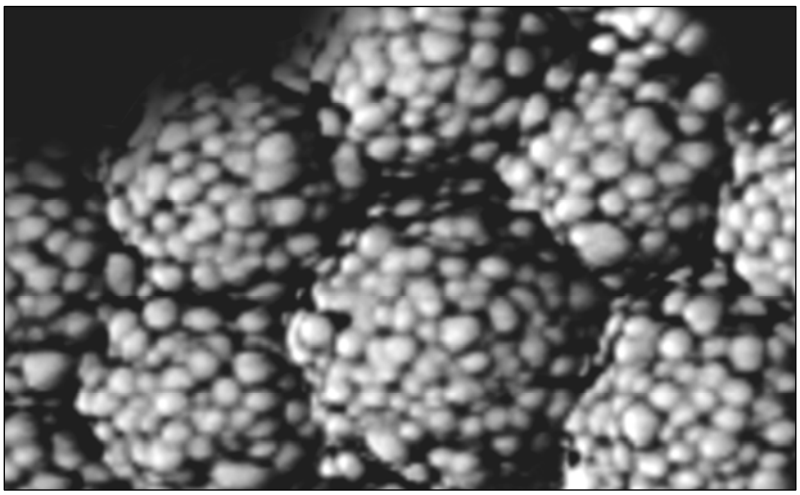


Abb. 2: Nanokompositdispersion
(Quelle: BASF AG, 2005)

Wir gehen nach dem heutigen Stand der Wissenschaft und unseren bisherigen Erkenntnissen davon aus, dass von diesen Produkten keine gesundheitlichen Risiken ausgehen.

Für freie Nanopartikel sehen wir aber weiteren toxikologischen Forschungsbedarf. In Abhängigkeit der vorliegenden Form und des Expositionsweges kann ein zusätzliches Risiko nicht ausgeschlossen werden.

Hierbei sind wasserlösliche und -unlösliche Nanopartikel zu unterscheiden. Sind die Nanopartikel wasserlöslich, können die toxikologischen Eigenschaften der Lösungen und die intrinsische Toxizität des Stoffes herangezogen werden. Bei unlöslichen Nanopartikeln sind neben den intrinsischen toxischen Eigenschaften des Stoffes zusätzlich mögliche Wirkungen aufgrund der nanopartikulären Struktur zu untersuchen.

Nachfolgende Abbildung (Abb. 3) zeigt die grundsätzlichen Aspekte, die bei der Bewertung der toxikologischen Eigenschaften von Substanzen zu berücksichtigen sind.

Eine Aufnahme kann oral, dermal oder durch Inhalation erfolgen. Primäre Expositionsorgane sind der Magen-Darm-Trakt, die Haut und die Lunge, wo lokale Effekte entsprechend der Gewebekinetik auftreten können. Wird eine Substanz über diese Eintrittspforten in den Körper aufgenommen und ist sie systemisch verfügbar, so bestimmen die toxikokinetischen Eigenschaften der Substanz, die Stoffaufnahme, Verteilung, Biotransformation, Speicherung und Ausscheidung den Zeitverlauf und die Konzentration der Substanz im Körper und am Zielorgan und damit auch seine Toxizität.

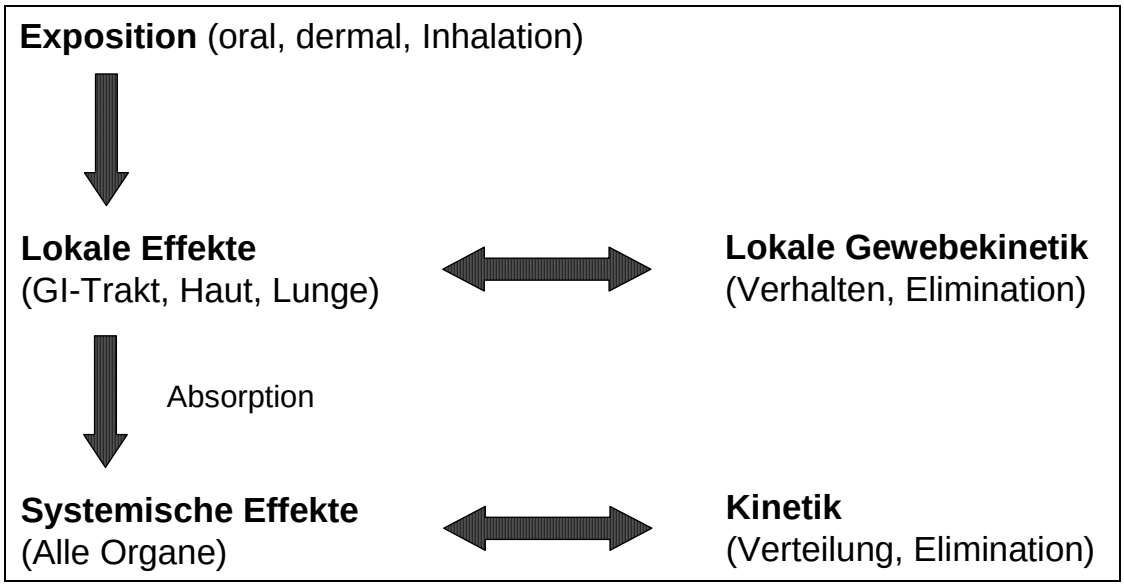


Abb. 3: Bewertungsschema (Quelle: BASF AG)

Zum jetzigen Zeitpunkt ist die orale Exposition gegenüber Nanopartikeln nicht ausreichend untersucht, um genaue Angaben zu den toxikologischen Eigenschaften zu liefern.

Interne Untersuchungen der BASF zur Hautresorption von Titandioxid und Zinkoxid zeigten, dass diese Nanomaterialien nicht durch die intakte Haut aufgenommen werden. In diesen Untersuchungen, die an der Haut von Schweinen durchgeführt wurden, konnte auch gezeigt werden, dass die Nanopartikel beider Substanzen überwiegend auf der Oberfläche der Haut liegen bleiben und gut entfernt werden können. Hieraus kann abgeleitet werden, dass Nanopartikel die äußere Hornschicht der Haut nicht durchdringen.

Die in den internen Untersuchungen gefundenen Ergebnisse werden durch die Resultate des EU-Projektes Nanoderm bestätigt. Hier wurde gezeigt, dass nanopartikuläres TiO_2 (Abb. 4) in verschiedenen Formulierungen nicht durch intakte Schweinehaut und menschliche Haut penetriert. Nach den bisherigen Erkenntnissen kann daher davon ausgegangen werden, dass Nanopartikel nicht durch die intakte Haut aufgenommen werden.

In der Literatur wird die Inhalation von Nanopartikeln und ultrafeinen Partikeln als kritischer Expositionspfad diskutiert. Folgende Effekte werden beschrieben:

- Potenzial zur Induktion von Entzündungen des Atemtraktes,
- Lungentumore nach Einbringen von Nanopartikeln in die Atemwege bei Ratten (mögl. ‚Overload-Phänomen' durch Überlastung der Clearance der Lunge),

- Verdacht einer Verstärkung von Herz- und Lungenkrankheiten durch ultrafeine Partikel,
- mögliche Aufnahme und Verteilung von in der Lunge abgelagerten Partikeln in verschiedene Organe (ZNS, Blut, Organe),
- Transport von inhalativ aufgenommenen Partikeln über den Riechnerv in das Gehirn der Ratte und Ablagerung im ZNS (Oberdörster et al. 2004).

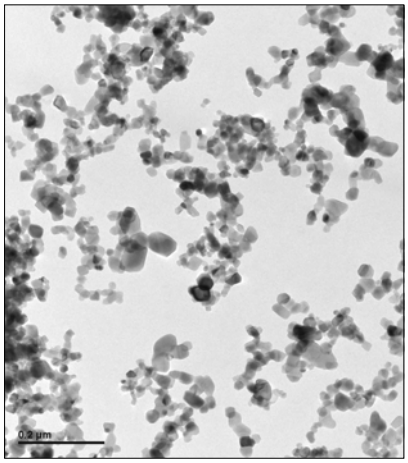


Abb. 4: TiO2-Nanopartikel (Quelle: BASF AG 2006)

Die bisher vorliegenden Studien lassen jedoch keine endgültige Bewertung des möglichen Gefährdungspotenzials nach inhalativer Aufnahme zu; es fehlen weitere aussagekräftige *Inhalations*studien von in der Luft verteilten Nanopartikeln, die eine abschließende Bewertung zulassen. Daher wird hier weiterer toxikologischer Forschungsbedarf gesehen. Auf nationaler und internationaler Ebene beteiligt sich die BASF an Projekten zur Entwicklung von produktbezogenen Prüf- und Bewertungsmethoden. Beispiele sind u. a. das EU-Projekt Nanosafe 2 oder das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderte Nanocare Projekt. Darüber hinaus führen wir in unserer Toxikologie ein weiteres Forschungsprojekt zur Bewertung von Nanomaterialien durch.

Die BASF entwickelt derzeit zur näheren Beantwortung dieser toxikologischen Fragestellungen eine Kurzzeit-Methode, die alle relevanten Parameter abdecken soll, einen in-vitro/in-vivo-Vergleich ermöglicht und die Aufstellung eines einfachen experimentellen Modells zum Ziel hat.

Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz

Zum sicheren Umgang mit Nanomaterialien in der BASF haben wir spezielle Arbeitstechniken etabliert und in einem Leitfaden niedergelegt. Eine Exposition gegenüber freien Nanopartikeln wird vermieden, durch Herstellung in geschlossenen Systemen und Tragen einer persönlichen Schutzausrüstung, falls notwendig. Des Weiteren engagiert sich BASF in der Weiterentwicklung der Messtechnik für Nanopartikel und überwacht schon heute Arbeitsplätze in Forschung und Produktion nach dem neuesten Stand der Technik. Dazu pflegt die BASF die Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Arbeitssicherheit und Arbeitsmedizin.

Fazit

Die BASF arbeitet intensiv an der Umsetzung von Nanotechnologie in neue und verbesserte Produkte und Verfahren, mit denen auch ein Beitrag zu einer nachhaltigen Entwicklung geleistet wird. Dazu gehören auch umfassende Forschungsaktivitäten, um mögliche Risiken für Mensch und Umwelt zu erfassen und auszuschließen.

Weitere Informationen finden Sie im Internet unter www.basf.de/dialog-nanotechnologie

Literatur

Oberdörster G.; Sharp Z.; Atudorei V.; Elder A.; Gelein R.; Kreyling W. et al. (2004): Translocation of Inhaled Ultrafine Particles to the Brain. In: Inhalation Toxicology 16 (6/7). S. 437-445.

Stephan Riebe

Diskussionsergebnisse der Arbeitsgruppe ‚Umwelt- und Gesundheitsrisiken'

Moderation: Wilfried Kühling

Da offensichtlich war, dass das durch die Vorträge von *Karin Wiench* und *Harald F. Krug* angeschnittene, sehr umfangreiche Themengebiet in der zur Verfügung stehenden Zeit nicht erschöpfend diskutiert werden kann, sollten die Teilnehmerinnen und Teilnehmer zunächst Präferenzen zu möglichen Diskussionsschwerpunkten abgeben. Als Diskussionsanreiz dienten folgende Fragestellungen:

1. Welche Risiken lassen sich klassifizieren?
2. Wo liegen die Ansätze für eine Risikoabschätzung?
3. Wie müsste eine Risikoabschätzung konkret aussehen?
4. Lässt sich das Konzept der Risikokommission für die Nanotechnologie verwenden?
5. Wer kann/sollte eine Risikoabschätzung durchführen (Institutionalisierung/Verantwortung)?
6. Können Chancen und Risiken gegeneinander aufgerechnet werden?
7. Wie sollte die Begleitung/Beteiligung durch Stakeholder aussehen?

Nach einer Abstimmung unter den Teilnehmenden sollten insbesondere die Fragen 1 und 6 ergänzend zu den Beiträgen von *Wiench* und *Krug* diskutiert werden. Zusätzlich wurden im Laufe der Diskussion aber auch Aspekte der anderen Fragestellungen angesprochen und Wege einer Herangehensweise zur Konkretisierung der Risiken diskutiert.

Als erster ergänzender Aspekt wurde genannt, dass mögliche gesundheitliche Wirkungen auf Individuen mit unterschiedlicher Empfindlichkeit treffen, also eine Differenzierung nach unterschiedlichen Risikogruppen (Kinder, Erwachsene, Rentner, Frauen, Männer etc.) vorzunehmen ist. In dieser Hinsicht besteht Forschungsbedarf, da derlei Fragestellungen in den bisherigen toxikologischen Untersuchungen so noch nicht untersucht sind. Es wurde dazu angeregt, dass bei den Untersuchungen von mit Nanopartikeln einhergehenden Gesundheitsrisiken zwei Faktoren zu beachten sind: Zum einen müssen toxikologische Experimente die unterschiedlichen Reaktionen der verschiedenen Spezies erproben und zum anderen müssen auch innerhalb einer Spezies die verschiedenen Zustände und Merkmale berücksichtigt werden.

Den Unsicherheiten bei Langzeiteffekten und Kurzzeitexpositionen galten die nächsten Aspekte der Diskussion. In diesem Zusammenhang wurde zunächst gefordert, die Datenbasis auf ökosystemare Zusammenhänge auszudehnen; ferner wurde eine Anpassung und Standardisierung von Regularien und Testverfahren für notwendig erachtet. Auch die Informationsgewinnung durch Extrapolation aus Zell- und Tierversuchen gestaltet sich aufgrund verschiedener Aspekte sehr schwierig. So verhindert beispielsweise die Kurzlebigkeit von manchen Produkten die Durchführung von Langzeittests. Einige Problemstellungen ergeben sich auch hinsichtlich der Konzentrationsbestimmung von Nanopartikeln in der freien Umwelt. Eine Unterscheidung zwischen synthetischen und natürlichen Nanopartikeln ist bei Messungen schwer möglich, da die Stoffe zumeist Aggregate bilden. Darüber hinaus sind verschiedene Metalloxide (wie Fe_2O_3, das eine erweiterte Massenanwendung finden wird) generell im Ökosystem vorhanden. Folglich lässt sich nur anhand von Expositionen eine Akkumulation in der Umwelt abschätzen. Ein möglicher Versuchsaufbau zur Messung von Akkumulation und Exposition wäre die Imitation von biologischen Systemen mit mehrgliedrigen Nahrungsketten, in die getracerte Nanopartikel eingeführt und verfolgt werden. Ein anderer Ansatz ergibt sich aus den im chemischen Sinn bedeutenden Reaktionseigenschaften von Nanopartikeln. Verfahren, die diese spezielle Reaktionsfreudigkeit herausfordern, könnten auch Angaben über Aggregation, Agglomeration und Akkumulation von Nanopartikeln liefern.

Den Beiträgen von *Wiench* und *Krug* war zu entnehmen, dass Metalloxide in Nanopartikelgröße von allen Zellen aufgenommen werden können. Für genauere Angaben oder eine einheitliche Systematik liegen jedoch derzeit nicht genügend Daten bereit. Es wurde aber festgehalten, dass neben den Expositionsuntersuchungen auch die genauen Abwehrmechanismen der Zellen untersucht werden müssen. Die Lunge beispielsweise verfügt über einen Reinigungsmechanismus, indem anströmende

Kleinstpartikel durch die Zellen zu größeren Agglomeraten zusammengelagert und wieder abgeführt werden. Hier gilt es, die Grenzwerte und Fehlertoleranz (Resilienz) solcher sich selbst regulierender Systeme genauer zu untersuchen, um vor allem bei längeren Expositionen die Langzeitwirkungen zu konkretisieren.

Auf die in der Diskussion gestellte Frage nach den Akteuren, welche eine Standardisierung der Testverfahren voranbringen könnten, wurde vor allem den nationalen und internationalen Normungs- und Standardisierungsinstitutionen wie DIN, CEN und ISO eine besondere Verantwortung zugeschrieben. Aber auch die Verknüpfungen von neuen Systemen und Anwendungen zur Datenverarbeitung (SAP) mit dem EH&S- (Enviroment, Health and Safety steht für den betrieblichen Umweltschutz, Gesundheitsschutz und Arbeitssicherheit) und dem REACH-System standen als Steuerelemente bei der Standardisierung von Umwelt- und Gesundheitstestverfahren bei Nanopartikeln zur Diskussion. Diese Prozesse wurden zwar auf nationaler und internationaler Ebene angestoßen, doch konnte noch kein minimales Anforderungsset standardisiert werden, wobei das öffentliche Interesse auf eine maximale Informationstransparenz bei möglichen Umwelt- und Gesundheitsrisiken, beginnend mit der Abfüllung beim Hersteller, gerichtet ist.

Bei der Beantwortung der Frage, ob Chancen und Risiken der Nanotechnologie gegeneinander aufgerechnet werden können, stellte sich heraus, dass die ökologischen Risiken meist den ökonomischen Profiten gegenüberstehen. Derzeit gibt es für die Markteinführung von Nanoprodukten keine normierten Zulassungsverfahren, womit die Entscheidung über die Umweltverträglichkeit vom Markt gefällt wird. Das Beispiel von ‚Magic-Nano', einem Reinigungsmittel, das Konsumenten als angebliches Nanoprodukt angeboten wurde, zeigt, dass bei unzureichender Risikoforschung große Unsicherheit hinsichtlich einer möglichen Gesundheitsgefährdung geschürt wird. Abgesehen davon, dass es sich bei den Inhaltsstoffen nicht einmal um wirkliche Nanomaterialien handelte, war die bitterste Erkenntnis, dass nicht zurückverfolgt werden konnte, welche Inhaltsstoffe die Produkte enthielten, da Vorlieferanten dies als Betriebsgeheimnis abtaten – ein völlig inakzeptabler Zustand. Daher gilt es, zentrale Einrichtungen für die Ökobilanzierung von Nanoprodukten zu schaffen, um darüber hinaus mit einer transparenten Information zu den Chancen und Risiken eine Abwägungsbasis für alle gesellschaftlichen Gruppen zu liefern. Eine solche Chancen-Risiken-Abwägung wurde am Beispiel von nanoskaligem TiO_2 in Sonnencremes mit hohem Lichtschutzfaktor konkretisiert. Hier steht die Chance für einen besseren Schutz der Haut der UV-Strahlung gegenüber, wobei die Nanopartikel in die Haut eindringen und bei längerfristiger Exposition schädigend wirken könnten. Die derma-

le Exposition durch TiO_2 wurde zwar im Normalfall widerlegt, doch bleibt ein Restrisiko auch über andere Aufnahmemöglichkeiten. Fazit: Um der größeren Gefahr (erhöhtes Hautkrebsrisiko durch direkte UV-Strahlung) zu entgehen, wird die kleinere (Gefährdung: Langzeitexposition durch Metalloxide) in Kauf genommen. Da, wie mehrmals angesprochen, die Risiken der neuen Partikelgrößen nicht komplett bekannt sind, ist die genaue Systematisierung einer Chancen-Risiken-Abwägung nicht möglich. Deshalb können hier nur ein genaues Informieren zum Stand der Risikoforschung und ein öffentlicher Diskurs weiterhelfen, denn den Bedarf der Produkte definiert die Gesellschaft zum einen selbst und zum anderen wird dieser durch die Wirtschaftsakteure (als Bestandteile unserer Gesellschaft) suggeriert. Es bleibt somit die Frage, welche Akteure letzten Endes über die Chancen-Risiken-Abwägung entscheiden. Die Teilnehmer der Arbeitsgruppe waren sich darin einig, dass nur eine gesamtgesellschaftliche Steuerung, also nicht nur partiell eine solche durch Industrie und Wirtschaft, den Erfordernissen eines verantwortungsbewussten Chancen-Risiken-Abgleichs gerecht werden kann. Daraus abgeleitet, ergaben sich für eine gesamtgesellschaftliche Steuerung die Forderungen nach:

1. einem transparenten Verfahren zur Risikobewertung,
2. dem verantwortungsbewussten Risikomanagement und
3. Institutionalisierung dieser Schritte.

Forschungsbegleitende Tests und Kontrollen vor einer Markteinführung, umfassende, für alle zugängliche Daten und die Aufnahme von neuen Gefahrenklassen in das REACH-System wurden neben einem gesetzlichen Rahmen als minimales Anforderungsset formuliert. Alle relevanten gesellschaftlichen Kräfte müssen zudem in den Gestaltungsprozess involviert sein, damit die zukünftig verstärkt zu erwartende Markteinführung von Nanoprodukten auch einer gesamtgesellschaftlichen Akzeptanz und Kontrolle unterliegt.

Wissenschaft, Ethik und Innovation

Wolfgang Nethöfel

Integrierte Innovation[1]

Das Risiko-Chancen-Profil der Nanotechnologie als wegweisendes Beispiel

Als theologischer Sozialethiker interessiert mich die Nanotechnologie unter zwei Gesichtspunkten. Erstens sollen wir als Angehörige der christlichen Traditionsgemeinschaft „der Stadt Bestes“ suchen (Jeremia 29,7), und das finden wir am sichersten, indem wir bei Veränderungen in unserer Gesellschaft eine anwaltliche Funktion wahrnehmen und für die sprechen, die sonst keine Stimme hätten (nach Sprüche 31,8). Es geht also um eine gesellschaftliche Orientierung, die am Schluss Nanotechnologie wirksam regelt. Ich gestehe aber, dass mich ein zweiter Aspekt mehr bewegt: Ich bin als Theologe fasziniert von der Kreativität, die sich in Theorie und Praxis im paradigmatischen Kern der Nanotechnologie manifestiert.

Ich bin froh, dass sich in unserer interdisziplinären NanoGroup Marburg beide Aspekte überschneiden. Wirksame Regulierung, das ist meine auf gemeinsamer Erfahrung beruhende Überzeugung, muss im paradigmatischen Kern der Nanotechnologie ansetzen und sie muss prinzipiell auch vor dem Horizont möglicher (Patent-)Schutz- und Förderungsmaßnahmen bedacht werden. Bei diesem von der Forschung geradezu vorangetriebe-

[1] In diese Textfassung sind Ergebnisse der Plenumsdiskussion und von Gesprächen im Anschluss an den Iserlohner Vortrag eingearbeitet, für die ich meinen Gesprächspartnern danke. Moraltheoretisch gesprochen stellt uns die Nanotechnologie (wie Innovationen überhaupt) vor einen Problemtyp, der nur durch ‚kreative Abduktion’ (U. Eco) zu lösen ist. Da wir daran exemplarisch lernen können, uns angesichts des Neuen zu orientieren, indem wir uns um die Kohärenz eines inneren und eines äußeren ‚Überlegungsgleichgewichts’ bemühen (J. Rawls nach N. Goodman), unterscheide ich im Folgenden nicht zwischen Regeln und Prinzipien (vgl. einführend Tabori 1999, 2002).

nen (science driven) Innovationsprozess können wir exemplarisch das in ökologischen Zusammenhängen beobachtete Zusammenwirken von Regulatory-push- und Regulatory-pull-Effekten beobachten (Fischer et al. 2006). Dann aber verweist die Nanotechnologie als Beispiel auf unseren Programmbegriff ‚Integral Innovation': integre, integral entwickelte und integrierbare Innovation. Ich möchte dies in vier Schritten erläutern, wobei ich bei der umstrittenen Frage ansetze, ob wir überhaupt eine eigene Nanoethik brauchen (1). Ich skizziere nanospezifische Problem- (2) und Lösungsprofile (3) und ziehe dann ein Fazit, indem ich eine Regulierung und einzelne Regeln vorschlage, die dem sich abzeichnenden Nanoprofil gerecht werden sollen und vielleicht nicht nur diesem. Der Fokus unserer Arbeitsgruppe ist nicht Nanotechnologie, sondern Innovation (4).

1 Brauchen wir eine Nanoethik?

> „Most contradictorily discussed was a general requirement for a nano-specific regulation" (Meili 2006, S. 16).

An der Frage, ob die alten Regulierungen für die neue Nanotechnologie ausreichen oder nicht, entscheidet sich, wie man dazu steht. Welche Gründe gibt es, sich so oder so zu entscheiden?

1.1 Nein!

> „Die Rede von einer eigenen Nanoethik erscheint übertrieben" (Grunwald 2004, S. 71).

Armin Grunwald gibt den breiten Konsens der Ethikzunft wieder, die sich mit diesem Anwendungsbereich beschäftigt. Und man kann dieses Nein kategorial ausdifferenzieren bis hin zu einem ethischen Pendant jener Nulldefinition der Nanotechnologie, nach der diese nur der gemeinsame Name unterschiedlicher Technologien ist, die im Nanobereich zusammenwirken. Wenn sich jedes einzelne Nanoproblem prinzipiell mit den alten Regeln und Institutionen gesellschaftlich beherrschen lässt, dann gilt ‚nach oben': Wir brauchen keinen neuen Ethiktyp. Wir brauchen aber auch keine Nanoethik als neue Bereichsethik, denn

> „environmental ethics supply an appropriate framework to begin to consider many of the most salient ethical issues surrounding emerging nanotechnologies“ (Preston 2005, S. 38).

Dies impliziert dann ‚nach unten’, dass wir auch keine neuen nanotechnologischen Teilbereichsethiken brauchen. Das bestätigen Johann Ach und Norbert Jömann für die Nanobiotechnologie, deren in Umrissen erkennbare Problembereiche neben der Umweltproblematik am genauesten prospektiert wurde:

> „Die meisten der ethischen und sozialen Herausforderungen der Nanobiotechnologie … sind aus anderen Diskussionen bekannt“ (Ach/Jömann 2005, S. 208).

Und dies schließt wiederum ein, dass wir auch keine neuen Querschnittsethiken entwickeln müssen, obwohl sich z. B. für den Regulierungsbereich nanotechnologische Medizinethik durchaus neue Konstellationen in einzelnen Regelungsbereichen abzeichnen.

1.2 Ja!

Zwar wird die Gegenthese, dass die Nanotechnologie die Gesellschaft vor eine kategorial neue Orientierungsaufgabe stellt, kaum von der Ethikzunft vertreten. Und ich gehe hier bewusst nicht auf apokalyptische Szenarien ein, die ja umfassende Abwehrstrategien ‚ganz oben’ geradezu provozieren sollen. Aber die kanadische ETC Group hat ja als Ergebnis einer konvergierenden Nanorisiko-Einschätzung immerhin ein generelles Nano-Moratorium gefordert (ETC Group 2003a, 25, 72; 2003b). Und es gibt Krisensignale und Warnsignale aus dem Umfeld der bisherigen Regelungen, die auf eine Besonderheit dieser Technologie verweisen könnten. Ich stelle Beobachtungen aus unterschiedlichen Bereichen zusammen.

<u>Die Schwierigkeit einer Nanodefinition</u>
Was ist das überhaupt, was als ‚Nanotechnologie’ zu regeln ist, und woran kann man erkennen, was dazugehört und was nicht? Statistiker und Versicherungen müssen das wissen, Gesetzgeber und Richter, wenn es um die Reichweite von Gesetzen und Haftungsbestimmungen geht. Aber auch eine Öffentlichkeit, die wissen will, woran sie mit der Nanotechnologie ist, muss von einer klaren und handhabbaren Definition ausgehen können. Stattdessen erfahren wir:

> „Nanotechnologie handelt von funktionalen Systemen, die von Untereinheiten mit spezifischen, größenabhängigen Eigenschaften der Untereinheiten oder eines Systems aus diesen Gebrauch machen“ (Decker et al. 2004, S. 13; vgl. Schmid et al. 2006, S. 17).

Dieser Definitionsvorschlag der ‚Europäischen Akademie zur Erforschung von Folgen wissenschaftlich-technischer Entwicklungen’ ist keine systemtheoretische Absurdität, sondern er dokumentiert das Problem, das sich im Spektrum definitorischer Alternativen verbirgt. Die Intension: der Begriffsgehalt der vorliegenden Definitionen reicht ‚von oben’ von der schon erwähnten Nulldefinition über die bloße Größenbereichsbestimmung und deren Kombination mit Quantenphänomenen über die systemische Bestimmung als Schlüsseltechnologie (und deren Bestreitung) bis hin zu vollständig umstrittenen Konzeptionen, in denen die Nanotechnologie als Konvergenzwissenschaft neu bestimmt wird.

Die Intension einer Definition legt aber auch die Extension fest: Wir erhalten Kriterien, um ‚von unten’ aus jedes Mal zu entscheiden, was drinnen und was draußen ist. Hier liegt die Pointe jenes zusammenfassenden Definitionsversuches der Europäischen Akademie. Nach einem Überblick über vorliegende Definitionen schlägt diese eine Verfahrenslösung vor. Ihre Formulierung fasst einen Prüfalgorithmus zusammen. Man soll nach einem festen Schema Kandidat für Kandidat daraufhin untersuchen, ob bei kontinuierlichen Größenveränderungen im Nanobereich plötzlich neue Eigenschaften auftauchen.

Spätestens wenn aus der unten ‚feststellenden’ eine von oben herab ‚festsetzende’ Definition geworden ist, manifestiert sich ein neues Problem: Das in der Öffentlichkeit weithin bekannte Lotusphänomen, auf das sich auch die Werbung immer wieder bezieht, wäre selbst kein Nanophänomen, denn hier liegen keine Quantensprünge vor. Und die Nanobiotechnologie wird im Ganzen problematisch. Hier sind die in Frage stehenden Systeme durchweg zu groß.

Diese Konsequenzen sind kontraintuitiv. Aber der Akademieversuch verweist damit voraus auf Anwendungsschwierigkeiten in verschiedenen Regelungsbereichen, die bei der Verwendung anderer Definitionen erst recht zu erwarten sind. Wenn sich die Regulierung der Nanotechnologie an ihnen orientiert, könnte sie den zu regelnden wissenschaftlichen, technologischen und ökonomischen Zusammenhang ganz oder teilweise verfehlen oder seine Kontinuität zerschneiden (Nethöfel 2006). In der Endversion ihres Berichtes schlägt die Europäische Akademie neue Unterscheidungen vor. Man muss genauer zwischen Nanowissenschaft und den intendierten technologischen Anwendungen differenzieren. Und in der Praxis muss man mit der Unterscheidung zwischen Nanotechnologie im

engeren und im weiteren Sinn leben (Schmid et al. 2006, S. 17f., 19, vgl. S. 62ff.).

Überforderungssymptome gegenwärtiger Regulierungssysteme

Das Neue muss sich begründen. Diese allgemeine Klugheitsregel gilt für die Nanotechnologie. Sie gilt aber auch für die Forderung, diese mache selbst neue Regelungen erforderlich, nachdem sie nun einmal irgendwie da ist. Allerdings kann der Verweis auf die geltenden Regeln nicht wirklich beruhigen. Denn der Umkehrschluss von der Normalität der Nanorisiken auf die Verlässlichkeit der herkömmlichen Sicherungssysteme ist gegenwärtig wenig überzeugend. Es häufen sich vielmehr Überforderungssignale aus allen einschlägigen wissenschaftsbasierten Regulierungssystemen. Vielleicht ist die neuzeitliche Trennung von Faktum und Geltung und die darauf aufbauende moderne Regulierung durch nationalstaatlich organisierte Verfahren sogar im Ganzen in eine Systemkrise gekommen. Nanotechnologie wäre dann die letzte Gelegenheit zum Umdenken, weil sie der Tropfen sein könnte, der das Fass zum Überlaufen bringt.

Die neuzeitliche Regulierungskrise betrifft einmal die *Technikfolgenabschätzung* (TA).

> „Technology assessment is now widely known in the government, policy, and business communities in the United States, although it is virtually unpracticed“ (Coates/Coates 2002, S. 99f.).

So schreiben die Mitbegründer dieses Verfahrens. Über das auch andernorts zu beobachtende faktische Versagen hinaus wird aber angesichts ihrerseits wissenschaftsgetriebener Entwicklungen prinzipiell nach der Einwirkungsmöglichkeit der herkömmlichen Methoden und Techniken gefragt. Können angesichts der Komplexität, der Spezifität und der Geschwindigkeit neuer Entwicklungen Toxizitätsbestimmungen rechtzeitig folgen? Ist institutionelle Regulierungslast verarbeitbar? Ist die erforderliche Regelungsgeschwindigkeit gewährleistet? Sind die Regeln auf einem globalen Markt durchsetzbar? Die TA reagiert darauf mit konzeptionellen Änderungen, deren Rückwirkungen auf die bisher ausgearbeiteten Einzelprozeduren und Erfahrungen noch kaum bedacht sind: vom nachträglichen Assessment über die forschungsbegleitende TA zum nun endlich vorlaufenden ‚vision assessment’ (Grin/Grunwald 2000). Wie soll das aber in einer eingreifenden Regelungspraxis aussehen, und was sagt das über die bisherige Praxis aus?

Sodann ist an die bei der Nanoforschung stets involvierte *Innovationsforschung* zu denken. Auch hier stellen sich gegenwärtig wissenschafts-

theoretische und praktische Fragen zugleich. Wäre sie überhaupt fähig, etwas kategorial Neues zu erfassen? Auf der Makroebene tobt der Streit um die Wirksamkeit innovationspolitischer Steuerungsinstrumente im Allgemeinen und um die Kondratjeff-Zyklen im Besonderen (Freeman/ Perez 1988). Hat das Neue in der Ökonomie aber überhaupt charakteristische Muster, und wenn ja, wie wäre es auf der betriebswirtschaftlichen Ebene zu erfassen? Auffällig schweigsam wird die Innovationsforschung in beiden Bereichen, wenn es um die Evaluation der mitunter aufwendigen Studien geht. Ist die Innovationsforschung überhaupt fähig, eingreifendes Wissen zu generieren?

Das lässt schließlich nach der Regulierungsfunktion unseres *Wissenschaftssystems* im Ganzen fragen. Die Schwierigkeiten interdisziplinärer Zusammenarbeit wirken sich ja bereits innerhalb der Nanotechnologie aus. Eine funktionierende und sachgemäße Regulierung technologischer Zusammenhänge setzt aber darüber hinaus Transdisziplinarität voraus: der fachwissenschaftliche Diskurs muss sich prinzipiell offen halten für das Fachwissen, die Erfahrungen, die Hoffnungen und die Ängste von Laien. Dann geht es nicht mehr nur um die Schwierigkeit, eine Vielzahl unterschiedlich codierter Informationen zu verarbeiten, sondern das sich ‚von oben' durch die jeweils in Geltung stehenden Paradigmen regelnde System wird ‚von unten' her als Ganzes in Frage gestellt (Mittelstraß 2005). Wie sollen die Ergebnisse solcher Stakeholderdialoge überhaupt in die Praxis angewandter Grundlagenforschung eingehen, die Innovationen so vorantreibt, wie es nach übereinstimmender Meinung bei der Nanotechnologie der Fall ist?

Die Nanorisiko-Analysen der Versicherungen

Wenn alle Stricke reißen – ist es gut, versichert zu sein. Das wird aber im Fall der Nanotechnologie schwierig werden.

> „Die Anwendung nanotechnischer Produkte und Verfahren kann eine veränderte Dimension von Personen-, Sach- oder Vermögensschäden sowie Haftpflichtrisiken, z. B. in den Bereichen Produkt-, Umwelt- und der Betriebshaftpflicht, bewirken" (Münchener Rück 2002, S. 7; vgl. Allianz AG/OECD 2005).

Die Versicherungen verweisen darauf, dass Latenzschäden drohen, d. h. dass wie beim Asbest Nanostoffe und -produkte schon jahrelang gewirkt haben könnten, ehe der Schaden erkannt und abgestellt werden kann. Bei der Vielzahl massenhaft verbreiteter Produkte drohen ‚von unten' aber gleichzeitig auch Serien- und Nanoschäden, die beim selben Versicherer

‚kumulieren' – noch vor der ebenfalls nicht auszuschließenden Nanokatastrophe.

‚Von oben' kippen traditionelle Risikokalkulationen der Versicherer, weil

> „die Nanotechnologie zur Kategorie der revolutionären Risiken mit ursächlich nachweisbarer Schadenfolge" gehören könnte (Swiss Re 2004, S. 40).

Denn dann ist ein potenzielles Risiko nicht mehr auf eine Klasse von Versicherungsnehmern umzurechnen, mit deren Prämiensumme der Schaden Einzelner gedeckt ist. Ein versicherungstechnisch nicht mehr beherrschbares ‚Änderungsrisiko' ergibt sich auch dann, wenn sich die Haftungsbedingungen ändern, weil Öffentlichkeit und Politik auf die Nanotechnik im Ganzen nach den ersten Schadensmeldungen ähnlich reagieren sollten wie bei der Atom- und Gentechnik (Münchener Rück 2002, S. 10).

Einerseits liegen hier zwar in vielen Fällen Kalkulationen über Spekulationen vor. Darauf wird auch in den Studien deutlich hingewiesen. Anderseits kann man aber nicht einfach unterstellen, hier würde spekuliert, um die Prämien bei den Produzenten in die Höhe zu treiben. Schließlich kalkulieren hier ja Rückversicherer, die nur dann zahlen müssen, wenn wiederum selbst kalkulierende Versicherungsgesellschaften im wirklich eingetretenen Schadensfall zahlen.

1.3 Nanospezifisch!

Dieser Praxisbezug führt zu Fragen, die wir in der Regulierungstheorie zu selten stellen. Wer liest die Studien und Regelwerke (außer denen, die Anträge schreiben, um neue Studien zu schreiben)? Wer ändert nach der Lektüre seine Praxis? Könnten bei einer Art Turing-Test Experten ein Nano-Regelwerk, das von anderen Experten (für viel Geld) erarbeitet wurde, zum Beispiel von einem Biotechnik- oder von einem Non-sense-Regelwerk, sagen wir: über Sphären-Ökologie, unterscheiden, in das ein Computerprogramm an die entsprechenden Stellen Nanotechnologie-Bezeichnungen eingefügt hätte? Schließlich: Haben wir Evaluation und Controlling bei Regelungen so etabliert, dass sie im konkreten Fall: wie in der Nanotechnologie feststellen könnten, dass sie das bewirken, was wir damit bewirken wollen?

Tatsächlich sind bei genauerer Betrachtung sämtliche Entscheidungsknotenpunkte im Regulierungsbereich umstritten: Muss die Nanotechno-

logie nicht doch Verfahrensänderungen nach sich ziehen? Gibt es vielleicht neue Regulierungsvorgaben, die sich aus einem eigenen Nanobereich oder aus sich überschneidenden Objektbereichen her ableiten lassen? Brauchen wir nicht doch neue Grenzwerte, neue nationale, internationale, globale Nanogesetze oder einen ganz neuen Typ von Regelungen – womöglich mit institutionellen Konsequenzen?

Solche Fragen lassen sich ohne nanospezifische Betrachtungen nicht beantworten. Wenn man aber nach dem Spezifischen fragt, dann verweist meiner Meinung nach die Definition der Europäischen Akademie trotz ihrer Schwierigkeiten im praktischen Gebrauch am genauesten auf das spezifische Profil der Nanotechnologie. Gerade die Infragestellung des jeweiligen Systemzusammenhangs, die Problematik jener spezifischen Sprünge ist der gemeinsame Fixpunkt aller nanotechnologischen Intentionen. Um in der Praxis gesellschaftlicher Orientierung auf der Spur der Nanotechnologie bleiben zu können, schlage ich vor, von folgender Definition auszugehen:

Nanotechnologie ist der technische Umgang mit Systemgrenzen.[2] Das ist eine notwendige, keine hinreichende Bestimmung. In unterschiedlichen Zusammenhängen tritt zwar ein gemeinsames Profil nanotechnologischer Probleme und Lösungen hervor. Das versuche ich im Folgenden zu zeigen. Aber die Lösung technischer wie ethischer Probleme der Nanotechnologie ist an eine Voraussetzung gebunden: Nanotechnologie setzt die Benennung und die funktionale Erfassung einer Grenzkonstellation voraus. Ihr Erfolg ist an die spezifischen Informationen gebunden, die dabei gewonnen werden. Sie intendiert die Anwendung solcher spezifischer Grenzinformationen, und daher kann Nanotechnologie nur durch grenzsichere Orientierungsmuster reguliert werden. Einige solcher Regeln, die ‚von oben' und ‚von unten', d. h. inter- und transsystemisch funktionieren, werde ich am Schluss vorstellen. In diesem Kontext können wir besser über die Frage diskutieren, ob wir eine spezifische Nanoethik brauchen. Kriterien für diese Entscheidung aber ergeben sich nur aus der Kenntnis nanospezifischer Probleme und Lösungen.

[2] Das ist – neben dem Hinweis auf die integrierten Überprüfungsverfahren – die andere Pointe der endgültigen Definition der Europäischen Akademie: Die angestrebte Funktionalität „provides criteria for defining system boundaries" (Schmidt et al. 2006, S. 24f.).

2 Nanospezifische Probleme

Es gibt Hinweise auf nanospezifische Probleme, die an Systemgrenzen auftauchen. Man kann nanospezifische Probleme des Ökosystems (2.1), nanomedizinische Risiken (2.2) und Nanoprobleme im Gesellschafts- und Kultursystem unterscheiden. Die Frage ist, ob sich die verschiedenen Indizien und Bausteine zu einem Nano-Risikoprofil zusammenfügen.

2.1 Nanorisiken im Ökosystem

Die Sicherheitsprobleme von Nanopartikeln lassen sich als Grenzprobleme des *Ökosystems* zusammenfassend charakterisieren. Die ökologische Maxime lautet, dass alles, was koexistiert, sich evolutionär bewährt hat. Synthetische Nanopartikel sind also begründungspflichtig.

Natürliche Nanopartikel sind in der Regel wasser- oder salzlöslich oder sie agglutinieren. Bei den synthetischen Nanopartikeln erkennt man vor diesem Hintergrund, dass sie sich durch ihre Durchdringungsfähigkeit auszeichnen. Sie können in vielen Milieus transportiert werden, so dass sie potenziell ubiquitär verbreitet werden könnten. Hinzu kommt – bei den synthetischen Kohlenstoffverbindungen – ihre Ultrastabilität. Kombiniert man das mit der fast schon per Definition gesetzten Schwierigkeit, diese Partikel zu orten und zurückzugewinnen, kann man das systemisch zusammenfassen zu einem – freilich hypothetischen – Nano-Kolloidrisiko: ultrafeine, ultrastabile, ubiquitäre Dispersion. Bei einigen nanotechnisch isolierten Partikeln muss man als Variante dieses Risikos eine neuartige Reaktionsfähigkeit in Rechnung stellen, die sich in neuen Milieus in unbekannter Weise auswirken kann. Dann treten als weitere Risikomerkmale die Nicht-Intendiertheit und die mindestens eingeschränkte Kontrollierbarkeit der neuen Stoffkonstellationen hinzu.

Auf das Risiko toxischer Wirkungen gehe ich anschließend ein. In anderer Weise nanospezifisch ist jedoch das Risiko, das mit intendierten Katalyse- und Enzymfunktionen von Nanopartikeln einhergeht. Von fern droht natürlich sofort Drexlers ambivalente Faszination durch Nano-Assembler (die sich selbständig machen könnten). Aber man sollte sich davon frei machen und das Risiko ins Auge fassen, dass nanotechnologische Prozesse unkontrolliert Prozess-Schleifen etablieren könnten, dass sich Hyperzyklen stabilisieren und komplexere Systemfunktionen mit beeinflussen oder generieren könnten, die sich im Körpermilieu der Kontrolle entziehen. Da darüber hinaus an der Grenze zu sich selbst erhaltenden Lebensprozessen proto-lebendige Stoffwechsel entstehen könnten, kann man von

einem – wieder spekulativen – Autokatalyse-Autopoiese-Risiko der Nanotechnologie sprechen.

Wir bewegen uns dabei schon im Grenzbereich der Medizin. Aber bereits vor der ökologischen Hintergrundperspektive zeichnen sich nanospezifische Risikokonstellationen ab. Nanopartikel thematisieren in charakteristischer Weise die Grenzen physikalischer, chemischer und biologischer Systeme. Allerdings in dem präzisen Sinn, dass sich genau an diesen Stellen Fragen neuer Art häufen. Es gibt wenig belastbare Antworten und es ist ebenso wenig klar, wo – parallel dazu – bei einer genaueren Risikoanalyse Entwarnung gegeben werden kann.

2.2 Nanomedizinische Risiken

Es ist längst nachgewiesen, dass Nanopartikel alle biologischen Systemgrenzen überwinden können (Mathiowitz et al. 1997). Und es häufen sich Indizien, dass einige Stoffe gerade durch ihre nicht intendierten nanospezifischen Eigenschaften schädigend wirken könnten (Ell 2006; vgl. www.dialog-nanopartikel.de). Im Bereich der medizinischen Risiken reicht eine rein biologische Betrachtungsweise jedoch nicht aus, obwohl sich hier bereits zusätzliche Komplexitätsstufen zeigen, wenn wir den menschlichen Körper unter diesem Gesichtspunkt ins Auge fassen.

Annabelle Hett erläutert im Nanopapier der Swiss Re das potenziell Neuartige nanotechnologischer Risiken am Beispiel der teilweise sich überlagernden Körperabwehrsysteme (Swiss Re 2004, S. 15-26). Da sich bestimmte Versuche bei Menschen verbieten, ist es oftmals nicht möglich, die spezifische Schädlichkeit von Nanopartikeln nachzuweisen, die aufgrund ihrer potenziell höheren chemischen Reaktivität ebenso postuliert werden kann wie aufgrund ihrer Nicht-Abbaubarkeit. Aber überall, wo man die Wirkungsweise der Haut, die verschiedenen Schutzsysteme des Blutkreislaufs, die Blut-Hirnschranke, die Erkennungs- und Wirkungsweise der Immunsysteme genauer ins Auge fasst, erscheint es plausibel, dass sie durch Nanofunktionen gefordert werden – möglicherweise, aber das ist bisher abermals Spekulation, sogar selbst wiederum systemisch: als interagierendes Gesamtsystem, das insgesamt unter anwachsendem Nanostress an seinen internen Grenzen kollabieren könnte.

Das alles ist aber nun vor allem deshalb prekär, weil Nanofunktionen ja nicht zuletzt zum ‚targeting' eingesetzt werden. Jene Abwehrsysteme sollen gerade unterlaufen werden, um damit Wirkstoffe gezielt an bisher gar nicht oder nicht mit der jetzt möglichen Präzision erreichbare Krankheitsherde zu bringen und dort ohne die bisher bekannten Nebenwirkungen

einzusetzen. In anderen Fällen ist synthetische Nanostabilität die Voraussetzung für das gezielte Wachstum neuer Nervenzellen. Man muss medizinisch abwägen – und eben dadurch erweist sich der menschliche Körper als ‚Leib'. Selbst eine ganz eng interpretierte medizinisch-fachliche Entscheidung ist hier unmöglich, ohne die Lebensperspektive des Betroffenen einzubeziehen.

Dann aber sind mit versicherungstechnischen, rechtlichen, wirtschaftlichen, kulturellen Aspekten fast alle Funktionssysteme der Gesellschaft nanotechnologisch thematisiert. Kann es bei den überkommenen Abwägungen bleiben, oder lassen sich auch hier nanospezifische Problemkonstellationen erkennen, die neue Lösungen erfordern?

2.3 Gesellschaftliche Nanoprobleme

Es gibt jedenfalls eine auffällige Häufung von problematischen Grenzkonstellationen der Nanotechnologie. Fassen wir ‚von unten' die Natur-Gesellschaftsgrenze ins Auge, erkennen wir, dass Regelungen Institutionen überfordern, wenn innerhalb eines Innovationsprozesses Grenzwerte und Nachweisgrenzen verschwimmen. Eben dadurch geraten aber auch Versicherungslösungen unter einen spezifischen Stress. Zwar gilt generell, dass ein versicherter noch kein verhinderter und nicht immer ein ersetzter Schaden ist. Aber solche Differenzierungen setzen, wie wir gesehen haben, mit dem Haftungsrisiko eine zurechenbare Vermeidungsmöglichkeit und die mögliche Orientierung an Kontrollgrößen voraus.

Droht hier eine nanotypische Koppelungskatastrophe, so lässt sich auf der anderen Seite der Natur-Gesellschaftsgrenze das Risiko einer Abkoppelungskatastrophe erkennen, in der sich die medialen, politischen und rechtlichen Reaktionen auf einen Nano-Schadensfall von der gesellschaftlichen Ursache lösen und systemisch verselbständigen. Genauer könnte man von einer jederzeit möglichen Nano-generic-Katastrophe oder plastischer von einem drohenden Nano-Asbest-Clash sprechen. In der jetzigen Durchsetzungsphase nanotechnologischer Innovationen könnte ein einziger Schadensfall alle Nanoprodukte für große Verbrauchergruppen schlagartig ähnlich oder auch: genauso prekär erscheinen lassen wie Gentechnik-Produkte. Ein einziger Vorfall kann zur Kommunikationskatastrophe werden und Nanotechnologie nach dem negativen Vorbild der Atomenergie-Technik zum Thema ideologieanfälliger Grundsatzdebatten machen.

In Analogie zum digital divide markiert ein Nano-Divide – der systemische Ausschluss ganzer Nationen, Kulturen, Regionen oder Schichten

vom nanotechnologischen Wissen und Können – ein nanospezifisches Grenzproblem, das zum globalen Risiko werden kann. Und zwar nähert man sich ihm nanotypisch von beiden Seiten. Das amerikanische NBIC-Programm (Abb. 1) hat Furore gemacht, weil hier ‚Nano-, Bio-, Info- und Cogno-Science' zusammenwirken sollen als ‚Converging Technologies for Improving Human Performance' (siehe dazu auch den Beitrag von Fleischer in diesem Band): Konvergenztechnologien, mit deren Hilfe der Mensch – der Kranke, der Konsument, nicht zuletzt: der Krieger – leistungsfähiger gemacht werden soll.

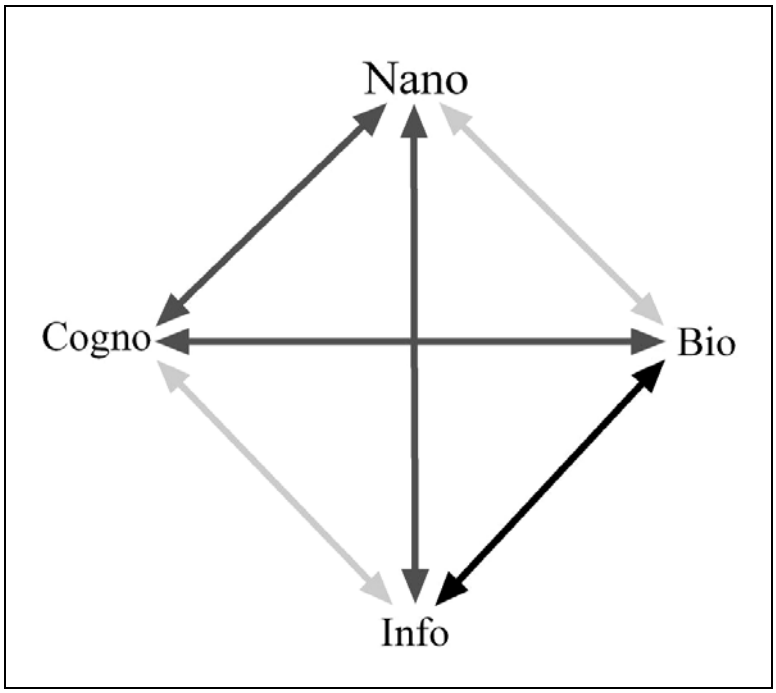


Abb. 1: NBIC-Tetrahedron (Quelle: Roco/Bainbridge 2003, S. 2)

Das NBIC-Mantra lautet:

> „If the Cognitive Scientists can think it, the Nano people can build it, the Bio people can implement it, and the IT people can monitor and control it."[3]

Man kann über die Zielsetzung des Programms empört sein. Aber die eigentliche Herausforderung liegt woanders. Das zu Grunde liegende Funktionsmodell macht wirksamer als jede Definition Nanotechnologie zur Grundlage eines neuen Paradigmas angewandter Forschung. EU-Konzeptionen, die darauf reagierten, schlugen ursprünglich vor, den Kon-

[3] Roco/Bainbridge 2003, S. 13 (nach einem Ausspruch von W. A. Wallace auf der in dem Band dokumentierten Konferenz).

vergenz-Ansatz durch einen radikalisierten Enabling-Ansatz zu überholen, um ihn zu überwinden. ‚Nano-Bio-Info-Cogno-Socio-Anthro-Philo-Geo-Eco-Urbo-Orbo-Macro-Micro': wenn immer mehrere dieser Wissenschaften nach einer gemeinsamen Agenda zusammenwirken, sollten sie gefördert werden. Stattdessen kombiniert der Siebte Rahmenplan allerdings nun vergleichsweise konservativ die Förderung der Nanotechnologie mit einer EU-konformen Begleitforschung, wobei hier nun umgekehrt gefragt werden muss, ob dann wirklich in jedem Fall Konvergenz im Sinne des NBIC-Ansatzes gefördert wird.

Wir haben es dabei mit einer Bottom-up- und einer Top-Down-Angst auf beiden Seiten des Nano-Divide zu tun, die sich in spezifischer Weise kreuzen: Im Kontext des NBIC-Programms will man sicher gehen, indem man angesichts der Bedrohung durch nanoterroristische Potenziale auf Sicherheit durch nanotechnologischen Vorsprung baut. In der EU fürchtet man eher die Unsicherheiten durch die Nebenfolgen des Nano-Divide: sie könnte terroristische Intentionen auslösen. Im amerikanischen NBIC-Programm wird eine neue Art der Non-Proliferation durch beibehaltenen Vorsprung nahe gelegt. Die Europäische Union will durch ihre Fördermaßnahmen einen Nano-Divide gerade verhindern. Hierin sieht sie wohl mit Recht den besseren Weg angesichts einer präziser diagnostizierten Gefahr.

2.4 Problemkonstellation einer Nanokultur

Die Möglichkeiten der Nanotechnologie scheinen ‚nach oben' die kulturell stabilisierten und stabilisierenden Grenzen des Menschlichen in Frage zu stellen. Mit den Grenzen seiner Leiblichkeit könnte seine kulturelle Identität und mit dieser ‚nach unten' die gesellschaftliche Stabilität gefährdet sein. Das apokalyptische Cyborg-Szenario, in dem Mensch-Maschinenwesen die Herrschaft übernehmen, beginnt mit notwendigen Kosten-Nutzen-Abwägungen im medizinischen Bereich und mit eben jener NBIC-Verheißung, die Leistungsfähigkeit des menschlichen Körpers zu erhöhen. Ich erörtere die spezifische Nano-Grenzlogik an der Stelle, wo die Nanotechnologie heute im ‚War against Aging' den Staffelstab von den Transhumanisten übernimmt.

Der Biologe de Grey und der Informatiker Kurzweil kommen, gewissermaßen auf Kondratjeff-Wellen surfend, zu der Erkenntnis, dass mit dem Nanozeitalter die entscheidende Wende im Kampf gegen den Tod gelingen könnte (de Grey 2004; Kurzweil/Grossman 2004). Wenn man den exponentiell ansteigenden Erkenntnis- und Fähigkeitszuwachs der

Menschheit in geeigneter Weise mit ihrer ebenfalls exponentiell steigenden Lebenserwartung kombiniert, dann lässt sich ein im Wesentlichen nanotechnologischer Zentrifugaleffekt prognostizieren, mit dem die Menschheit Alter und Tod ebenso entfliehen kann, wie sie durch Raumfahrt die Schwerkraft der Erde überwunden hat. Die Verheißung lautet:

Wer heute jünger als ca. 50 ist, wird – wenn er seinem Leben nicht selbst ein Ende setzt – mit Hilfe neuer Technologien sein Leben so lange verlängern können, dass er in der jeweils verbleibenden Zeit mit neu erfundenen Technologien sein Leben wieder solange verlängern kann, dass er für immer und ewig im grünen Bereich des Lebens verbleibt (Abb. 2). Und die Menschheit wird dabei mit Sicherheit Zeit genug haben, sich in aller Ruhe der Folgeprobleme anzunehmen (vgl. Röpke 2004).

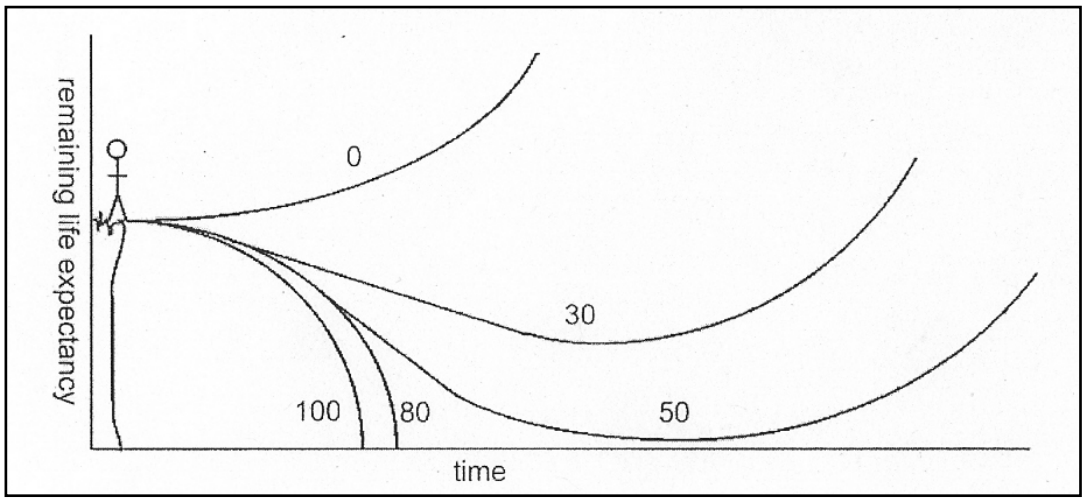


Abb. 2: Todesflucht-Geschwindigkeit (Quelle: de Grey 2004, S. 725)

Ein Menschheitstraum wird wahr durch Nanotechnologie – oder ein Alptraum. Aber geht da alles mit rechten Dingen zu? Das zu Grunde liegende Modell kombiniert den quantitativen und den qualitativen Aspekt durch die Verwendung der Unendlichkeitsvorstellung und konstruiert dadurch etwas Neues. Diese konstruktive Durchbrechung der Grenze von innen ist das Prinzip der Nanotechnologie. Allerdings wird dabei ein Trick angewandt, den sensible Geister im Netz wiederum als typisch theologisch denunzieren. Bereits in der Einführung der Null sehen sie eine Verschwörung, mit der die Theologie sich selbst begründet. ‚Normale' Menschen hören auf zu zählen, wenn sie nichts mehr unterscheiden können (vgl. Orthuber 2004). Gerade der im Nanodialog geschulte Theologe wird heute freilich genau so gegen jenes Modell argumentieren: Die Menschen müssten nicht immer mehr, sondern etwas Bestimmtes rechtzeitig wissen und können, um die Grenzhülle zu durchbrechen, die ihrer Existenz die Lebensform gibt.

Hier angekommen, ist aber die Frage unabweisbar, die uns von Anfang an begleitet hat: Entsprechen den nanospezifischen Problemlagen nicht überall Lösungsansätze, die auf den immer in gleicher Weise ansetzenden Zangen-Zugriff nanotechnologischer Verfahren im Grenzbereich von Systemen reagieren?

3 Nanospezifische Lösungen

In verschiedenen Bereichen, genauer: in verschiedenen Grenzregionen scheint das der Fall zu sein. Hier zeichnen sich nanospezifische Problemlösungen ab. Ich erläutere das ausgehend vom Konzept der inhärenten Sicherheit im Bereich sich überlagernder natürlicher Systeme (3.1), ausgehend vom Engagement der Versicherungen im Nano-Risikoassessment über die Grenzen gesellschaftlicher Funktionssysteme hinweg (3.2) und schließlich am Systeme integrierenden Marburger Modell des Idealen Investors im Nanobereich (3.3).

3.1 Transsystemische Nanosicherheiten im Ökosystem und im medizinischen Bereich

Dass „unten viel Platz“ ist, bedeutet, dass bestimmte Vorgänge dort mit Sicherheit niemals geschehen werden; sie sind naturwissenschaftlich ausgeschlossen. Das in der Atom-Debatte bemühte Prinzip der inhärenten Sicherheit gilt auch im Nanobereich. Viele präzisierbare Befürchtungen für die *ökologische* Systemstabilität lassen sich durch vorhandene oder erlangbare Informationen zerstreuen. Nanospezifisch ist hier der Ausschluss ganzer Ereignisklassen bzw. die Entwarnung vor bestimmten Typen von Nanomaschinen, die nie gebaut werden können, weil die entsprechende Energie- oder Informationsdichte sich prinzipiell nicht erreichen lässt. Andere Gefahren lassen sich durch einfache Konstruktionsregeln verhindern: durch systemische Kontextbegrenzungen oder indem man bei der Herstellung von Nanoprodukten zwischen passiven und aktiven Systemen unterscheidet. Dann kann man durch die Trennung von Energiezufuhr und Funktion nicht nur ganze Klassen von Nebenwirkungen ausschließen, sondern auch nicht intendierte Replikationen. Die Drexler-Smalley-Debatte zeigt hier beides: dass man einerseits gute Argumente erhalten kann, um Horrorszenarien auszuschließen, dass man aber dabei auf präzisierbare Befürchtungen angewiesen bleibt (Bueno 2004). Die Ergebnisse dieser Debatten sind nicht trivial, oft für beide Seiten neu und

nicht mit einer einfachen Entwarnung vor den Risiken der Nanotechnologie im Ganzen zu verwechseln: sie zeigen auch im Detail ein nanospezifisches Profil.

Dies setzt sich über die *Nanobiologie* hinaus in den Bereich der *Nanomedizin* fort, allerdings wiederum in spezifischer Weise. Hier stehen Nano-Risikoabwägungen ja in einem Kontext, der von ‚unten', d. h. von der bisherigen Praxis im Umgang mit neuen Medikamenten und Verfahren herkommend, bereits stark geregelt ist. Unter der Voraussetzung, dass die Funktionssysteme ‚oben' noch oder schon wieder nanostabil sind, scheint es dann kennzeichnend zu sein, dass man sich vorläufig an ‚mittleren Axiomen' orientieren kann: Wenn kein anderer gefährdet ist und wenn der Betroffene zustimmt, dann soll gelten: „Wer heilt, hat recht". Der nanomedizinische Fortschritt kann sich in diesem Zwischenbereich also zunächst an medizinischer Evidenz und den Standardregeln orientieren.

Allerdings präzisieren sich durch diese Lösung die Fragen an die anderen Funktionssysteme. Sind die Haftungs- und Versicherungsregelungen, ist das Wirtschafts- und Rechtssystem nanostabil? Und gilt das auch für die kulturelle Orientierung der Menschen, die innerhalb dieser Systeme zu entscheiden haben? Gibt es dort ebenfalls Hinweise auf Nanolösungen für Nanoprobleme?

3.2 Transsystemische Nanosicherheiten in der Zivilgesellschaft

Die *versicherungstypische* Nanolösung scheint eine Differenzierung zu sein, die Funktionssysteme zugleich koppelt und entkoppelt. Das Grundmuster zeigt sich bereits in der Unterscheidung von möglichen, realen, haftungsrechtlich erfassbaren, versicherbaren und versicherten Schäden (Abb. 3).

In dieser Tradition hat man auch zunächst versucht, das Nanorisiko zu kalkulieren. Und dabei haben sich eben durchaus nanospezifische Muster abgezeichnet. Weil Nanoprodukte bereits weit verbreitet sind, aber jeweils hoch spezifisch produziert und distribuiert werden, wird man die Verantwortung für die dann möglicherweise nicht mehr selten eintretenden hohe Schäden ziemlich genau Herstellern, Vertreibern und Anwendern zuordnen können (Abb. 4).

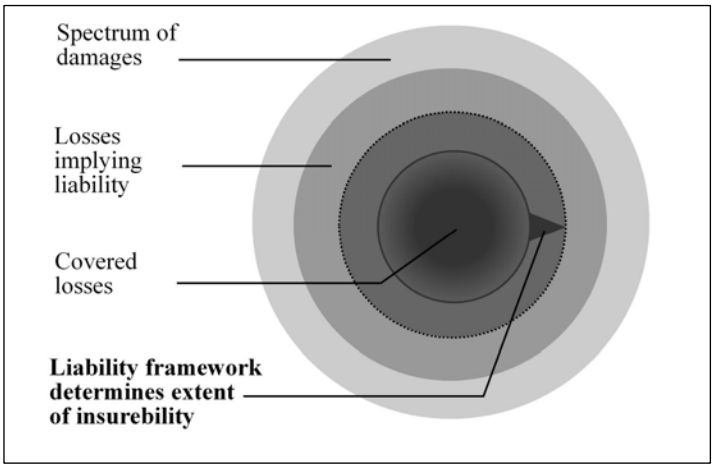


Abb. 3: Versicherbarkeit im Haftungskontext
(Quelle: Meili 2006, S. 19)

Es ist genau diese Vorkalkulation, die die Versicherungswirtschaft dazu bewogen hat, auf das Nanorisiko mit einer neuen Differenzierung zu reagieren. Beim proaktiven Risikomanagement geht es darum, die Eintrittswahrscheinlichkeit und durch ein impliziertes Katastrophenmanagement auch die Schadenshöhe derart zu begrenzen, dass die Versicherungen schließlich nur noch ein Restrisiko versichern müssen – und können (Münchner Rück 2002, S. 15; vgl. Meili 2003, S. 34ff.). Spätestens die dadurch erforderliche Kooperation aller Beteiligten ist dann nanospezifisch.

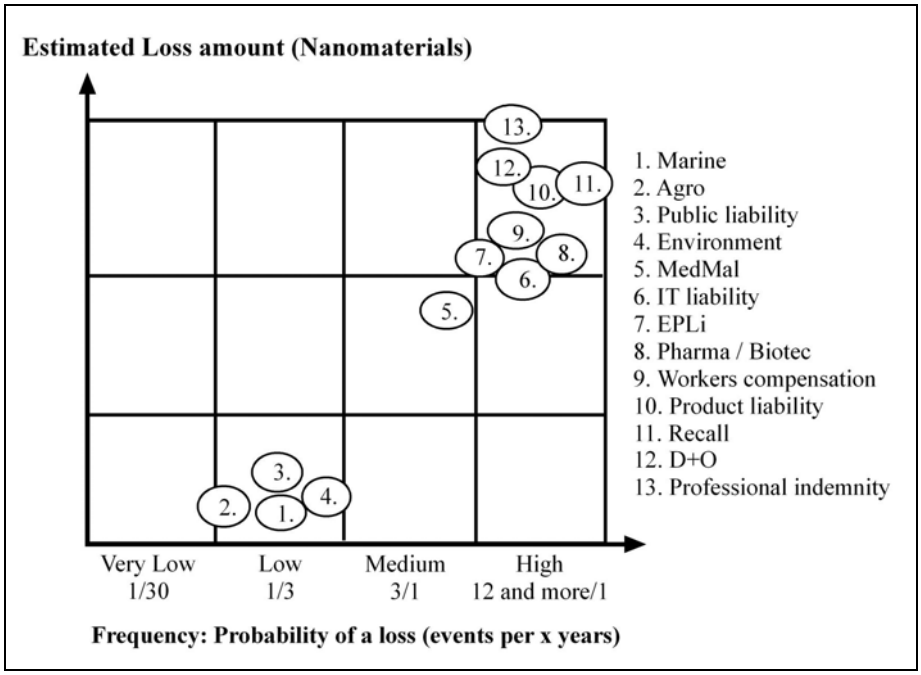


Abb. 4: Nano-Versicherbarkeit im Haftungskontext
(Quelle: nach Münchener Rück 2005 bei Meili 2006, S. 19)

Das zeigt sich spätestens dann, wenn sich bei der Betrachtung der *‚Societal and Ethical Implications of Nanotechnology'* ‚creative engineering' als kennzeichnende Nahtstelle innerhalb der gesellschaftlichen Funktionssysteme erweist. Joachim Schummer hat anhand einer Nanoveröffentlichungs-Analyse Themen, Akteure und ihre Bedeutung für den gesellschaftlichen Wandel untersucht. Das zunächst erstaunliche Ergebnis ist, dass die Gruppen der Nanowissenschaftler mit ihrem Fachwissen, der Toxikologen und Umweltwissenschaftler mit ihren fachwissenschaftlich begründeten Bedenken, der Politiker und der Medien, aber auch wir Kultur- und Sozialwissenschaftler als relativ unwichtig ausscheiden. Wichtig bleiben die Ängste und Hoffnungen der Geschäftsleute sowie die sich gegenseitig inspirierenden Visionen der Science-Fiction-Autoren und der Transhumanisten – weil es im kreativen Kern der Nano-Entwicklungen eben um den Austausch von Inspirationen geht zwischen ihnen und den ‚Ingenieuren mit Vision' (Abb. 5). Ihnen kommt für die weitere Entwicklung der Nanotechnologie eine Schlüsselrolle zu (Schummer 2004).

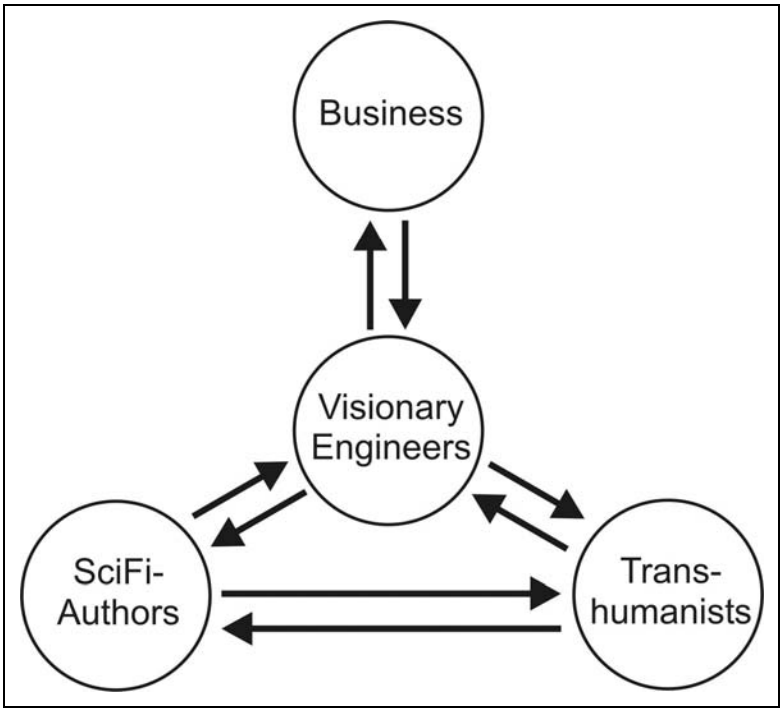


Abb. 5: „Visionary alliance in the debate on ‚societal and ethical implications of nanotechnology'" (Quelle: Schummer 2004, S. 81)

Entwicklung ist aber hier die Sache selbst. Und eine Kooperationsstruktur, die diese Dynamik kooperativ integriert, hätte uns dann schließlich auf den Weg einer sachgemäßen und wirksamen Nanoregulierung geleitet, die sich am Nanoprofil orientiert.

4 Orientierung am Nanoprofil

Überblicken wir das Spektrum nanospezifischer Probleme und Lösungen, so zeichnet sich jeweils am Schluss und spätestens beim Vergleich durchaus ein gemeinsames Profil ab. Im Überblick tritt zudem die Lego-Logik der Nanobausteine hervor, die funktionieren, indem sie die Spannung an Systemgrenzen nutzen, um diese stabil zu überbrücken. Eben hieran werden wir uns aber von Anfang an orientieren müssen, wenn wir nach zugleich präzise passenden und stabilen Regelungen für den gesamten Regulierungsbereich Nanotechnologie suchen.

Ich gehe zunächst auf jene Bausteine als Dritte Größen ein (4.1). Da sie grenzstabile Regeln ermöglichen, könnten sie sich als Voraussetzung einer Regulierung erweisen, die dem Nanoprofil gerecht wird. Ich mache dazu Vorschläge (4.2) und frage vor diesem Hintergrund noch einmal nach der Notwendigkeit einer eigenen Nanoethik (4.3).

4.1 Nano-Orientierung an Dritten Größen

Es gibt gemeinsame Merkmale aller profilbildenden Knotenpunkte bei Nanoproblemen und Nanolösungen: Erstens erweist sich jedes Muster, das dort auffällt, als Teil eines übergreifenden Risiko- und Lösungsprofils. Zweitens: Indem die konkret benennbaren Profilbausteine mit ihrem spezifischen Muster Systemgrenzen überbrücken, erzeugen sie die Informationen, ohne die sich die jeweils intendierten nanotechnologischen Funktionen letztlich nicht realisieren – oder nicht zuverlässig kontrollieren lassen. Und drittens verweisen Informationen wie Muster letztlich auf jene diskreten Zustände oder disruptiven Ereignisse im Kernbereich der Nanotechnologie, die dort gern als ‚Sprünge' bezeichnet werden und als definitorisches Merkmal der Nanotechnologie gelten. So kann man von jedem Teil her mehr oder minder gut auf die Nanotechnologie unserer Gesellschaft und unserer Kultur schließen, wie sie sich hier und jetzt entfaltet und die wir hier und jetzt mitgestalten: ob wir uns entscheiden oder nicht, ob wir dabei versagen oder ob uns dies gelingt.

Wir haben es also mit einer Art Nano-Hologramm zu tun. Hologramme sind sehr störungsresistent und überlieferungsstabil, und sie erlauben eine Annäherung von allen Seiten. Sie werfen allerdings spezifische Orientierungsprobleme auf, wenn sie etwa uns in unterschiedlichen Funktionssystemen unserer Gesellschaft mehr oder weniger deutlich entgegentreten und wenn wir versuchen, sie deutlicher werden zu lassen, indem wir uns

ihrer Mitte nähern. Die gibt es eben nicht. Dennoch habe ich in unserer NanoGroup gelernt, mich von den Effekten her, die die Nanotechnologie in anderen Funktionssystemen auslöst, immer neu auf die eigentlichen Nano-Aktivitäten zu konzentrieren und mich daran zu orientieren. Das ist notwendig um der Menschen willen, die hier wie dort von möglichen Regelungen betroffen oder auf sie angewiesen sind – und das gelingt, wenn man sich hier wie dort auf die Menschen konzentriert und sich von ihnen auf den Weg zur Sache führen lässt, die sie bewegt und die sie bewegen. Dann zeigt sich, dass die Rede vom Nano-Hologramm weder eine Metapher noch eine bloße Analogie ist. Sie verweist darauf, dass unterschiedliche menschliche Aktivitäten nicht nur durch Kontiguität und Kontinuität miteinander verbunden sein können, sondern auch durch gemeinsame Orientierungsmuster. Diese sind nach allem, was wir wissen, holographisch gespeichert. Aber im Fall der Nanotechnologie wissen wir mehr.

Quantensprünge, von Elementzahlen abhängige Einsätze von Nanofunktionen, aber auch zunächst scheinbar skalenabhängige Nanofunktionen sind die digitale Reduktion eines Gestaltmusters, das durch die Messanordnung wesentlich mitbestimmt ist. Die Nanotechnologie orientiert sich selbst im Kernbereich durch eine Art Dopplereffekt, indem sie zum einen in einem kontinuierlichen, Intentionen, Incentives und Erfahrungen verarbeitenden Verfahrenszusammenhang diese Anordnungen weiter entwickelt, zum anderen von diesen nicht beliebigen technischen Voraussetzungen aus immer wieder neu Oberflächen als Systemgrenzen ins Auge fasst. Die Feinjustierung gelingt hier nur durch Dritte Größen: Einheiten die intern wie René Thoms' katastrophentheoretisches Modell aufgebaut sind.

In ihm erweisen sich Sprünge auf der Kontrollebene stets als Projektionen von unzugänglichen ‚Falten' der Verhaltensoberfläche eines übergeordneten Systems (Abb. 6). Man erkennt dessen charakteristische Eigenschaften nur, wenn man aus der Ameisenperspekive heraustritt, nicht auf diesen ‚Falten' als dichten Oberflächen herumspaziert, sondern sie aus der Distanz als Diskontinuitäten thematisiert. Diese aber versteht man wiederum nur, wenn man sie von den Systemeigenschaften her als unendlich porös, als immer neu sich öffnende Löcher zwischen den Systemelementen interpretiert. Im einen wie im andern Fall ermöglicht ein anderes Verhalten einen Dimensionssprung der eigenen Wahrnehmung und erschließt ‚etwas Neues'.

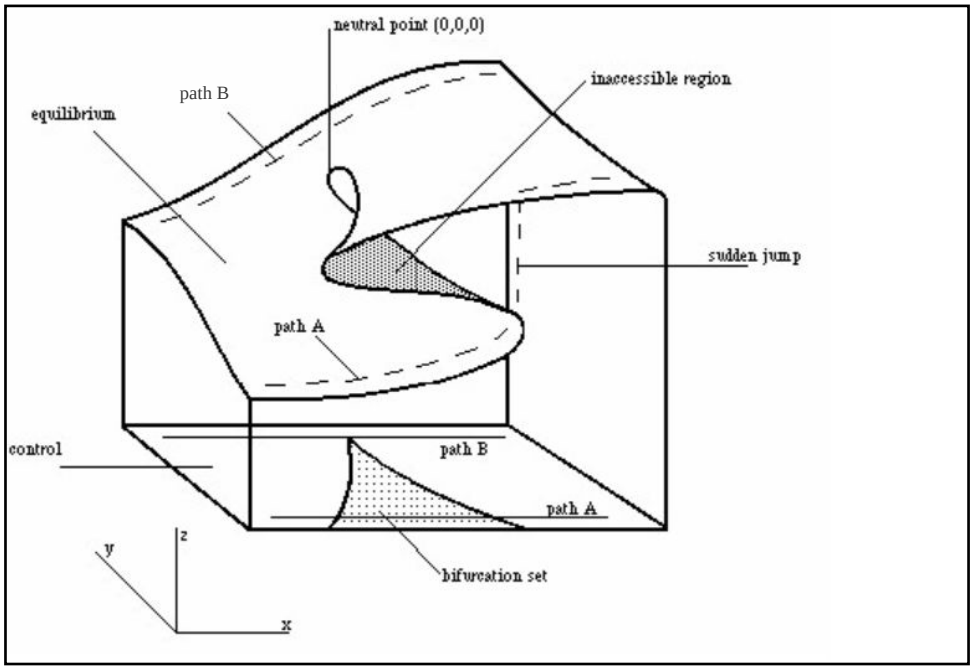


Abb. 6: Kontrollebene und Katastrophenraum
(Quelle: van der Maas/Molenaar 1992, S. 397; reproduziert mit Erlaubnis der American Psychological Association)

Das heißt gerade nicht, dass dies etwas rein Subjektives, nicht Reproduzierbares ist. Vielmehr erweist sich jene ‚hinkende Alternative' über eine Systemgrenze hinweg als kennzeichnend für einen bestimmten Erkenntnistyp. Wir müssen dabei über eine Systemgrenze blicken, weil das intendierte Objekt seine spezifischen Informationen nur im Kontrast zweier sich ergänzender oder sich überlagernder Kontexte zu erkennen gibt. Die eine Grundoperation, die Luhmanns mathematischer Gewährsmann Spencer Brown als „Draw a distinction" beschrieben hat, lässt die ‚Laws of Form' in und zwischen allen Systemen hervortreten. Die Anweisung bedeutet nämlich eigentlich, Hinter- und Vordergrund zu unterscheiden. In der Regel und im Alltag halten wir allerdings den Hintergrund stabil und orientieren uns nur an unterschiedlichen Merkmalen der Form im Vordergrund. Erst wenn die spezifischen Informationen eines angrenzenden oder eines umgrenzten Systems in einem Kontext interpretiert werden, der gemeinsamen Systemeigenschaften gerecht wird, erscheint etwas Neues in einem neuen Licht. Dazu muss innerhalb einer Reißverschlusstheorie die Perspektive ‚von oben' mit der ‚von unten' verzahnt werden. Wir operieren über Dritten Größen, die den qualitativen und den quantitativen Aspekt miteinander vereinen. Das setzt eine spezifische Verzahnung von Reflexions- und Kontrolltheorie voraus: eine Reißverschlusstheorie, für die die konstruktive Verwendung der mathematischen Unendlichkeitstheorie konstitutiv ist.

Vielleicht verweist diese Theorie sogar auf den kreativen Grundzug der Wirklichkeit überhaupt. Die Wirkung einer Orientierung an Dritten Größen scheint darauf hinzuweisen. Bei der Nanotechnologie ist diese Orientierung zum Wirkungsprinzip geworden. Das erklärt ihre besondere Faszination, macht aber auch die Gleichzeitigkeit von Wirkungsmöglichkeit und Risikoträchtigkeit der Anwendung verständlich, die wir in ihrem Kontext durchgängig beobachten. Jenes Modell erlaubt jedenfalls von jedem beliebigen Anwendungsfall aus die Hinorientierung in Richtung auf das kreative Zentrum dieser Technologie. Denn als charakteristisch in unterschiedlichen Kontexten erweisen sich immer wieder die spezifischen Überlappungen, die eben durch die Nanobausteine gewährleistet werden. Die kulturellen Horizonte, die die Nanotechnologie eröffnet, machen sich an den institutionellen Rahmenbedingungen fest, in denen sich die Nanotechnologie entfaltet hat und diese stützen sich auf technologische Voraussetzungen, die sich immer mehr verdichten, bis sie zu den Produktions- und Laborbedingungen der Nanotechnologie selbst werden.

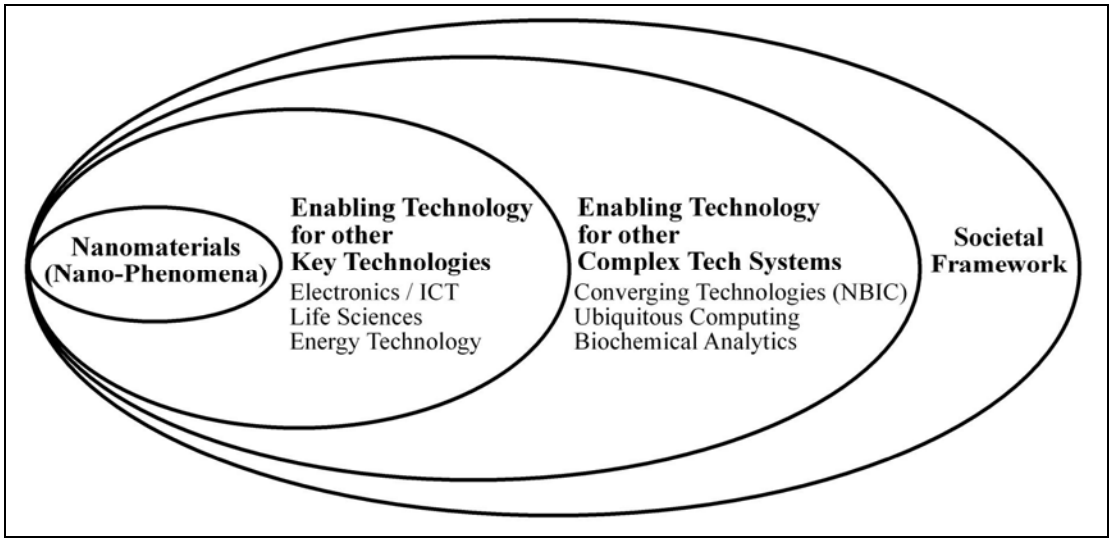


Abb. 7: Nano-‚Blasenmodell' (Quelle: nach Fleischer in diesem Band, S. 56)

Bei den charakteristischen systemischen Verkettungen und Überlagerungen im ‚Blasen-Modell' (Abb. 7) des nanotechnologischen Zusammenhangs sind es jedes Mal bestimmte Intentionen der Beteiligten, die das Gesamtprofil der Nanotechnologie prägen. Im Zentrum fällt allerdings eine Entscheidung darüber, was allen anderen möglich sein wird. Hier wird die entscheidende Weiche gestellt, weil sich im Praxiskontext angewandter Forschung eine dieser Intentionen so präzisiert hat, dass man sich modelldefinierten Grenzgestalten von Systemen mit einer bestimmten Hypothese nähern kann. Diese verpufft nicht mehr im diffusen Hintergrund weiterhin möglicher Ausdifferenzierungen im unendlich Kleinen.

Entweder dieser verschließt sich einem schroffen Nein – oder eine Türe öffnet sich, und der Fragende erhält die Auskunft, die er braucht, um die intendierte Funktion realisieren zu können – auch und gerade dann, wenn sich hinter jener ersten Türe immer neue öffnen, in denen bereits ‚hier unten' jene Ausgangsinformation stets neue Bedeutungsdimensionen enthüllt (und neue Anwendungsmöglichkeiten sich eröffnen).

Man könnte daher gerade vom Beispiel der Nanotechnologie ausgehend Defizite der angewandten Innovationsforschung überwinden und mehr über Innovation und über die Struktur und damit über Förderungsmöglichkeiten von Innovationsprozessen lernen. Was wir aber jetzt schon wissen müssen und wissen können: Eine eingreifende Regelung setzt die Orientierung an Dritten Größen voraus, die wie bei einer Münze immer einen Namen und eine Zahl unauflöslich verbinden müssen, wenn sie orientieren, d. h. gelten und wirken sollen.

4.2 Regelorientierung am Nanoprofil

Das für die Nanotechnologie grundlegende Prinzip des Erkenntnisgewinns an Systemgrenzen weist uns auf den Weg der Induktion und es verweist uns gleichzeitig auf das Nanoprofil im Ganzen. Wir müssen den ‚hinkenden Alternativen' folgen, die wir bei nanospezifischen Lösungen beobachten und vor die uns nanospezifische Probleme stellen. Dritte Größen und Reißverschlussverfahren machen dies möglich. Sie zeigen aber auch, warum eine Regelung, die stattdessen ausschließlich über ein- und ausgrenzende Definitionen operiert, am systemübergreifenden Nanoprofil ins Stolpern geraten muss, während wir dennoch auf die Kontinuität von regelnden Verfahren und auf regelnde Organisationen angewiesen bleiben, die deren Qualität, ja deren Kultur dauerhaft gewährleisten. Die offene Frage ist, ob und gegebenenfalls wie wir im Falle der Nanotechnologie auch den Regulierungstypus und den Typus der regelnden Organisationen modifizieren müssen, damit einzelne Regeln greifen können. Ich will das nicht weiter kategorial analysieren und ins Grundsätzliche vertiefen, sondern zum Zwecke der ethischen Verständigung Knotenpunkte benennen, wo meiner Ansicht nach angesichts von Alternativen, die jetzt schon sichtbar geworden sind, Empfehlungen auf der Hand liegen. Ich fasse dazu die bisherigen Ergebnisse zu der Regulierungsmaxime zusammen, dass Nanoregulierung die Verwendung Dritter Größen nicht ausschließen darf, konkrete Nanoregelungen (als Praxis wie als Regelwerke) sich an ihrer Anwendung orientieren und einzelne Regeln sie so oft wie möglich anwenden sollten.

Nanoregulierung

Regelsetzende Organisationen sollten sich in der gegenwärtigen Situation an der Versicherungswirtschaft orientieren. Immer da, wo nicht genügend Informationen zu Verfügung stehen, sollte gelten:

Im Zweifel für Nano-Risikomanagement! Man muss hier keinen Paradigmenwechsel fordern und auch keine Sonderregelung für die Nanotechnologie verlangen. Aber man kann durchaus von einer strategischen Alternative sprechen, die die bisherige institutionelle Monopolposition der klassischen TA in Frage stellt. Zwar ist auf institutionelle Kontinuität zu achten, aber dabei geht es eben nicht um eine bloße Fortschreibung des Alten, sondern um dessen Anschlussfähigkeit.

Nanoregulierung sollte die interne und externe Kohärenz der Nanoregelungen sichern. Interessanter sind die institutionellen Konsequenzen, die erkennbar werden, wenn regelnde Institutionen anstreben, überall da ein Nano-Risikomanagement sicherzustellen, wo ein Nano-Risikoassessment nicht sicher ist. Das Regulierungsprinzip *der fortlaufenden Kohärenz* erzwingt dann den Übergang vom Vorsorgeprinzip zum Nano-Regulierungsprinzip vorlaufenden Handelns. Das *proactive principle* positioniert die Nanoregulierung genau zwischen eine Regulierung, die dem *precautionary principle* folgt, und eine Regulierung nach dem *‚proactionary principle'*, die die Beweislast für verhindernde Regeln allein den Regulierern aufbürdet – unter der Voraussetzung, dass diese Regulierung sich in der Folge über Dritte Größen am Nanoprofil ausrichten wird und Nanoförderung prinzipiell einschließt.

Darauf verweisen schon die Konsequenzen aus dem Raum- und Zeithorizont einer sachgemäßen und wirksamen Nanoregulierung. Wegen der Dynamik und der Reichweite der Nanoprozesse und der transsystemischen Tiefe, die das Nanoprofil bezeugt, gilt als Nano-*Regulierungsprinzip* einerseits *der Universalisierungstest*:

Nanoregeln sollten global gelten können.

Anderseits gilt als Nano-*Regulierungsprinzip* der Rückmeldetest (*ping-principle*): *Nanoregeln sollten controllingfähig sein.*

Nanoregelung

Im Übergang empfiehlt sich die *Orientierung von Nanoregelungen an Axiomen mittlerer Reichweite (‚middle axioms')*, die einerseits an bewährte Regelungen anknüpfen, anderseits das transsystemische Nanoprofil abtasten wie ein Rastertunnel-Mikroskop (RTM). Die *durchgängige Orientierung an Dritten Größen* stellt hier sicher, dass dies mehr ist als eine Metapher. Wo die transsystemische Kontinuität nicht gewährleistet ist, verweist dieser Ausdruck mindestens auf eine *Analogie zwischen den re-*

gelnden Verfahren und den zu regulierenden Vorgängen, an denen man sich beim Regulieren ebenso wie beim Regeln orientieren kann.

Wir sollten auf Nanorisiken mit Nanoregeln reagieren, aber uns dabei eher darauf konzentrieren, *vor dem Nanostaub die Nanofilter* zu entwickeln als zu versuchen, Nanosicherheit durch die Nano-Organisation von TA zu gewährleisten. Daraus ergeben sich vor allem Hinweise auf nano-adäquate institutionelle Regelungsstrategien. Sie betreffen die:

Institutionalisierung von Rückmeldemechanismen für jede Nanoregelung:

- durchgängige Hinsicht und Aufsicht über Organisationen, die (regelnd) Nano-Risikokomanagement betreiben;
- *durchgängige* Etablierung von *Regelungsevaluation*.

Institutionalisierung von (Nano-Wissensmanagement als) Lernverfahren, d. h. Etablierung von Lernprozessen, die aus Nanolösungen zuverlässig immer weiter reichende *stabile Nano-Orientierungsmuster generieren:*

- nach ‚unten': Regelorientierung an inhärenten Nanosicherheiten, Regelkoppelung zyklischer Nanofunktionen an Unterbrechungsmechanismen, Orientierung der Nanomedizin an sich bewährenden Heilmethoden (vgl. ‚Nanolösungen')
- nach ‚oben': funktionierende Absprachen, umfassende Bildung und Ausbildung der Nanoforscher und -techniker, vertrauenswürdige Nanokommunikation (s. u.).

Institutionalisierung von Nano-Vorzugsregeln:

- typologischer Vorrang für nanospezifische Regeln (s. u.; Test: *Jedes Nano-Regelwerk sollte eine nanospezifische Regel enthalten*)
- methodisch: *Verfahrensvorrang für die ‚creative engineers'* (s. o.)
- inhaltlich: *Ergebnisvorrang für die am meisten Betroffenen/am meisten Bedürftigen*

<u>Nanoregeln</u>

Etablierte Regeln lassen sich in Nanoregeln verwandeln, wenn sie über Dritte Größen auf Abschnitte des Nanoprofils ausgerichtet werden. Als Maxime kann hier die stets aktuelle Ruhrgebiets-Trainerweisheit gelten:

„Wichtig is auf'm Platz" (Adi Preißler).

Genau dies erfordert dann die Implementierung transsystemischer, transnationaler und transkultureller Bezüge. Für Regelwerke ergeben sich daraus pragmatische Regel-Testverfahren:

- Einige Nanoregeln sollten *nanospezifisch* sein. (Es sollte zu Störungen führen, wenn Nano-Namen gegen andere Namen ausgetauscht werden.)
- Einige Nanoregeln sollten *Zahl, Zeit-, Ort und Namen*sangaben enthalten.
- Einige Nanoregeln sollten auf Trans National Actors verweisen (*TNA-Test*).

Gute Nanoregeln und deren Fortschreibung fördern durch transsystemische Kontakte die Organisationskultur in und die Vernetzung zwischen regelnden und geregelten Organisationen. Das ermöglicht ein funktionierendes (und förderndes) Controlling durch einfache Tests.

- Nanoregeln sollten *regelmäßige Kontakte zwischen regelnden und geregelten Organisationen* erforderlich machen (*Terminkalender-Test*).
- Nanoregeln sollten auf beiden Seiten die institutionalisierte *Repräsentanz von Verbraucherverbänden, Anwendergruppen und Vertretern der Öffentlichkeit* erforderlich machen (*Einladungslisten-Test*).
- Nanoregeln sollten *direkte Kontakte zu dissidenten Einzelnen* erforderlich machen (*Adressbuch-Test*).

Nanoregeln sollten die Produktion und die Distribution von Nano-Erzeugnissen umfassend und sicher regeln.

- Was immer Nanoregeln im Einzelnen regeln: Es sollte *ausgeschlossen sein, dass ihnen auch nur ein einzelnes nanotechnisch hergestelltes Produkt im Anwendungsbereich entgeht* (*Container-Test*: zu sichern z. B. durch eine umfassende Auszeichnungspflicht und durch die ‚weite' Definition der Nanotechnologie, die skalenabhängige Effekte erfasst; Schmid et al. 2006, S. 261-285: ‚Scaling Effects').
- Wie immer Nanoregeln im Einzelnen regeln: Es sollte *ausgeschlossen sein, dass ihnen auch nur eine einzige schädigende Funktion entgeht*, die z. B. durch die geltenden Regeln für neue Chemikalien erfasst ist (*REACH-Test*; vgl. Kommission der Europäischen Gemeinschaften 2003; zu sichern durch Maßnahmen wie Life-cycle-Assessment).

Ich empfehle zusätzlich, sich gerade von einzelnen Regeln ausgehend immer wieder transsystemisch ‚nach oben' und ‚nach unten' abzusichern.

- Bleiben die Regeln *anschlussfähig an die Kontroll- und Reflexionsverfahren der Innovationsforschung*? (‚Integral Innovation'-Test; s. u.)
- *Orientiert oder desorien*tiert die Regel-Anwendung junge Nanowissenschaftler? (Löst sie Blockaden aus, macht sie sie nachdenklich, fördert sie Bildungsprozesse?) (‚Young Scientists'-Test; s. u.)

Angelangt in den Niederungen nanotechnologischer Regel-Praxis: nur hier ‚unten' nahe bei den Praktikern und im Kontakt mit Anwendern, Verbrauchern und einer kritischen Öffentlichkeit lässt sich wieder Sicherheit gewinnen. Das Vorhandensein bestimmter Regeln für die Nanotechnologie, deren formale Beschaffenheit und deren Funktionsfähigkeit lassen sich durch einfache Tests, durch Abfragekataloge und durch die Überprüfung von Rückmeldemechanismen überprüfen. Vermutlich wird sich auch langfristig dieses Nanoregel-Controlling durch konventionelle Regulierung sichern und fortschreiben lassen. Jedenfalls gewinnen wir durch sauberes ethisches Handwerk Zeit, um weitergehende institutionelle Entscheidungen politisch solide vorzubereiten.

Wie sich am Schluss bereits andeutete, kann man aber auch in diesem Kontext mehr tun, als nur zu regeln, um besser auf eine von der Nanotechnologie geprägte Zukunft vorbereitet zu sein.

Der Ideale Investor: ein Nano-Orientierungsmodell

Wir arbeiten in der Marburger NanoGroup am Innovationsthema, und ich bin sicher, dass wir durch die Konzentration auf die Nanotechnologie den gemeinsamen Algorithmus, der allen Innovationsvorgängen zu Grunde liegt, schneller auf die Spur gekommen sind, als dies offensichtlich in der klassischen Innovationsforschung der Fall ist. Bereits in unseren ersten Erfahrungen in inter- und transdisziplinärer Zusammenarbeit zeichnen sich Orientierungsalternativen ab, die über den sozialethischen Bereich hinausweisen. Zugleich können wir in diesem Kontext beispielhaft zeigen, wie die verschiedenen Regelungsaspekte der Nanotechnologie zusammenwirken können, um eine für Produzenten und Nutzer förderliche Nano-Orientierung der Gesellschaft wahrscheinlicher zu machen.

In der Marburger NanoGroup gehen wir wie die Europäische Akademie bei ihrem Definitionsverfahren der Nanotechnologie prinzipiell induktiv vor. Aber wir erproben Orientierungsmuster, die selbst von der Art Dritter Größen sind, um den Strukturgesetzen gerecht zu werden, die sich im nanotechnologischen Innovationsfeld insgesamt abzeichnen. Um die Kontinuität zum Verfahrensalgorithmus nanotechnologischer Innovationen zu gewährleisten, habe ich im Dialog und im Erfahrungsaustausch mit den

anderen Mitgliedern der Marburger Nanogroup das sozialethische Modell des ‚Idealen Investors' entworfen. Dieser integriert nicht nur die Stakeholderinteressen, wie sie sich im normalen Wirtschaftsprozess äußern. In unserem ‚Nanomodul' muss er sicher sein, dass die Produkte aus integrer, d. h. sowohl wissenschaftlich erfolgreicher als sich auch gegebenenfalls rechtzeitig selbst Regeln setzender Forschung hervorgehen, damit der politische und zivilgesellschaftliche Konsens für die Drittmittelbewilligung gewahrt bleibt. Gleichzeitig müssen die Produkte sowohl auf dem Markt nachgefragte Funktionen aufweisen können als auch Sicherheits-, Sozial- und ökologische Standards im sensiblen Umfeld einer neuen Querschnitt-Technologie erfüllen. Denn nur wenn die neuen Produkte sich auch als gesellschaftlich integrierbar erweisen, ist die Refinanzierung über den Kapitalmarkt gesichert.

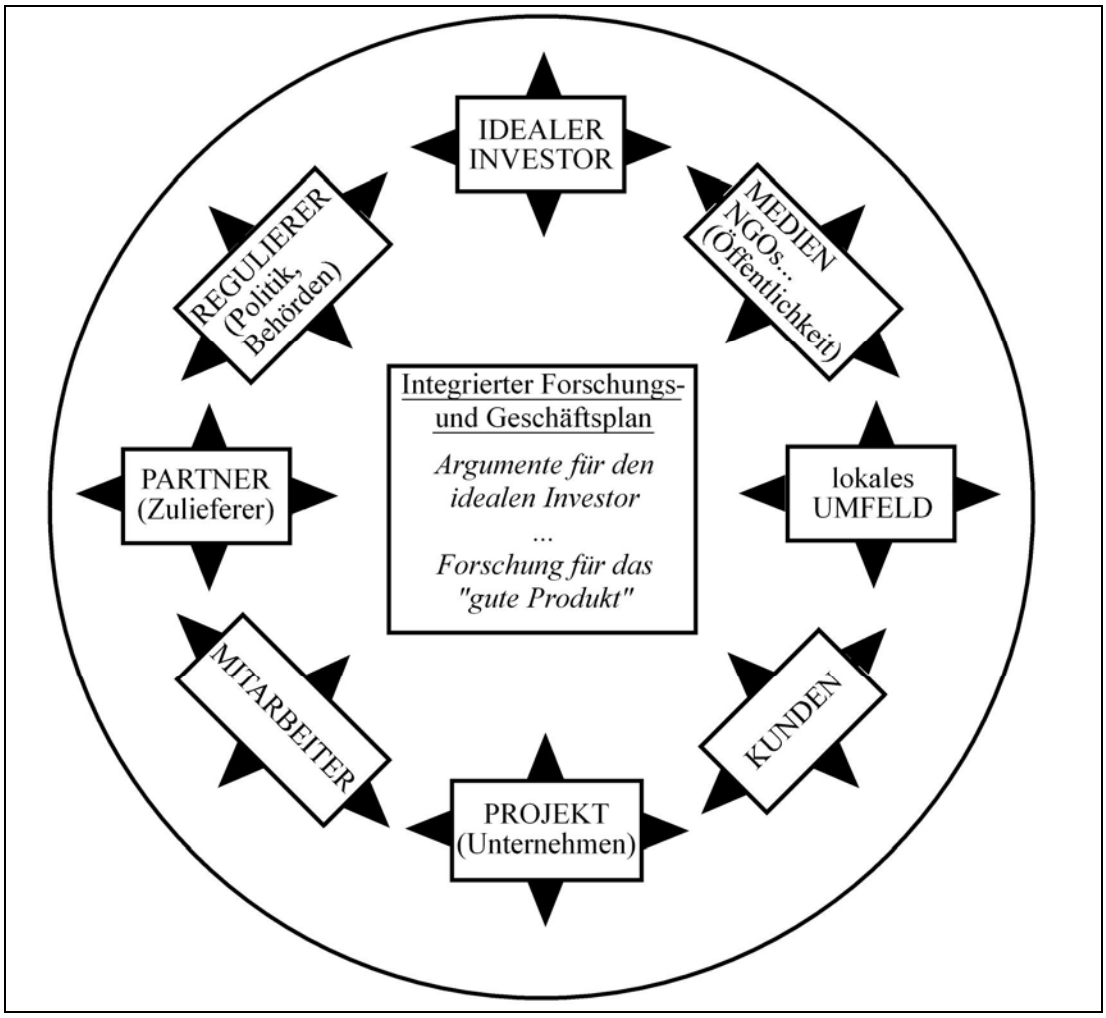


Abb. 9: ‚Integral Innovation': Modell des Idealen Investors
(Quelle: NanoGroup Marburg)

Die Antworten, von denen dieser Investor zu Recht überzeugt wäre, würden also im Nanobereich jeweils Qualität und Quantität messen und kon-

trollieren und so exemplarisch ‚Integral Innovation' sichern. Die Leitvorstellung der Marburger NanoGroup funktioniert damit in einem Innovationsmodell! Denn in der Nanotechnologie, in der der innovationsethische Kern unserer epochalen Orientierungsprobleme zu Tage tritt, bietet sich nicht nur ein Ansatzpunkt zur besseren Bewältigung auch jener anderen Regelungsprobleme, die uns in unserer Übergangssituation bedrängen. Meiner Überzeugung nach haben wir uns gerade durch die nochmalige Konzentration auf ethische Aspekte der Nanotechnologie mit dem Innovations- zugleich dem Schöpfungsalgorithmus angenähert, an dem sich eine nachhaltig erfolgreiche Technologie orientieren sollte. Jenes Ergebnis kann man zwar auch anders deuten, aber es führt zurück zu unserer Ausgangsfrage.

4.3 Fazit: Brauchen wir eine Nanoethik?

Brauchen wir also eine eigene, eine neue Nanoethik? – Ja und Nein. Ziel ethischer Institutionen kann nur die Herstellung einer gesellschaftlichen und kulturellen Metastabilität nach der Nanotechnologie sein. Die Gleichgewichtsschwankungen, die sie bereits jetzt verursacht, lassen auf eine spezifische Gestalt der Nanotechnologie schließen. Singuläre transsystemische Konstellationen bilden ein charakteristisches Profil. Adäquate Regelungsgrößen müssen darauf reagieren können, auch wenn die Regeln selbst nicht notwendigerweise nanospezifisch sein müssen. Allerdings muss das Ergebnis der Regulierung Nanotechnologie tatsächlich wirksam regeln können und sich daran messen lassen.[4]

Es sind also nicht die einzelnen Regeln, sondern es sind schließlich die Regel setzenden Institutionen und die kontrollierenden Organisationen, die ihren nanospezifischen Tauglichkeitstest bestehen müssen. Wo und wie immer wir den Gödeltest auch ansetzen, wir entgehen jenen ‚hinkenden Alternativen' nicht, die uns unterwegs immer wieder auf konkrete Anwendungsfälle im Grenzgebiet bestimmter Systeme verwiesen haben. Wir müssen gemeinsam weiter überlegen, was das sich abzeichnende Problem- und Lösungsprofil im Kontext unseres politischen Systems bedeutet und welche Forderungen sich daraus ableiten lassen. Um diese durchzusetzen, sollten wir uns nach demselben kooperativen Modell organisieren, das Versicherungen zur Begrenzung potenzieller Schäden vorschlagen.

---

[4] So würde ich meine in Iserlohn ausgesprochene Forderung nach nanospezifischen Regeln im Anschluss an die dort geführten Gespräche präzisieren.

Ich selbst kann mit diesem vorläufigen Ergebnis gut leben. Denn die entscheidende Frage lautet ja jedes Mal, nach welchen Maßstäben wir innerhalb dieses dynamischen Systems entscheiden, das sich da entfaltet, indem es uns involviert. Hier kann ich als Sozialethiker das kollektive Wissen unserer Traditionsgemeinschaft so einbringen, dass es die Nanotechnologie nicht mehr bloß reagierend, sondern vorlaufend orientiert. Unser Kulturkreis ist gut damit gefahren, dass die Grenzen des gesellschaftlichen Systems von außen und von unten, d. h. von den Interessen der Ausgegrenzten her, in Frage gestellt wurden. Das sollte uns dazu motivieren, die Interessen der nicht Anwesenden oder derjenigen, die sonst überhört werden, in die anstehenden Gespräche einzubringen. Ich bin davon überzeugt, dass es der Nanotechnologie nicht schadet, sondern nutzt, wenn ihr kreatives Potenzial in den Dienst der Gemeinschaft gestellt wird, in der diese so oder so Gestalt annehmen wird.

Dritte Größen verweisen auf das kreative Zentrum von Innovationsprozessen. Im geglückten Modell steuern sich diese selbst. Gute Regeln für die Nanotechnologie könnten zum Vorbild werden für die gesellschaftliche Orientierung von Innovationen. Die Chance, hier mitwirken zu können, betrachte ich als Geschenk.

Literatur

Ach, J. S; Jömann, N. (2005): Ethische und soziale Herausforderungen der Nanobiotechnologie. Eine Übersicht. In: Jahrbuch für Wissenschaft und Ethik 10. S. 183-213.

Allianz AG/OECD (Hrsg.) (2005): Small Sizes that Matter: Opportunities and Risks of Nanotechnologies. Report in Co-Operation with the OECD International Futures Programme. München, Paris.

Banse, G.; Grunwald, A.; Rader, M. (Hrsg.) (2002): Innovations for an e-Society. Challenges for Technology Assessment. Berlin.

Bueno, O. (2004): The Drexler-Smalley Debate on Nanotechnology: Incommensurability at Work? In: Hyle – International Journal for Philosophy of Chemistry 10 (2). S. 83-98.

Coates, J. C.; Coates, V. T. (2002): Next Stages in Technology Assessment: Topics and Tools. In: Banse, G.; Grunwald, A.; Rader, M. (Hrsg.): Innovations for an E-Society. Challenges for Technology Assessment. Berlin. S. 99-112.

Decker, M.; Fiedeler, U.; Fleischer, T. (2004): Ich sehe was, was du nicht siehst … zur Definition von Nanotechnologie. In: Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis 13 (2). S. 10-16.

Dosi, G.; Freeman, C.; Nelson, G. et al. (Hrsg.) (1988): Technical Change and Economic Theory. London.

Ell, R. (2006): Ungiftiges kann in Nanoform giftig sein. In: VDI-Nachrichten 8 (19. 5.). S. 8.

ETC Group (Hrsg.) (2003a): The Big Down: Atom Tech – Technologies Converging at the Atomic Scale. Winnipeg, Canada: Action Group on Erosion, Technology and Concentration.

ETC Group (Hrsg.) (2003b): No Small Matter II: The Case for a Global Moratorium' Size Matters!'. Winnipeg (=Occasional Paper Series 7 (1)).

Fischer, K. et al. (2006): Nachhaltigkeitskonzepte für Inovationsprozesse. Stuttgart.

Fleischer, T. (2006): Umgang mit den möglichen Folgen der Nanotechnoloigen. Aufsatz im vorliegenden Band. S. 55-67.

Freeman, C.; Perez, C. (1988): Structural Crises of Adjustment. Business Cycles and Investment Behaviour. In: Dosi, G.; Freeman, C.; Nelson, G. et al. (Hrsg.): Technical Change and Economic Theory. London. S. 38-66.

De Grey, A. (2004): Escape Velocity: Why the Prospect of Extreme Human Life Extension Matters Now. In: PloS Biology 2 (6). S. 723-726.

Grin, J.; Grunwald, A. (Hrsg.) (2000): Vision Assessment: Shaping Technology in 21st Century Society. Berlin, Heidelberg.

Grunwald, A. (2004): Ethische Aspekte der Nanotechnologie. Eine Felderkundung. In: Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis 13 (2). S. 71-77.

Kommission der Europäischen Gemeinschaften (Hrsg.) (2003): Vorschlag für eine Verordnung zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH), zur Schaffung einer Europäischen Agentur für chemische Stoffe sowie zur Änderung der Richtlinie 1999/45/EG und der Verordnung (EG) {über persistente organische Schadstoffe} v. 29. Oktober 2003 (604 final). Brüssel.

Kurzweil, R.; Grossman, T. (2004): Fantastic Voyage. Live Long Enough to Live Forever. Emmaus, PA.

van der Maas, H. L. J.; Molenaar, P. C. M. (1992): Stagewise Cognitive Development: An Application of Catastrophe Theory. In: Psychological Review 99 (3). S. 395-417.

Mathiowitz, E.; Jacob, J. S.; Jong, Y. S. et al. (1997): Biological Erodable Microsheres as Potential Oral Drug Delivery Systems. In: Nature 386 (6623). S. 410-414.

Meili, C. (2006): Nano-Regulierung. A Multi-Stakeholder-Dialogue-Approach Towards a Sustainable Regulatory Framework for Nanotechnologies and Nanosciences. St. Gallen, Switzerland.

Mittelstraß, J. (2005): Methodische Transdisziplinarität. In: Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis 14 (2). S. 18-23.

Münchener Rück (Hrsg.) (2002): Nanotechnologie – Was kommt auf uns zu? München.

Münchener Rück (Hrsg.) (2005): The Perspective of a Reinsurance Company on Nanotechnology. Presentation of Dr. G. Schmid at the Nano-Regulation Conference 2005 in St.Gallen.

Nethöfel, W. (2006): Integrierte Innovation in der Entwicklung der Nanotechnologie. Von der Regulierung durch Definitionen zur Orientierung an Dritten Größen. In: Nordmann, A.; Schummer, J.; Schwarz, A. (Hrsg.): Nanotechnologien im Kontext. Philosophische, ethische und gesellschaftliche Perspektiven. Berlin. S. 371-395.

Nordmann, A.; Schummer, J.; Schwarz, A. (Hrsg.) (2006): Nanotechnologien im Kontext. Philosophische, ethische und gesellschaftliche Perspektiven. Berlin.

Orthuber, W. (2004): A Discrete and Finite Approach to Past Physical Reality. In: International Journal of Mathematics and Mathematical Sciences 19. S. 1003-1023.

Preston, C. (2005): The Promise and Threat of Nanotechnology: Can Environmental Ethics Guide US?. In: Hyle – International Journal for Philosophy of Chemistry 11 (1). S. 19-44.

Roco, M. C.; Bainbridge, W. S. (Hrsg.) (2003): Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and the Cognitive Science. Dordrecht.

Roco, M. C.; Bainbridge, W. S. (Hrsg.) (2001): Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology. Proceedings of a Workshop Organized by the National Science Foundation, September 28-29, 2000. Dordrecht.

Röpke, J. (2004): Innovationsdynamik und Lebensverlängerung. Ein Entdeckungsverfahren zur Überwindung des Todes. URL: www.wiwi.uni-marburg.de/Lehrstuehle/VWL/WITHEO3/main.html, Abruf: 12.07.2006.

Schmid, G.; Brune, H.; Ernst, H. et al. (2006): Nanotechnology. Assessment and Perspectives. Berlin (= Wissenschaftsethik und Technikfolgenbeurteilung, 27).

Schummer, J. (2004): Societal and Ethical Implications of Nanotechnology: Meanings, Interest Groups, and Social Dynamics. In: Techne – Research in Philosophy and Technology 8 (2). S. 56-87.

Swiss Re (Hrsg.) (2004): Nanotechnology: Small Matter, Many Unknowns. Zürich.

Tabori, E. (2002): Abduktion und Analogie als Grundlage für die Moralbegründung. Ohne Ort. URL: http://www.falsafeh.com/html/et_Abduktion_analogieMoral.html, Abruf: 12.07.2006.

Tabori, E. (1999): Überlegungsgleichgewicht. Eine methodische Untersuchung. Tübingen. URL: http://www.falsafeh.com/html/Ueberlegungsgleichgewicht.pdf, Abruf: 12.07.2006.

Peter Markus

Diskussionsergebnisse der Arbeitsgruppe ‚Anforderungen an die Wissenschaft'

Moderation: Peter Markus

A Statements

1 Vorbereitete Fragenkomplexe

Folgende Fragenkomplexe waren vorbereitend formuliert worden:

- Triebfeder wissenschaftlichen Arbeitens (Interessen, Patente),
- Fragen zur Forschungsförderung,
- Fragen zur Forschungsfinanzierung,
- Risikoanalyse – wo soll sie ansetzen?

2 Verantwortung der Wissenschaften – eine kurze Charakterisierung

Eine verantwortliche Wissenschaft sollte

- interdisziplinär sein (disziplinär geht immer etwas verloren),
- ethisch orientiert sein (wissenschaftliches Arbeiten berührt den Menschen),
- verantwortlich sein (wir müssen über die Folgen des Arbeitens reflektieren und Rechenschaft ablegen können).

3 Interdisziplinär: Diskussionsstand/Sachstand

Einzelne disziplinäre Herangehensweisen sind methodisch restringiert. Es gibt kein geschlossenes umfassenderes Leitbild, das die Richtung der wissenschaftlichen Arbeiten entsprechend beeinflussen könnte. Ein allgemeiner wissenschaftlicher Trend lässt sich allerdings ausmachen. Dieser bezieht sich aber oft auf die enge Peergroup. Die Fragen, die sich hier stellen, sind die nach den Bedingungen für eine erfolgreiche Kooperation verschiedener Disziplinen zu übergeordneten Fragestellungen, wie beispielsweise Sozialwissenschaften, Naturwissenschaften und Technik für neue Technologien im Nachhaltigkeitssinne.

4 Ethische Orientierung – Ethik in den Wissenschaften: Was kann das sein?

Die Wissenschaftler in ihrer wissenschaftlichen Community haben eine Verantwortung, darüber nachzudenken, wie die negativen Folgen ihrer Arbeit und der Anwendung ihrer Forschungsergebnisse minimiert werden können. Wie soll man damit umgehen, wenn die wissenschaftlichen Ergebnisse und die Anwendung dieser Ergebnisse das Selbstbild des Menschen beeinflussen? Wie kann eine Wissenschaft der Nachhaltigkeit verpflichtet werden? Wie ist damit umzugehen, wenn Autonomie und Integrität von Menschen durch neue Technologien berührt werden (bspw. durch Neuroimplantate)?

5 Verantwortliche Wissenschaft

Zurzeit wird gerade im Rahmen der Technikfolgenabschätzungsforschung und -anwendung über die Minimierung von Risiken gesprochen. Das Vorsorgeprinzip ist hier ein zentrales Instrument, um innerhalb der Wissenschaften die möglichen negativen Folgen der Ergebnisse und ihrer Anwendung zu minimieren. Verantwortliche Wissenschaft als Innovationselement wird noch nicht allgemein anerkannt, sondern eher als Hemmschuh betrachtet. Die Teilhabe bzw. Partizipation verschiedener wichtiger betroffener Gruppen an der Entwicklung, Anwendung, aber auch an der Entstehung und Etablierung von Forschungsschwerpunkten, ist zurzeit mangelhaft.

6 Welche Konsequenzen lassen sich aus dem hier Vorgestellten ziehen?

Folgende Bausteine könnten eine größere Rolle spielen:

- Interdisziplinäre Forschungsprogramme gemeinsam mit Stakeholdern entwickeln,
- Partizipation und Teilhabe an verschiedenen Schwerpunkten und Diskussionen bei Forschungsförderung, Forschungsprogrammen, Forschungsfinanzierungen sowie -anwendung etablieren,
- öffentlich orientierte Wissenschaft: sie muss sprachfähiger und dialogbereiter werden,
- es gibt eine Reihe von Fach- und Schwerpunktthemen, wie beispielsweise die der Entwicklung einer neuen Sicherheitsphilosophie über die bisherige Grenzwertphilosophie hinaus, die bearbeitet werden müssen.

B Ergebnisse

1 Motive und Ziele der Wissenschaft

Die Motivationen vieler Wissenschaftler sind Neugier und Ehrgeiz. Sie sind an innovativen Lösungen interessiert und weniger monetär orientiert. Allerdings gibt es Bereiche, in denen Finanzierung und Patentierung eine größere Rolle spielen. Das trifft vorrangig auf die angewandte Forschung zu.

Gemeinsames Ergebnis der Arbeitsgruppe: Die Bereiche der Wissenschaft, insbesondere der Grundlagenbereich, sollen nicht geregelt werden.

2 Risikoanalyse für die Forschung

Die Risikoanalyse über die möglichen negativen Folgen muss so früh wie möglich einsetzen, insbesondere dann, wenn es in der Forschung konkreter wird. In einem bestimmten Stadium wird ein ‚Reifegrad' erreicht, an dem die Ergebnisse einen ‚öffentlichen Druck' erzeugen. Dann wird die Frage virulent, wie der Regulierungsbedarf zu organisieren ist. Vorher können die strittigen Punkte und der zu regelnde Gegenstand gar nicht vor der Politik und der Öffentlichkeit entsprechend in Worte und damit regulierend gefasst werden.

Gemeinsames Ergebnis: Etwa 10 % der Mittel eines Forschungsprogramms sollen in die Begleitforschung gesteckt werden. Dies ist bei der Forschung zur Biotechnologie so im Wesentlichen erreicht worden; für die Nanotechnologie ist es wünschenswert. Weiterhin soll der Kompetenzaufbau zur ‚Nanoethik' betrieben werden. Hier sind Wissenschaftler und fachliche Vertreter von Regierungs- und Nichtregierungsorganisationen gleichermaßen zu ‚schulen' bzw. zu ‚bilden'.

3 Forschungsfinanzierung/Forschungsförderungen

Für die Forschungsförderung wird es kaum möglich sein, exakte Ziele zu formulieren und damit die Forschung im Detail zu gestalten. Thematische Felder und Schwerpunkte jedoch sind dagegen von der Politik formulierbar.

Eine Orientierung in Form von Programmen und Schwerpunkten und damit eine enge Zielformulierung werden einer einfachen Ergebnisformulierung vorgezogen. Die Innovationsförderung wird dabei stufenweise von der Grundlagenforschung zur angewandten Forschung erfolgen, bis hin über die Vermarktung von Forschungsergebnissen durch die Wirtschaft und für die Menschen in ihrem Lebensalltag. Dabei spielt immer stärker eine so genannte nachfrageorientierte Förderung der Wissenschaft eine Rolle, indem gesellschaftliche Bedarfsfelder, die akut sind, wie beispielsweise Gesundheit oder nachhaltige Entwicklung, stärker in die Forschungsförderung und in die Forschungsschwerpunkte eingeführt werden. Die EU ist Vorreiter im Vergleich zu den Nationalstaaten, indem sie entsprechende Kriterien für die Forschungsförderung formuliert. Die Förderung von Prozessen, die zur Entwicklung von Kodizes, also einem Regelwerk für eine ‚verantwortliche und ethisch bezogene Forschung' führen, ist zu unterstützen.

Folgende Ergebnisse werden festgehalten: Die Teilhabe von gesellschaftlichen Gruppen, von Nichtregierungsorganisationen und der Forschungspolitik an Forschungsprogrammen ist essentiell. Dabei sind die angesprochenen Kodizes in Angriff zu nehmen, um im Sinne einer Selbstregulierung der Wissenschaft Grenzen zu formulieren, die nicht überschritten werden sollten. Für eine verantwortliche und nachhaltige Forschung gilt es, Kriterien zu entwickeln; diese Kataloge liegen momentan, wenn überhaupt, nur rudimentär vor und sind zurzeit in den jeweiligen Disziplinen und Forschungsschwerpunkten noch nicht operationalisierbar.

4 Verantwortung in bzw. von Wissenschaften – Inter- und Transdisziplinarität

Die interdisziplinären Dialoge sind besonders wertvoll für übergeordnete Fragestellungen und für komplexere Forschungsgegenstände, wie beispielsweise die Nanotechnologie, wozu die Sozial-, Geistes- und Naturwissenschaften sowie die Medizin angesprochen werden.

Gemeinsame Ergebnisse: Dialoge sollen unterstützt und gesteuert werden. Das kann und soll durch die so genannten peergroups geschehen, kann und muss aber sicherlich von außen unterstützt werden, beispielsweise durch ‚Agenda-Setting', Programmformulierung oder ‚Sonderförderung'. Dabei ist interdisziplinäres Arbeiten nicht nur formal, sondern auch inhaltlich zu verstehen, so dass man sich über die Sprache hinaus gemeinsam austauschen kann, versteht, und entsprechend an den übergeordneten Forschungsfragen arbeitet. Solch eine Kooperation ist entsprechend durch Dritte, wenn nicht durch die Partner, zu organisieren.

5 Bildung und Qualifizierung durch die Kompetenzvermittlung und Förderung von Natur- und Geisteswissenschaftlern

Im Sinne der Tagung sind die jeweiligen wissenschaftlichen Disziplinen stärker zu qualifizieren. Dies gilt für die ethischen und verantwortungsbezogenen Aspekte ihrer Arbeit. Instrumente dafür sind Curricula und die Förderung der interdisziplinären Arbeiten durch den Staat bzw. durch die Forschungspolitik. Die ethischen Kompetenzen in den Natur- und Geisteswissenschaften können so durch entsprechende Programme gefördert werden.

Gemeinsame Ergebnisse: Für die ethisch orientierte Begleitforschung bedarf es klarer Strukturen und einer Verortung. Die Begleitforschung könnte u. a., so der Vertreter einer Großforschungseinrichtung, an Orten mit Kontinuität stattfinden. Das können die Großforschungseinrichtungen, aber auch Universitäten oder andere Einrichtungen sein. Dafür gilt es Verfahren zu entwickeln bzw. weiterzuentwickeln, in denen die Anträge für eine Forschungsförderung mit einer Begründung versehen werden, wie mit der jeweiligen Forschung Risiken auszuschließen sind. Ein gewisser Prozentsatz pro Antrag soll dann der Bearbeitung ethischer Fragen (siehe Evaluation) vorbehalten werden.

6 Internationaler Kontext und gemeinsames Verständnis von Verantwortung, Ethik und nachhaltiger Wissenschaft

Es ist wichtig, dass in Europa oder in der Welt solche grundlegenden Forschungsfragen von vielen Wissenschaftskulturen nicht nur verstanden, sondern auch geteilt werden, um keine Ungleichgewichte in die internationale Forschungslandschaft einzuführen. Eine Benachteiligung einzelner Wissenschaften wäre damit auszuschließen.

C Weitere Vorschläge für die kommende Arbeit mit Wissenschaftlern

- Kooperation mit Verbänden, die sich bereits mit Verantwortung in den Wissenschaften und ähnlichen Themen beschäftigt haben: Verband der Chemischen Industrie, Bundesverband der Deutschen Industrie und vor allem der Verein Deutscher Ingenieure (VDI). Dazu der Vorschlag der Kontaktaufnahme für das Technologieforum 2007, u. a. mit dem VDI.
- Wissenschaftsorganisationen wie die DFG sollen mit den Ergebnissen angesprochen und Gespräche geführt werden. Stiftungen von ‚Friedrich-Ebert' bis ‚VW' sollten mit den Ergebnissen ‚konfrontiert' bzw. über dieselben informiert werden. In einigen Ländern gibt es bereits Gesprächsrunden, die sich der neuen Technologien im Sinne der verantwortlichen Wissenschaften annehmen. Intermediäre Organisationen wie die evangelischen Akademien sollten dabei eine Rolle spielen, um engagierte und ehrenamtliche Leute in diese Diskussion einbeziehen zu können. Das Teilhabekonzept impliziert also Diskurse mit den Akteuren. Diese müssen aus unterschiedlichen Bereichen kommen, um eine möglichst große Nachhaltigkeit und damit auch eine Verankerung der Diskurse und deren Ergebnisse in der Gesellschaft sicherstellen zu können.

Organisation von Kommunikation und Dialog

Bart Walhout

Nanotechnology dialogue activities in the Netherlands

Introduction

In the Netherlands the Rathenau Instituut has facilitated dialogue activities on nanotechnology. The Rathenau Instituut is a parliamentary Technology Assessment (TA) institute. Our first task is to stimulate political opinion on technology by informing the Dutch parliament about new and existing technological developments and their social consequences. Secondly, we organise a range of activities to stimulate societal debate on technology. From this point of view I will make my contribution to the theme of this workshop: “Wie lassen sich eine verbindliche Kommunikation und ein ‘nachhaltiger’ Dialog organisieren?” Choosing the Rathenau perspective I will put the question more broadly: “How to organise interaction between science and society?”

Outline

From 2003 until now we organised several activities to stimulate an open dialogue on nanotechnologies (NT). Three questions have to be answered: What have we done? And why? And what can be learned? Starting with an overview of these activities the first question can easily be answered. The focus of my presentation, however, is on the theoretical background. After the theoretical part I will draw up some conclusions about how a successful dialogue can be stimulated.

Starting the dialogue (2003-2004)

The Rathenau Instituut made the start by writing a position paper. The paper explored the developments in nanoscience, gave an overview of possible applications and discussed risks, but also hopes, hypes and dark scenarios. The paper functioned as a starting point for organising a number of workshops and focus groups. For the workshops experts, policymakers and other stakeholders were invited (20-30 people). Topics were biomedical NT (opportunities and risks), nano-electronics (ambient intelligence), nanoparticles (opportunities and risks) and NT in agrofood. By implementing focus groups we tried to investigate public perceptions on benefits, consequences and risks.

The final step in this period was the organisation of a big public meeting in co-operation with members of the Dutch parliament. Although the meeting was rather successful (e. g. possible risks were put on the policy agenda) several stakeholders like NGOs and the public were less involved. The most important conclusion was that a dialogue on NT was considered important. With this the recommendations were: focus on concrete applications, use small-scale discussion forms and involve NGOs and the public.

Deepening the dialogue (2005-2006)

With the recommendations of the public meeting in mind we started the project '*Nanotechnologie in Focus*' in 2005 (fig. 1). First, important applications of NT had to be identified. With the help of desk-research and two rounds of interviews – one for generalists and one for specialists – we compiled a list of cases. The next step involved interaction with the field. The list was presented to the readers of an electronic newsletter we publish every two or three months. The readers could vote for three cases. The outcome of the survey – the three applications selected – was: NT in drug-delivery, water filtration and energy – seemed to represent an attitude towards NT which showed up earlier in the focus groups: the importance of discussing NT mainly relies on the potential of NT for societal goals.

The goal of the project was to organise small-scale forms of discussion like expert-stakeholder workshops. However, it turned out that involving NGOs remained difficult. Moreover, research for the selected applications was not defined as NT in the Netherlands. I will return to this later.

We also explored another line with the project *Nanoworld 2020:* public images of the future regarding applications of NT (fig. 1). When introducing the theoretical framework I will give further information about the importance of this kind of activities.

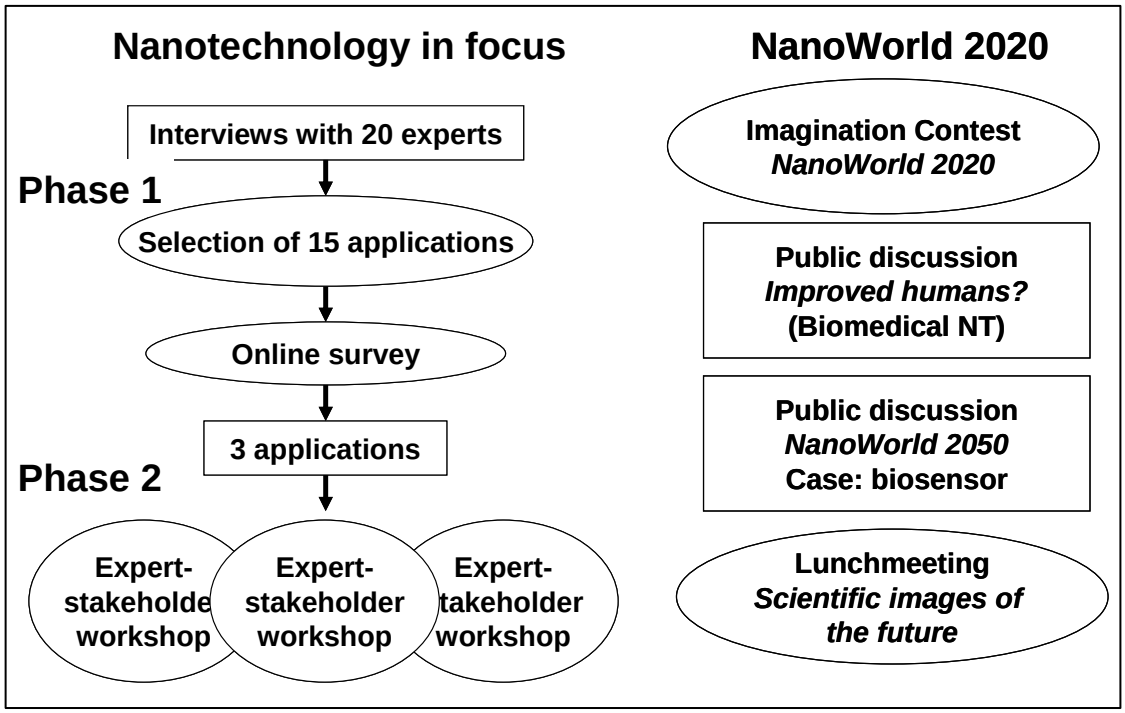


Fig. 1: Dialogue activities (2005-2006)[1]

Theoretical framework

As I mentioned I want to use the question "How to organise interaction between science and society?" to structure my presentation. This is due to the task and position of the Rathenau Instituut. Our primary focus is to equip the Dutch parliament with meaningful information about issues, discourses and positions. That is not the same as advising, which else would undermine our position. As an independent organisation it is important that we can reach a democratic platform to influence policy. With this position of the Rathenau Instituut in mind I will elaborate on the following aspects of the 'how' in the central question, by 'who', 'what' and 'when'.

[1] Unless otherwise stated the figures in this document are made by the Rathenau Instituut.

Who?

The first question is whom to involve in our activities. Discussing technology is not as straightforward as it might seem. It is not only that benefits and risks can sometimes not be discussed in an objective way, but also the hopes, the wishes, the fears which play a role in the discussion. These can be non-rational in a strict way, but often they underlie our meanings and beliefs. Rinie van Est, working at the Rathenau Instituut, adapted a model used in communication theory (Hanssen et al. 2002). The model enabled us to picture several discourses: from rational to emotional and from instrumental to reflective.

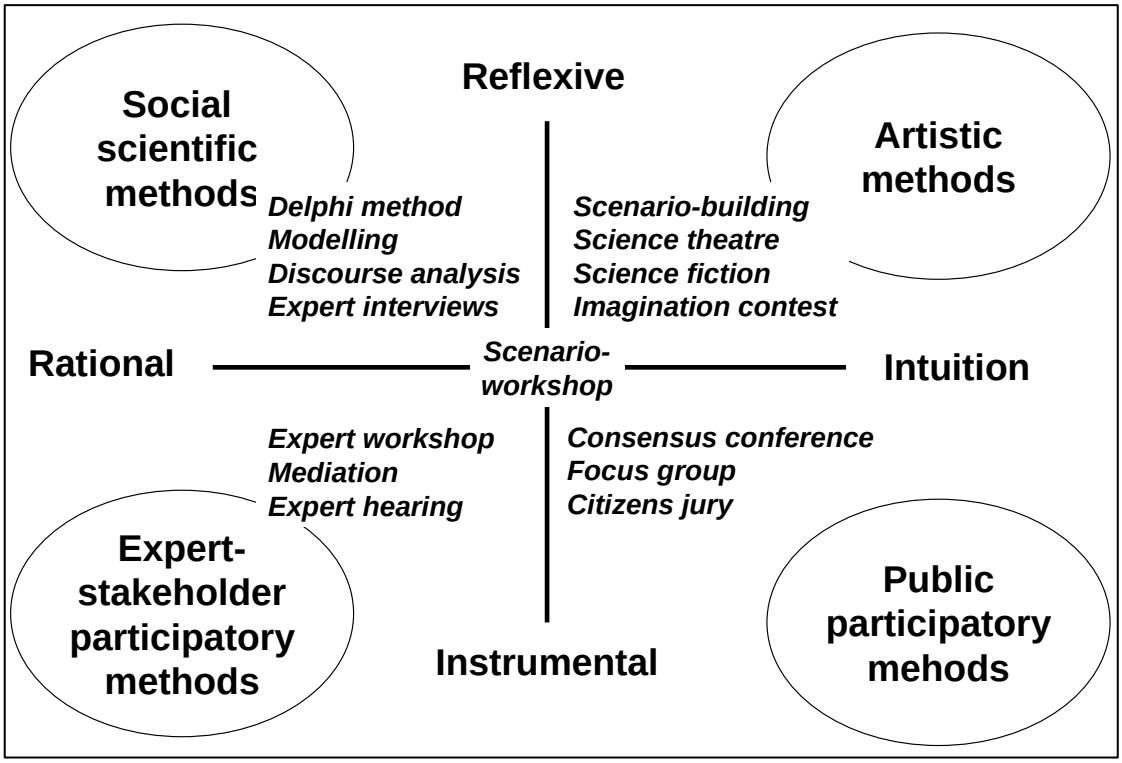


Fig. 2: Using what? (Source: Rathenau Instituut)

Of course it is a model, not a description of reality. But it is very helpful to understand why a broad dialogue is needed: the power of policy-making for example is the rational and instrumental character. The dialogue however, can not be restricted to this domain. With our activities we tried to enrich the dialogue and thereby enrich policy-making. In other words: trying to support socially robust science and socially robust policy. For example, in the project *Nanoworld 2020* we explored artistic and popular contributions. The model can help us to organise this in a meaningful way. Different issues and different stakeholders need different types of dialogue activities (fig. 2). Some examples of our other activities:

expert-stakeholder workshops are positioned in the policy domain. The workshops aim to reach consensus about the next steps, an agenda. Compared to this, the position paper is more reflective.

What?

The next question is which issues should get attention. For NT risks are an important short term issue. The unknown effects of nanoparticles for health and environment are reason for serious concern. And indeed risks were put on the policy agenda after organising the public meeting in 2004.

But more speculative issues (often called ELSA: Ethical, Legal, and Social Aspects) like privacy, equity, sustainability are far more difficult to discuss. After the public meeting, this turned out to be the topic of further dialogues. The same applies for new ethical issues like the mixture of living and non-living, which often relate to the convergence of NT in the R&D-areas of ICT, Biotechnology and Cognitive Sciences.

Here the government should be aware of a 'bureaucratic reflex': comparatively easy issues like risks for health and environment get attention, but the more complicated issues are left to the dialogue in science and media. However, it is clear that for example the new ethical issues need a different type of dialogue than for example the dialogue of risks. That is why I started with the social discourses model.

When?

The government has an important role in guiding the process of dialogue (fig. 3). At the Rathenau Instituut we respond to the policy cycle. Of course policy-making is not a linear process and so is not our approach. However, there are different phases. For example the dialogue on risks: in 2004 we organised an expert-workshop with policy-makers about opportunities and risks of nanoparticles. Two years later, products with nanoparticles enter the market and it is time for a clear and responsible policy of the government. This month we organise an expert-workshop again, but this time we focus on policy. The same applies for the other issues. In 2004 we organised the first big public meeting. We hope to organise the second public meeting at the end of this year. Then we try to get attention for the topic of converging technologies and the new ethical issues.

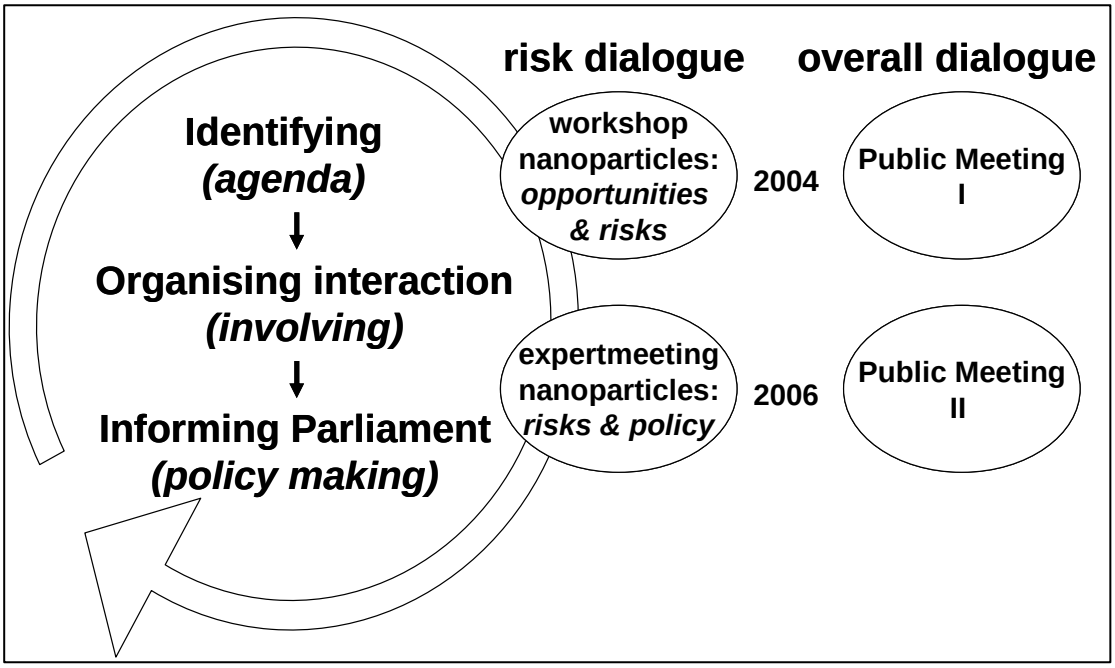


Fig. 3: Policy cycle (Source: Rathenau Instituut)

Engagement needs empowerment

The now well known concept of 'moving public engagement upstream' (fig. 4), strongly strongly emphasised by the British think tank Demos, also uses a cycle.

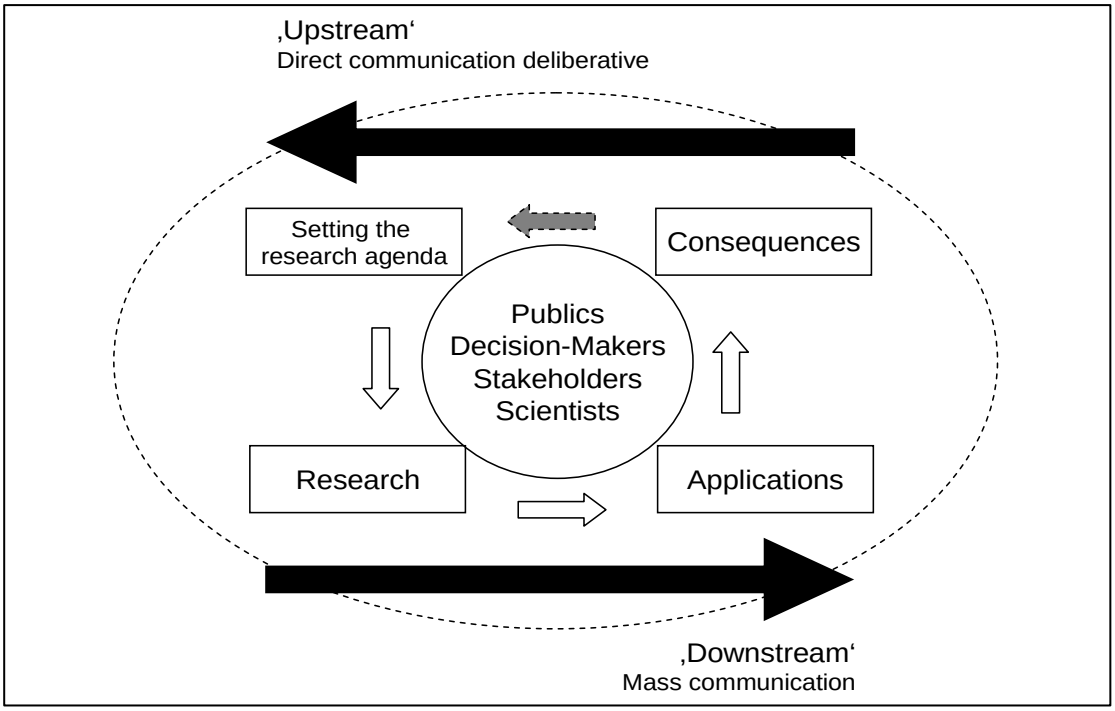


Fig. 4: Upstream engagement (Source: Stilgoe et al. 2005, p. 39)

As you can see, a major theme is to engage with R&D in a very early stage, that is, already when setting the research agenda. The 'term' public is not meant as only regarding citizen participation – think of the discourse model where participation only takes place in one of the discourse domains – but is more related to concepts like 'public value of science'.

The concept of upstream engagement stresses the importance of our project *Nanotechnologie in Focus*. In the first phase we investigated expert opinions on research, development and consequences. But when it comes to stimulate public engagement we recognised different limits. For example, I mentioned it turned out to be difficult to involve stakeholders like NGOs, unions, consumer protection organisations and so on. This is mainly a problem of building up expertise. We realised that we had to open the 'black box' of R&D for the specific applications in order to be able to 'engage'. Before discussing social consequences the first questions to be addressed are how the knowledge system and innovation system of NT is organised.

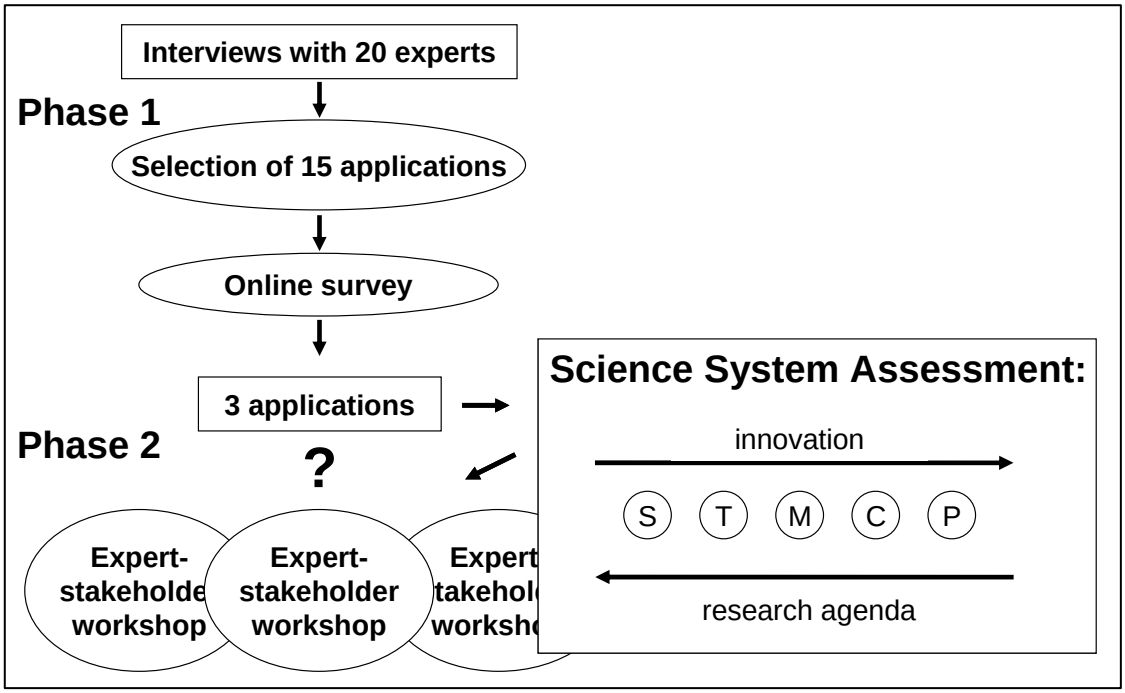


Fig. 5: Nano in Focus – Opening the Black-Box of S&T (Source: Rathenau Instituut)

Therefore we started an inquiry into the innovation system of the selected applications of NT (fig. 5). To use a simplified model: science leads to technology leads to products which are bought by consumers who belong as citizens to society ruled by the government. Two central questions were used: 1) Taking the innovation system into account, can we reasonably expect the innovation to come about? 2) How do ideas about envisioned applications influence the research agenda?

For example: a Dutch consortium of public and private organisations is developing new medical applications: drug-delivery systems, which are systems that can transport particles to destroy more precisely cancer cells with radiation for example. However, the big pharmaceutical companies are not interested in this new technology since it does not seem profitable enough at the moment. The question then is: Can the network of knowledge – say 'the universities' – and the network of innovation – say 'the companies' – be integrated in a better way? With this kind of questions we think that involving (engaging) stakeholders will make a good contribution to the discussion on NT.

Conclusions

"How to organise interaction between science and society?" A first conclusion is that there is no best way. For each dialogue one has to adapt to the context of the issues to be discussed. With our activities we tried to address the right issues. Often this is a trial and error task. But it is still possible to do this in a structured way. The model of the social discourses and the clustering of issues helped us to answer the question which kind of activities to organise.

Doing so we try to avoid a situation of 'business as usual': the dialogue on NT must go beyond a narrow discussion about risks. Therefore we are now paying attention to converging technologies. The technological convergence of NT with other technologies like ICT, biotechnology and cognitive sciences raises serious questions about what it means to be a human being.

However, for engaging in a discussion about social consequences, stakeholders have to be empowered by opening the black box of science and technology. Discussing specific applications is probably a good way to involve a broad public. But framing the discussion around specific applications opens up a new type of questions requiring analysis of the functioning of the science system. That is: how the science system relates to the innovation system and the creation of 'public value'. Alongside technological innovation social innovation has to be developed for 'socially robust science'.

References

Hanssen, L.; Van Est, Q.; Enzing, C. (2002): Het particapatieve gen. Participatieve Instrumenten in het Omgaan met Maatschappelijke Vraagstukken over Ontwikkelingen in de Voedingsgenomics. Den Haag.

Stilgoe, J.; Wilsdon, J.; Wynne, B. (2005): The Public Value of Science. Or How to Ensure that Science really Matters. London.

Stefan Löchtefeld

Anforderungen an einen Dialog zur Risikobewertung in der Nanotechnologie

Wie kann eine Zielformulierung für einen Dialog zur Risikobewertung in der Nanotechnologie erfolgen?

Die Ziele eines Dialogs zur Risikobewertung in der Nanotechnologie hängen stark von den Interessen der Beteiligten und des Initiators eines Dialogs ab. Der Initiator bestimmt auch den Blickwinkel eines Dialogs: Soll die Nanotechnologie als Ganzes oder sollen bestimmte Teilbereiche betrachtet werden? Sollen eher die Gefahren für Arbeitnehmer, für Verbraucher oder für die Umwelt betrachtet werden? Betrachten wir eher die Realisierung von möglichen Chancen oder die Risikovermeidung?

Die Interessen des Dialoginitiators prägen entscheidend den Dialog und die damit verbunden Ziele. Wie können auch die Interessen der anderen Akteure berücksichtigt werden?

iku empfiehlt, zu Beginn eines Dialogs mittels einer umfangreichen Interessenanalyse[1] die wesentlichen Stakeholder und deren Interessen zu ermitteln. Besonders interessant sind dabei insbesondere die gemeinsamen und unterschiedlichen Interessen der Akteure. Aus unserer Sicht ist es hilfreich, diese Interessen in einem Bericht[2] zusammenzufassen und diesen allen Beteiligten zur Verfügung zu stellen. Dies erhöht die Transparenz über und das gegenseitige Verständnis für die Interessen anderer Akteure.

---

[1] Zum Instrument der Interessenanalyse vgl. Kühr/Löchtefeld (2004).

[2] Sie finden die Interessenanalyse zum Thema ‚Synthetische Nanopartikel' unter www.dialog-nanopartikel.de/downloads.html.

Auf Grundlage der Interessenanalyse kann eine Anpassung der Ziele und des Vorgehens im Dialog an die Interessen und Erwartungen der Beteiligten erfolgen.

Wer muss also in welchem Maße an einem Dialog zur Risikobewertung in der Nanotechnologie beteiligt werden?

Welche Beteiligungsformen gibt es?

Bei einem Dialog zu gesellschaftlich relevanten Themen hängt die Qualität entscheidend von der Beteiligung der wesentlichen Akteure und der Klarheit über den Umfang der Beteiligung ab. Vereinfacht kann man sagen: Alle wesentlichen Akteure sollten möglichst umfangreich beteiligt werden. Modellhaft unterscheiden wir vier *Stufen der Beteiligung* (Abb. 1):

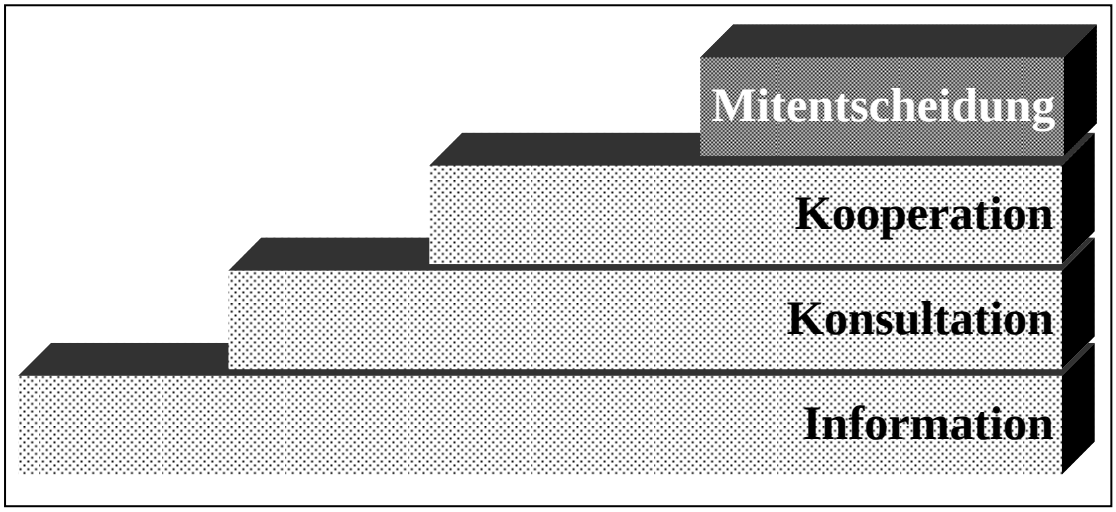


Abb. 1: Stufen der Beteiligung (Quelle: Eigene Grafik.)

Information meint die Bereitstellung von Daten, Fakten, Hintergrundpapieren und interner Unterlagen über Informationspflichten hinaus.

Konsultation umfasst die Befragung (schriftlich, telefonisch, persönlich oder in Gruppen) wesentlicher Akteure. Der Dialog-Initiator erhofft sich Anregungen zu seinem Vorgehen, kritische Rückmeldungen und die Identifizierung zukünftiger Themen.

Ziel der Kooperation ist die Entwicklung gemeinsamer Strategien und Projekte, die dann von einzelnen, mehreren oder allen Akteuren umgesetzt werden.

Bei der höchsten Stufe der Beteiligung können alle Akteure über die weiteren Schritte mitentscheiden. Im Themenfeld Nanotechnologie wird dies bei vielen Themen nicht möglich sein. Die Regulation wird weiter

staatliche Aufgabe sein und auch die Wirtschaft wird über Produktentwicklungen selber entscheiden. Aber auch Dialoge auf den drei unteren Beteiligungsstufen führen aus unserer Erfahrung dazu, dass Staat bzw. Wirtschaft andere Entscheidungen treffen als sie es ohne Dialog getan hätten.

Welche Akteure sollen beteiligt werden?

Wir sehen folgende Akteure im Themenfeld Nanotechnologie:

- Bürger
- Nichtregierungsorganisationen (NGOs)
  - Umweltverbände
  - Verbraucherverbände
  - Umweltmediziner
  - Arbeitnehmer-/Arbeitsschutzorganisationen
  - Kirchen
  - Eine-Welt-Szene
  - Rückversicherer
- Journalisten, insbesondere Wissenschaftsjournalisten
- Wissenschaft und Forschung
- Industrie
- Verwaltung und Politik

Wie sind diese Akteure in Dialogen zur Nanotechnologie eingebunden?

Wirtschaft, Wissenschaft und Verwaltung – insbesondere Regulierungs- und Aufsichtsbehörden – sind in allen Dialogen vertreten. Dies trifft sowohl für die bisherigen als auch für geplante Dialoge im Bereich der Nanotechnologie zu.

Betrachtet man die bisherigen als Dialoge bezeichneten Aktivitäten im Bereich der Nanotechnologie, so könnte eine Einordnung nach Stufe der Beteiligung und Beteiligte wie folgt aussehen (Abb. 2).

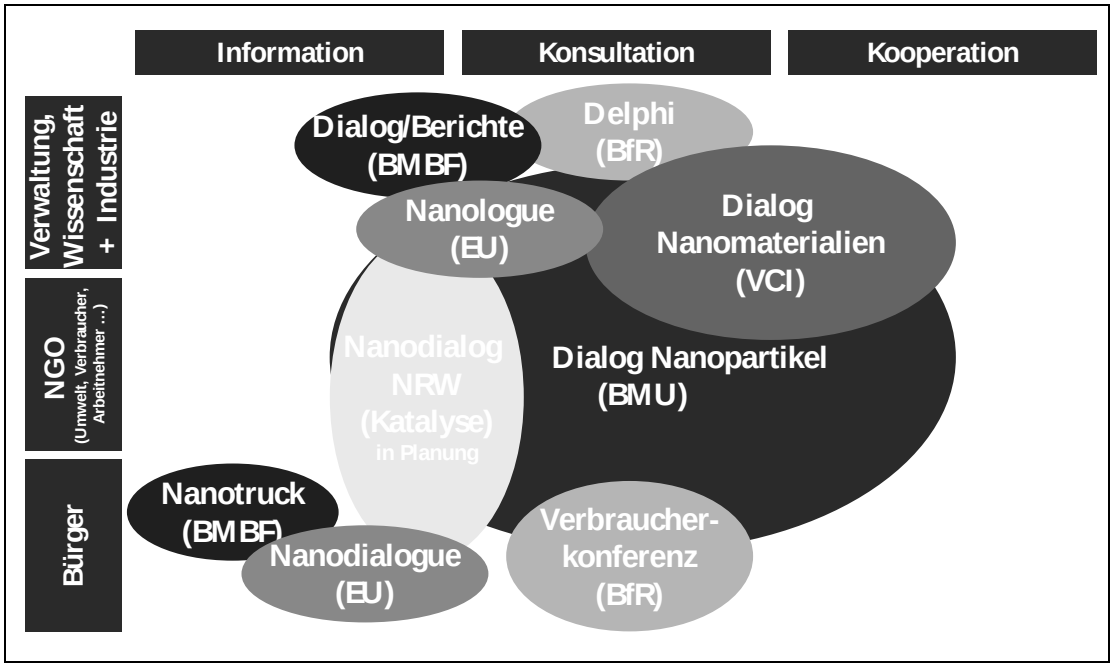


Abb. 2: Nanodialoge in Deutschland[3] (Quelle: Eigene Grafik)
Weitere Informationen zu den Dialogen finden sie unter den am Ende des Artikels genannten Internetadressen.

Welche Themen sollten in einem Dialog zur Bewertung der Nanotechnologie unbedingt behandelt werden?

In einem Dialog zwischen Verwaltung, Politik, Wissenschaft, Wirtschaft und NGO sollten aus unserer Sicht folgende Themen unbedingt eine Rolle spielen:

- Auswirkungen der Nanotechnologie: Chancen für Gesellschaft, Umwelt und Nutzer und Risiken für Umwelt und Gesundheit[4],
- Wissensaustausch und Ermittlung von offenen Fragen und Forschungsbedarf,
- Kriterien zur Bewertung von Risiken und Chancen von Produkten,
- Vereinbarungen zur Notwendigkeit von Normung, Vorsorgemaßnahmen, Selbstverpflichtungen und Regulierungsmaßnahmen.

[3] Die Größe der Ovale gibt nicht die Anzahl an Dialogelementen oder die Anzahl der beteiligten Akteure wieder, sondern soll lediglich verdeutlichen, welche Akteure in welchem Grad beteiligt werden.

[4] Im EU-Projekt Nanologue wurden neben den Chancen und Risiken für Umwelt und Gesundheit mit Datenschutz, Zugang und Verfügbarkeit, Akzeptanz, Haftung, Regulierung und Kontrolle noch weitere Auswirkungen der Nanotechnologie betrachtet. Ein Ergebnis war, dass die direkten Auswirkungen auf Umwelt und Gesundheit erste Priorität haben (vgl. Wuppertal Institute et al. 2006).

Im Dialog mit den Bürgern und den Medien sollte die Risikokommunikation der Auswirkungen der Nanotechnologie, also Chancen *und* Risiken und deren gegenseitige Abwägung, im Mittelpunkt stehen. Zu einem späteren Zeitpunkt sollen dann die weiteren Auswirkungen der Nanotechnologie thematisiert werden (Abb. 3).

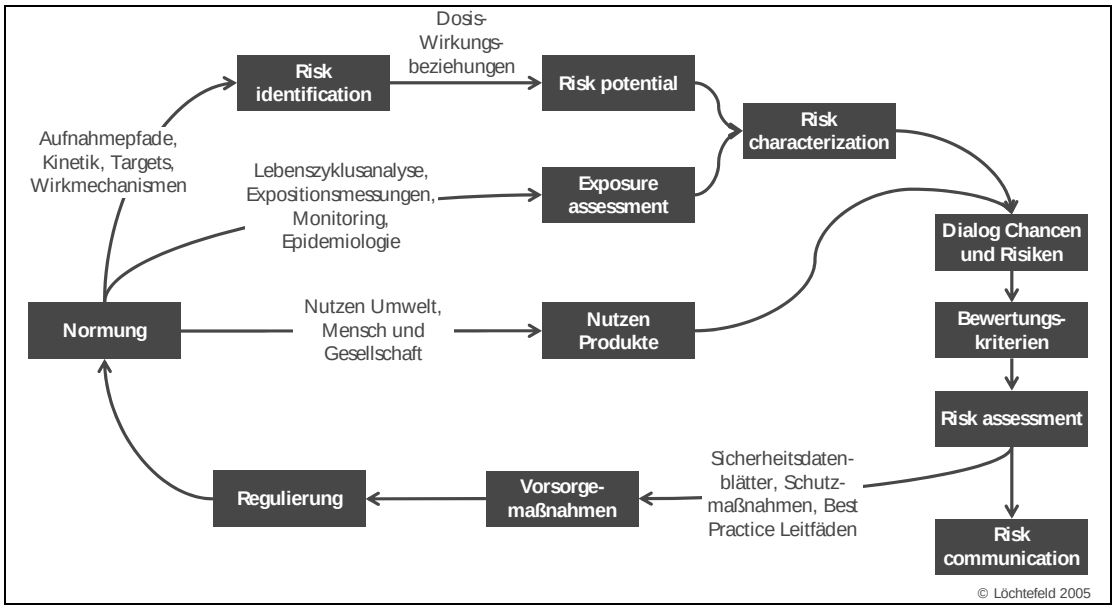


Abb. 3: Risikobewertung synthetischer Nanopartikel (Quelle: Eigene Grafik)

Erfolgsfaktoren für einen Dialog

In einer Studie zu Erfolgsfaktoren eines Dialogs (Kühr/Claus 2005) ermittelte iku folgende vier wesentliche Aspekte:

Ein guter Dialog holt das ganze System in den Raum! Eine repräsentative Auswahl der Dialogbeteiligten ist notwendig. Das System[5], in dem der Dialog geführt wird, muss klar definiert sein. Für alle relevanten Interessen und Sichtweisen müssen Akteure eingebunden sein.

Bei einem guten Dialog kommen die Beteiligten gern wieder! Ein weiterer Indikator für die Qualität des Dialogs ist die Tatsache, dass Stakeholder wiederkommen. Daran lässt sich ablesen, dass der Nutzen des Dialogs (und damit auch die Qualität) für die Beteiligten im angemessenen Verhältnis zum Aufwand steht. Dazu muss der Dialog langfristig und kontinuierlich angelegt sein.

[5] Mit System sind z. B. Teilnehmende, gemeinsame Regeln, Sitzungsmodi etc. gemeint.

Zusagen und Vereinbarungen werden eingehalten! Nicht zuletzt ist auch die Umsetzungsquote von im Dialog getroffen Vereinbarungen ein wichtiger Hinweis auf die Qualität und Verbindlichkeit des Dialogs.

Dissense müssen sichtbar und akzeptiert werden! Der Stakeholderdialog lebt von verschiedenen Interessen und Sichtweisen der beteiligten Akteure, so dass das Offenlegen und die Transparenz von Dissensen ein weiterer wichtiger Qualitätshinweis ist. Das geschieht vor allem dann, wenn gegenseitiges Verständnis vorhanden ist.

Ebenfalls ein Erfolgsfaktor für den Dialog ist, wenn es im weiteren Verlauf zu einem Austausch vertraulicher Informationen kommt, was in der Regel einer längeren Zusammenarbeit bedarf. Die Bedeutung eines Dialoges wird deutlich, wenn die Teilnehmer über ausreichende Entscheidungs- und Umsetzungsfähigkeit in ihrer Organisation verfügen.

Thesen für die Diskussion

- Eine breite Beteiligung ist für hohe gesellschaftliche Akzeptanz erforderlich. Dazu ist eine Information der Bürger, die Konsultation ausgewählter Bürger, die Konsultation und Kooperation mit NGOs, Wissenschaft, Industrie und Staat sinnvoll.
- Der Stakeholderdialog muss Chancen und Risiken beinhalten.
- Verschiedene Positionen/Interessen der Beteiligten müssen bearbeitet werden. Es muss aber nicht in allen Punkten Konsens erreicht werden.
- Dialog sollte mit überschaubarem Thema beginnen, um greifbare Erfolge zu erzielen (Bsp. Auswirkungen von Nanomaterialien in gebundenen Matrixen auf Gesundheit).
- Prioritätensetzung: Zuerst Auswirkungen auf Gesundheit und Umweltbetrachten, später auch ethische und soziale Auswirkungen.
- Die Rahmensetzung für den Stakeholderdialog erfolgt auf hoher (Entscheidungs-)Ebene der beteiligten Organisationen.
- Vorhandene Aktivitäten sollten eingebunden bzw. abgestimmt werden.
- Wesentlich ist die Glaubwürdigkeit des Veranstalters.

Dialogaktivitäten zum Thema Nanotechnologie in Deutschland

- Nanotruck: Informationsbus des BMBF für interessierte Bürger, www.nanotruck.de
- Berichte auf Grundlage von Expertenbefragungen im Auftrag des BMBF, http://www.bmbf.de/de/4877.php

- Nanodialogue: Europaweit Ausstellungen zur Nanotechnologie in Museen im Auftrag der EU, www.nanodialogue.org, in Deutschland im Deutschen Museum in München, http://www.deutsches-museum.de/dmznt/angebote/index.html
- Nanologue: Expertenbefragung zu sozialen, ethischen und rechtlichen Auswirkungen der Nanotechnologie im Auftrag der EU, www.nano logue.net
- Delphibefragung: Expertenbefragung des BfR zu Risiken nanotechnologischer Anwendungen in den Bereichen Lebensmittel, Kosmetika und Bedarfsgegenstände, http://www.bfr.bund.de/cd/8077
- Verbraucherkonferenz: Verbrauchervotum zu Risiken nanotechnologischer Anwendungen in den Bereichen Lebensmittel, Kosmetika und Bedarfsgegenstände im Auftrag des BfR, http://www.bfr.bund.de/cd/8079
- Dialog Nanomaterialien: Befragung und Kooperation des VCI mit Wissenschaft, Verwaltung und Umwelt- und Verbraucherverbänden zu Fragen des Arbeits- und Umweltschutzes, http://www.vci.de/Nanoma terialien/default2~cmd~shd~docnr~116378,~lastDokNr~11 6417.htm
- Dialog Nanopartikel des Bundesumweltministeriums BMU: Öffentliche Information, Expertenbefragungen, Dialogveranstaltungen und Lenkungsgruppe zur Bewertung synthetischer Nanopartikel in Arbeits- und Umweltbereichen. Neben der Information der Bevölkerung z. B. durch eine Verbraucherbroschüre sind auch konsultative Elemente geplant. www.dialog-nanopartikel.de

Literatur

Kühr, A-K.; Claus, F. (2005) Woran lässt sich die Qualität von Stakeholderdialogen messen? Bericht für das IKW Forum Waschen Indikator N 17 „Dialogkompetenz und Dialogbereitschaft der Branche“. Dortmund. Unveröffentlichtes Skript. Beziehbar über die iku GmbH.

Kühr, A.-K.; Löchtefeld, S. (2004): iku-Interessenanalyse: Das Ganze System begreifen. In: Perspektive Mediation (1/2004). S. 23-25.

Wuppertal Institute; EMPA; Forum For The Future; Triple Nova (Hrsg.) (2006): Nanologue. Opinions on the Ethical, Legal and Social Aspects of Nanotechnologies. Results from a Consultation with Representatives from Research, Business and Civil Society. URL: www.nanologue.net/custom/user/Downloads/NanologueWP34FinalPublic.pdf, Abruf: 28.08.2006.

Natalie Eckelt

Diskussionsergebnisse der Arbeitsgruppe ‚Organisation von Kommunikation und Dialog'

Moderation: Natalie Eckelt

A Welche Ansätze zur Strukturierung der Sache wurden gegeben?

Neue Technologien führen zu unterschiedlichen, zum Teil unverständlichen Wertvorstellungen bei allen Beteiligten. Um diese Wertvorstellungen zu erkennen, zu beschreiben und einzuordnen, sind zielgerichtete Dialoge auf gesellschaftlicher, ökonomischer und ökologischer Ebene notwendig. Der kritische Bürger (nicht der kritische Konsument) sollte Ausgangspunkt und Adressat von offenen Fragen sein, weil zu erwarten ist, dass ihn die komplexen Zusammenhänge überfordern werden.

1. Wozu brauchen wir einen Dialog?

Die Arbeitsgruppe verständigte sich auf folgende Gründe, warum ein Dialog notwendig ist:

- Verständnis für verschiedene Werte der einzelnen Interessierten herstellen,
- Möglichkeit des Perspektivenwechsels geben (z. B. NGO blicken mit Industriebrille auf die Problematik und umgekehrt),
- Möglichkeit, neue Aspekte/Erkenntnisse zu finden.

2. Welchen Nutzen erwarten Sie von Dialogen?

Klärung folgender Fragen:

- Welche Handlungs- und Entscheidungsspielräume gibt es?
- Was sind die Konsequenzen des Dialoges?
- Welcher Einfluss ist mit ‚Dialogen'/durch Dialoge möglich?
- Wie können Technologieentwicklungen vorausschauend bewertet werden?
- Wie kann der Bedarf an einem internationalen Überblick über Technologieentwicklungen gedeckt werden?

3. Welche Dialoge sind notwendig?

Es gibt folgende Formen des Dialoges:

- Gesellschaftlicher Dialog: alle Beteiligten, z. B. über ethische Werte,
- Produktspezifischer Dialog (Unternehmensdialog): Unternehmen, z. B. bei Forschung zu neuen Materialien, Produkten, o. ä.,
- Themenspezifischer Dialog: ausgewählte Akteure zu spezifischen/konkreten Fragestellungen,
- Ziele dieser Dialoge:
  - Identifizierung der Kompromisslinien und Dokumentation der Dissense,
  - Mögliche Erarbeitung von Maßnahmen für das weitere Vorgehen,
  - Mögliche Politikberatung: Prüfung des rechtlichen Rahmens, Planungssicherheit, Forschungsfelder.

4. Welche generellen Ziele eines Dialoges über Nanotechnologien wären möglich?

- Empowerment der Akteure/Interessenten,
- Erhalt von Informationen
  - um Ängste abzubauen oder zu bestätigen,
  - zur Erstellung von Bewertungskriterien,
  - zur strategischen Positionierung (Industrie, Politik, NGOs (Umwelt, Verbraucher, Gewerkschaften, Kirche, ...)),
- gesellschaftliche Akzeptanz,

- Zurückziehen eines Produktes vom Markt, Rückzug aus der Forschung o. ä.

Dabei ist zu beachten, dass die Ziele der am Dialog beteiligten Gruppen abhängig sind von deren jeweiliger ökonomischer, ökologischer und/oder sozialer Politik. Ebenso wie von den jeweils vorgesehenen Zielgruppen (z. B. andere Länder – andere Kultur- und Wertevorstellungen; Bürger – Verbraucher; Großindustrie – KMU, Umweltverbände – Verbraucherverbände, etc.).

B Welche Aspekte zur Einordnung/Strukturierung/Bewertung der Entwicklungen und Risiken (auch Chancen) bestehen?

Eine offene, breite und ungefilterte Information(-sdatenbank) über alle Technologieaspekte als Grundlage schafft erst die Möglichkeit eines geplanten und nicht zufälligen Dialoges zur Einordnung/Strukturierung/Bewertung der Entwicklungen und Risiken (auch Chancen). Zumindest bei der Gestaltung der Rahmenbedingungen der Datenbank muss auch die Mitarbeit von Vertretern der Umweltverbände vorausgesetzt werden. Weiter gehört dazu, dass bei produkt- und themenspezifischen Veranstaltungen zur Technologie finanziell angepasste Zutrittsmöglichkeiten für Vertreter der Bürger und der Umweltverbände bestehen (z. B. pro zehn Industrievertreter eine kostenlose Teilnahme für einen Bürger-/ Umweltvertreter).

Wodurch kann der Dialog gefördert/sichergestellt werden? Welche Maßnahmen/Medien wären notwendig?

- Kompetenzzentren,
- Dialogforen: offen, transparent für alle (vom Bürger bis zur Industrie),
- Beteiligt werden sollten alle gesellschaftlichen Gruppen: z. B. auch FIAN – FoodFirst Informations- & Aktionsnetzwerk,
- Dokumentation der verschiedenen Vorstellungen, z. B. über die Kompetenzzentren, zentrale Stelle?, Internet,
- Wirtschaftsförderung: EU, Kommunen, Bund, etc.

C Welche Aspekte wurden im Hinblick auf die Fortführung der Diskussion genannt?

Der Dialog sollte über zukünftige ökonomisch interessante Anwendungen geführt werden, die für die Bürger in irgendeiner Form relevant werden. Derzeit werden unter dem Schlagwort Nanotechnologie viele Entwicklungen vorangetrieben, die nur auf der wissenschaftlichen Laborebene laufen und zum Teil dort bleiben werden. Auf der anderen Seite bestehen schon bedeutende industrielle Nutzungen, die bisher noch keine Ansätze für Dialoge lieferten, weil die Einordnung/Strukturierung/Bewertung der Entwicklungen und Risiken nach den alten Mustern keine veränderten Betrachtungen ermöglichte bzw. keine Dialoge aus Sicht der Hersteller/Betreiber notwendig waren. Der Übergang von ‚Mikro' zu ‚Nano' wird als fließend und nicht als Grund für einen Paradigmenwechsel angesehen.

Rechtliche Aspekte

Andreas Hermann

Sind die Nanotechnologien rechtlich unterreguliert?

Dieser Beitrag ist als eine Einführung in die Frage gedacht, ob bei den sich rasch entwickelnden Nanotechnologien in Deutschland ein Regelungsdefizit besteht und deshalb mögliche Gefahren nicht rechtlich beherrscht werden können. Es geht mehr um eine Problembeschreibung als um erste Ergebnisse oder gar eine vollständige Beantwortung der Fragen. So steht die rechtswissenschaftliche Analyse und Bewertung der Nanotechnologien noch am Anfang.[1] Teilweise liegen schon erste, aber sehr grobe rechtliche Einschätzungen zu möglichen Regelungsdefiziten der Nanotechnologien vor, wie z. B. von der Royal Society (The Royal Society/The Royal Academy of Engineering 2004, S. 69ff.).

Zu den bislang häufigeren Diskussionspunkten zählt die Entwicklung einer konsistenten Terminologie im Hinblick auf den Regulierungsgegenstand bei der Nanotechnologie. Da die Nanotechnologie eine Querschnittstechnologie ist, muss von Nanotechnologien gesprochen werden anstatt von ‚der Nanotechnologie'. Betroffen sind die unterschiedlichsten Anwendungsfelder von der Automobilindustrie, Maschinenbau, Chemie, Pharmazie, Medizin, bis zur Bio- und Umwelttechnik. Sehr unterschiedlich sind auch die Entwicklungsstadien der nanotechnologischen Produktionsprozesse oder von Produkten, die Nanopartikel enthalten. Vor diesem

[1] Eine tiefergehende Untersuchung im Hinblick auf Regulierungsdefizite wird derzeit von Sofia (Sonderforschungsgruppe Institutionenanalyse) und dem Öko-Institut gemeinsam im Gutachten „Nanotechnologie: Bestehender Rechtsrahmen, Regulierungsbedarf sowie Regulierungsmöglichkeiten auf nationaler und europäischer Ebene" im Auftrag des Umweltbundesamtes durchgeführt. Der Abschluss des Forschungsprojekts ist für Oktober 2006 geplant.

Hintergrund ist es nicht verwunderlich, dass es in der öffentlichen Diskussion, aber auch in Fachkreisen bislang an einer klaren Definition fehlt, was unter ‚Nano' zu verstehen ist. Als Ausgangspunkt für eine Definition kann gelten, dass die Nanotechnologien die Herstellung, Untersuchung und Anwendung von Strukturen (z. B. Partikel, Schichten, Röhren) in einer Dimension kleiner als 100 Nanometer (nm) betreffen. Schwieriger ist aber schon die Frage, ob auch nanoskalige Stoffe zum Regelungsgegenstand zählen sollen, die sowohl auf natürliche Weise entstehen als auch künstlich hergestellt werden können. So entstehen Nanopartikel wie größere Schwebstaubteilchen ebenso bei technischen wie auch bei natürlichen Prozessen, d. h. bei Vulkanausbrüchen und Waldbränden. Als Regelungsgegenstand für die weitere Darstellung in diesem Beitrag wird von synthetischen Nanopartikeln ausgegangen.

Zwar ist zu vermuten, dass von Nanomaterialien, die als freie Partikel in Produkten enthalten sind, größere Risiken für Mensch und Umwelt ausgehen können als bei Nanopartikeln, die fest in Materialien eingebunden sind. Eine rechtliche Prüfung sollte aber für beide Fälle die Regelungen entlang des gesamten Lebensweges umfassen, um mögliche Regelungsdefizite zu ermitteln. Wichtig für die Analyse von umweltrelevanten Rechtsvorschriften sind dabei die möglichen Emissions- und Immissionspfade von Nanopartikeln. Mögliche Emissionspfade von Nanopartikeln in die Umweltmedien entlang des ‚Lebenswegs' finden sich im nachfolgenden Schema (Abb. 1).

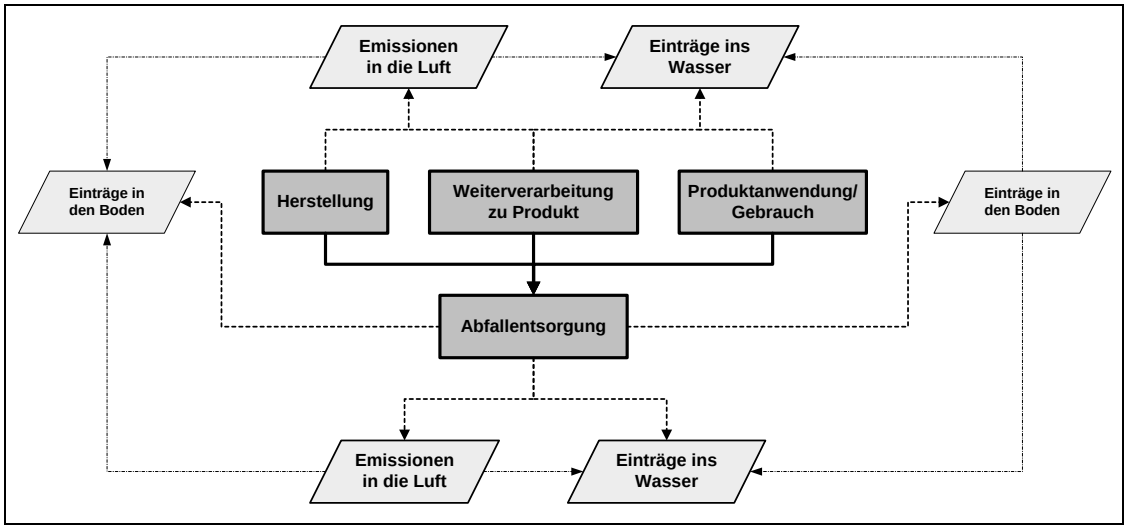


Abb. 1: Emissionspfade von Nanopartikeln in die Umweltmedien
(Quelle: Eigene Darstellung)

Für den ‚Lebensweg' von Nanopartikeln wichtige Vorschriften betreffen den Arbeits-, Umwelt- und Verbraucherschutz soweit sie für die Forschungstätigkeit, den Herstellungsprozess, den Transport, beim Gebrauch

eines Produktes sowie bei der Entsorgung und bei einer Wiederverwertung relevant sind. Zu den während der Tagung vorrangig diskutierten umweltrechtlichen Regelungen zählten das Chemikalienrecht (insbesondere der Entwurf der REACH-Verordnung[2]), das Immissionsschutzrecht sowie das Abfall- und Wasserrecht. Um zu überprüfen, ob und inwieweit diese Vorschriften Nanopartikel erfassen, sind insbesondere

- der Anwendungsbereich der Vorschriften,
- das Vorhandensein und der Umfang von Eröffnungskontrollen für die Errichtung und den Betrieb von Anlagen sowie für die Emittierung von Stoffen in die Umweltmedien,
- die Art und der Umfang der Emissions- und Immissionsvorgaben,
- das Vorhandensein entsprechender Monitoring-Mechanismen auf der Emissions- bzw. Immissionsseite sowie
- die Möglichkeit nachträglicher Beschränkung der Eröffnungskontrolle

zu analysieren.

Zu untersuchen sind dabei nicht nur die nationalen Rechtsvorschriften und die Regelungen auf der EU-Ebene, sondern auch das untergesetzliche Regelwerk (z. B. die TA Luft), da dieses für das Monitoring, die Messtechnik und die Risikoidentifizierung und -bewertung von großer Bedeutung ist.

Eine wichtige erste regulatorische Ebene für die Erfassung und Risikobewertung von Nanopartikeln sowie zum Erlass möglicher Restriktionen ist das Chemikalienrecht und hier insbesondere der Vorschlag zur REACH-Verordnung[3]. Nach der REACH-Verordnung hat ein Hersteller oder Importeur, der einen Stoff als solchen oder in einer oder mehreren Zubereitungen in einer Menge von mind. 1 Tonne pro Jahr herstellt oder einführt, bei der Agentur ein Registrierungsdossier einzureichen (Art. 6 Abs. 1 REACH-Verordnung). Diese Verpflichtung besteht auch dann, wenn Erzeugnisse hergestellt oder eingeführt werden, in denen ein Stoff in einer Menge von insgesamt mehr als 1 Tonne pro Jahr und Produzent enthalten ist, soweit dieser Stoff unter normalen oder vernünftigerweise vorhersehbaren Bedingungen freigesetzt werden soll (Art. 7 Abs. 1 REACH-Verordnung). Damit Nanopartikel einer Registrierungspflicht und der damit verbundenen stofflichen Risikobewertung nach der

---

[2] Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Richtlinie 67/548/EWG des Rates im Hinblick auf ihre Anpassung an die Verordnung (EG) des Europäischen Parlaments und des Rates über die Registrierung, Bewertung und Zulassung chemischer Stoffe und deren Beschränkung, KOM/2003/0644 endg.

[3] a. a. O.

REACH-Verordnung unterliegen, muss es sich also um einen Stoff handeln, und dieser muss mindestens in einer Menge von 1 Tonne pro Jahr hergestellt werden. Der Begriff ‚Stoff' wird in REACH definiert als „chemisches Element und seine Verbindungen in natürlicher Form oder gewonnen durch ein Herstellungsverfahren, einschließlich der zur Wahrung seiner Stabilität notwendigen Zusatzstoffe und der durch das angewandte Verfahren bedingten Verunreinigungen, aber mit Ausnahme von Lösungsmitteln, die von dem Stoff ohne Beeinträchtigung seiner Stabilität und ohne Änderung seiner Zusammensetzung abgetrennt werden können" (Art. 3 Nr. 1 REACH-Verordnung). Es ist zu prüfen, ob Nanopartikel unter den Stoffbegriff der REACH-Verordnung zu subsumieren sind und der Anwendungsbereich der Verordnung überhaupt eröffnet ist. Weiterhin stellt sich die Frage, ob es sich bei nanoskaligen Verbindungen um neue Stoffe handelt, die unter der REACH-Verordnung angemeldet werden müssen, oder ob es sich lediglich um eine andere Erscheinungsform bereits angemeldeter Stoffe handelt, mit der möglichen Schlussfolgerung, dass eine Anmeldung nach der REACH-Verordnung nicht erforderlich ist. Für diese Frage spielen die physikalisch-chemischen Eigenschaften von Nanopartikeln eine wichtige Rolle. So können sich beim Übergang zu Größenordnungen im Nanometer-Bereich die Eigenschaften von Stoffen – sowohl die physikalisch-chemischen Eigenschaften als auch die biologischen Wirkungen – verändern. Der Grund dafür liegt in dem im Vergleich zum gröberen Material zunehmende Oberflächen/Volumen-Verhältnis, der höheren Oberflächenenergie und der kleineren Partikelgröße.

Geht man davon aus, dass es sich bei Nanopartikeln um Stoffe im Sinne der REACH-Verordnung handelt, so stellt sich die Frage, ob das Erreichen der Mengenschwelle von 1 Tonne pro Jahr und Hersteller geeignet ist, die von Nanomaterialien möglicherweise ausgehenden Risiken für Mensch und Umwelt rechtzeitig zu erkennen und zu verhindern. Aufgrund der geringen Masse der Nanopartikel werden die Tonnenschwellen wohl häufig nicht erreicht. Ein detaillierter Stoffsicherheitsbericht ist aber erst ab einer Herstellungs-/Einfuhrmenge von 10 Tonnen pro Jahr und Hersteller erforderlich (Art. 14 Abs. 1 REACH-Verordnung). Zu prüfen ist weiter, ob überhaupt Testmethoden existieren, mit denen spezifische, von Nano-Verbindungen ausgehende Risiken ermittelt werden könnten.

Im Bereich der Herstellung von Nanopartikeln kommt dem Immissionsschutzrecht eine große Bedeutung zu, da es die Rolle eines umfassenden Industrieanlagen-Zulassungsrechts innehat. Zentrale Normen sind in Deutschland das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) und auf der Ebene des EU-Rechts die IVU-Richtlinie 96/61/EG. Entscheidend für die Genehmigungspflicht nach dem BImSchG als auch nach der IVU-Richtlinie ist, dass die Gewinnung von Nanomaterialien in einer „Anlage"

durch eine „chemische Umwandlung in industriellem Umfang“ erfolgt. Ob dies bei der Herstellung von Nanopartikeln der Fall ist, wäre zu prüfen. Es schließt sich die Frage an, ob die für genehmigungspflichtige Anlagen geltenden materiellen Grundpflichten des Immissionsschutzrechts aus § 5 BImSchG sowie ihrer Konkretisierungen in Rechtsverordnungen nach § 7 BImSchG und der nach § 48 BImSchG erlassenen Verwaltungsvorschriften (z. B. TA Luft) den von Nanopartikeln ausgehenden Auswirkungen gerecht werden. In diesem Zusammenhang erwähnenswert ist eine Entscheidung des Verwaltungsgerichtshofs Mannheim[4]. Eine Genehmigungsbehörde hatte für eine Anlage zur Herstellung unterschiedlicher Nanopulver gegenüber den Anforderungen der TA Luft deutlich strengere Vorgaben in den Bescheid aufgenommen. Trotzdem hatte ein Anwohner der Anlage gegen die im Genehmigungsbescheid festgesetzten Emissionswerte geklagt, da er befürchtete, dass trotz der strengen Vorgaben durch die Herstellung der Nanopulver „schädliche Umwelteinwirkungen“ ausgehen würden. Seine Klage blieb erfolglos, da er nicht belegen konnte, dass von den Nanopulvern „schädliche Umwelteinwirkungen“ im Sinne des BImSchG ausgehen. Vielmehr konnte im Gerichtsverfahren mit Hilfe eines Gutachtens belegt werden, dass die Immissionsbelastung durch die Anlage unter 1 % des von der Länderarbeitsgemeinschaft Immissionsschutz (LAI) für tolerabel gehaltenen Immissionswertes für Dieselruß bleiben werde. Eine Verletzung der Schutzpflicht aus § 5 Abs. 1 Nr. 1 BImSchG verneinte das Gericht deshalb.

Neben dem Immissionsschutz ist auch das Wasserrecht im Hinblick auf die Herstellung von Nanopartikeln, aber auch in der Gebrauchs- und Nachgebrauchsphase näher zu beleuchten. Zu untersuchen ist, inwieweit die Anforderungen an die direkte Einleitung in ein Gewässer und die indirekte Einleitung (über die kommunale Kläranlage) den Anforderungen an die Produktion von Nanopartikeln gewachsen sind. Weiterhin unterliegen auch Abwasseranlagen gem. § 18b und c Wasserhaushaltsgesetz (WHG), wie z. B. Kläranlagen, Anlagen mit wassergefährdenden Stoffen, gem. § 19g-k WHG und Rohrleitungsanlagen gem. § 19a-f WHG einer Genehmigungspflicht, die es zu untersuchen gilt. Die materiellen Anforderungen bei der Genehmigung zur Einleitung von Abwässern wird durch die Abwasserverordnung (AbwV)[5] konkretisiert, die für bestimmte Herkunftsbereiche in ihren Anhängen spezifische Vorgaben enthält. Bei industriellen und gewerblichen Betrieben handelt es sich zumeist um Indirekteinleiter.

---

[4] VGH Mannheim, Urteil vom 18. Dezember 2001, Az.: VGH 10 S 2184/99.

[5] Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer (Abwasserverordnung – AbwV) vom 17. Juni 2004 (BGBl. I S. 1108), zuletzt geändert am 14. Oktober 2004 (BGBl. I S.2625).

Ihr Abwasser darf laut Indirekteinleiter-Verordnung (IndVO) der Länder[6] nur mit Genehmigung der unteren Wasserbehörde in die öffentliche Kanalisation geleitet werden, wenn es aus einem in der AbwV genannten Herkunftsbereich stammt und für diesen Herkunftsbereich Anforderungen an das Abwasser vor Vermischung oder für den Ort des Anfalls festgelegt sind. Zu prüfen wäre, ob für das bei der Herstellung von Nanopartikeln anfallende Abwasser entsprechende Anforderungen vorgeschrieben sind bzw. festgelegt werden können.

Soweit bei der Herstellung von Nanopartikeln Abfälle anfallen, sind die Regelungen des Abfallrechts auf ihre nanospezifische Anwendbarkeit zu untersuchen. Es stellt sich unter anderem die Frage, ob und inwieweit die anfallenden Abfälle im Abfallstrom getrennt überwacht und entsorgt werden. Dazu sind die Abfallschlüssel daraufhin zu analysieren, ob sie eine nanospezifische Erfassung ermöglichen. Mit Blick auf die Verbrennung von nanopartikelhaltigen Abfällen bedürfen die Vorgaben der Abfallverbrennungsrichtlinie 2000/76/EG[7] für Abfallverbrennungsanlagen sowie „Mitverbrennungsanlagen“ einer eingehenden Analyse.

Ein wesentlicher und häufig diskutierter Aspekt in der Gebrauchsphase von nanopartikelhaltigen Produkten ist die Kennzeichnung der Produkte. Bislang ist die Kennzeichnung von Produkten, die Nanopartikel enthalten, nicht vorgeschrieben, so dass es für den Anwender nicht erkennbar ist, ob ein Produkt solche Teilchen enthält oder nicht. Daher ist es schwierig, gezielt die Herkunft und Verbreitung bestimmter Nanomaterialien in der Umwelt zu untersuchen. Zudem hat der Verbraucher nur sehr eingeschränkt die Möglichkeit, bewusst auf nanopartikelhaltige Produkte zu verzichten, wenn er dies möchte.

Querliegend zu den zuvor genannten medialen Gesetzen, aber auch zum Verbraucher- und Arbeitsschutz ist das Problem gegeben, dass nur geringe Kenntnis über die Exposition durch Nanopartikel und deren Wirkung auf den Menschen besteht – dies trotz der in den vergangenen Jahren rasanten Entwicklung der Nanotechnik und der wachsenden Zahl von mit Nanotechnik hergestellten Produkten. Mögliche Expositionen für den Menschen sind in der nachfolgenden Grafik (Abb. 2) zusammengestellt.

---

6 So z. B. in Baden-Württemberg die Verordnung des Ministeriums für Umwelt und Verkehr über das Einleiten von Abwasser in öffentliche Abwasseranlagen (Indirekteinleiterverordnung – IndVO) vom 19. April 1999 (GBl. S. 181), zuletzt geändert am 1. Juli 2004 (GBl. S. 469).

7 Richtlinie 2000/76/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 4. Dezember 2000 über die Verbrennung von Abfällen, ABl. L 332 vom 28.12.2000, S. 91.

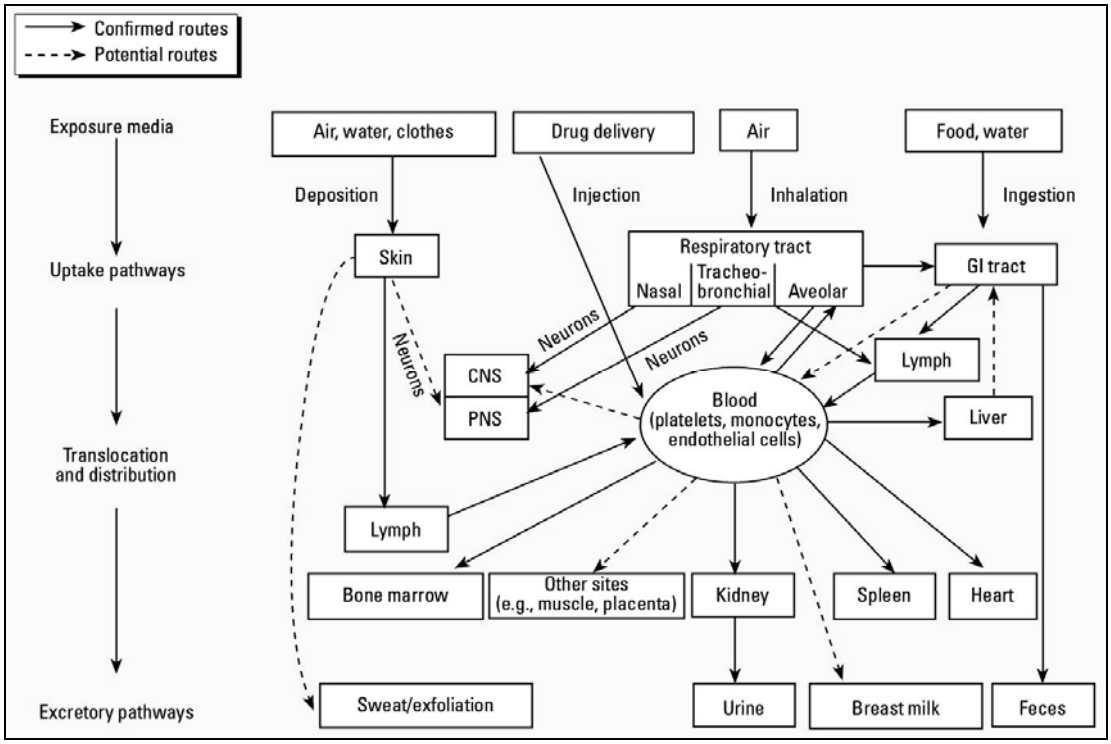


Abb. 2: Principles for Characterizing the Potential Human Health Effects from Exposure to Nanomaterials: Elements of a Screening Strategy
(Quelle: Oberdörster et al. 2005, S. 6)

Wegen der neuartigen Eigenschaften von Nanopartikeln ist daher die technologische Entwicklung auch mit den erforderlichen Risikobewertungen zu begleiten. Notwendig erscheinen dazu harmonisierte Test- und Risikobewertungsmethoden.

Wie im Eingang des Artikels angesprochen, lässt sich die Frage, ob die Herstellung, Verwendung und Entsorgung von Nanopartikeln bzw. Produkten mit Nanopartikeln unreguliert ist, zurzeit noch nicht abschließend beantworten. Es kann aber in diesem Stadium der rechtswissenschaftlichen Untersuchung festgestellt werden, dass die chemikalienrechtliche Einstufung von Nanopartikeln eine zentrale Rolle spielen wird. Hierbei ist besonders auf die physikalisch-chemischen Eigenschaften von Nanopartikeln einzugehen. Auch entlang des ‚Lebenswegs' von Nanopartikeln bestehen bereits zahlreiche umweltrechtliche Vorschriften, die im Hinblick auf ihre Regelungskraft untersucht werden müssen.

Literatur

Oberdörster, G.; Maynard, A.; Donaldson, K. et al. (2005): Principles for Characterizing the Potential Human Health Effects from Exposure to Nanomaterials: Elements of a Screening Strategy. In: Particle and Fibre Toxicology 2 (8), S. 6-35.

The Royal Society; The Royal Academy of Engineering (Hrsg.) (2004): Nanoscience and Nanotechnologies. Opportunities and Uncertainties. London.

Ralph J. Jurisch

Wo hapert es an rechtlichen Grundlagen?
Von der Verfassung bis zum Arbeitsschutz

1 Ausgangslage

Die Nanotechnologie findet zunehmend (weltweite) Beachtung und wird bereits als *die* Zukunftstechnologie bezeichnet. Sie zeichnet sich durch den Effekt aus, dass neue Funktionalitäten entstehen und Anwendungsbereiche erschlossen werden.[1]

Seitens der Politik scheinen die Weichen bereits gestellt: das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) weist hierzu auf seiner Internetseite auf Folgendes hin:

> „Die künftigen Fortschritte der Nanotechnologie entscheiden mit über die weitere Entwicklung zukunftsträchtiger Branchen. Das Bundesforschungsministerium hat hierzu eine Gesamtstrategie vorgestellt. … Anwendungen entstehen in der Energietechnik – Brennstoff- und Solarzellen –, in der Umwelttechnik – Materialkreisläufe und Entsorgung – oder in der Informationstechnik – neue Speicher und Prozessoren – aber auch im Gesundheitsbereich. Nanotechnologie ist ein Oberbegriff für unterschiedlichste Arten der Analyse und Bearbeitung von Materialien, denen eines gemeinsam ist: Ihre Größendimension beträgt ein bis einhundert Nanometer (ein Nanometer ist ein millionstel Millimeter). Die Nanotechnologie nutzt die besonderen Eigenschaften, die für viele Nanostrukturen charakteristisch sind. Die mechanischen, optischen, magnetischen, elektrischen und chemischen Eigenschaften dieser kleinsten Strukturen hängen nicht allein von der Art des Ausgangsmaterials ab, sondern in besonderer Weise von

[1] Zum Vergleich: Ein Nanometer ist der millionste Teil eines Millimeters. Der Durchmesser eines menschlichen Haares ist fünfzigtausendmal größer.

> ihrer Größe und Gestalt. Voraussetzung für die Nanotechnologie ist die Entdeckung der Arbeitsmöglichkeiten mit einzelnen Bausteinen der Materie sowie das damit zunehmende Verständnis der Selbstorganisation dieser Bausteine. … Die industrielle Eroberung der Nanometer-Dimension hat bereits eingesetzt. … In der Elektronik gehört die nanoskalige Strukturierung bei der Chipherstellung oder bei der Entwicklung neuer Festplatten für Computer schon heute zum Handwerk. Aber auch für viele andere in Deutschland wichtige Industriebranchen wie Chemie, Pharma, Automobilbau, Informationstechnik oder Optik hängt die künftige Wettbewerbsfähigkeit ihrer Produkte von der Erschließung des Nanokosmos ab. Die künftigen Fortschritte der Nanotechnologie sind entscheidend für die weitere Entwicklung dieser Industriesektoren. … Seit 1998 wurden die Mittel für die Projektförderung in der Nanotechnologie vervierfacht. Auf dem Gebiet der Nanotechnologie ist die Bundesrepublik dadurch die Nummer 1 in Europa. … Das BMBF hat Projekte zur Nanotechnologie seit Anfang der 90er Jahre gefördert. Seit 1998 wurden allein die im Rahmen der Projektförderung des BMBF bereitgestellten Fördermittel für Nanotechnologie vervierfacht. Als unterstützende Infrastruktur wurden parallel dazu Kompetenzzentren aufgebaut. Die Anstrengungen des BMBF für die Nanotechnologie sollen nochmals deutlich gesteigert werden, damit wir unsere Chancen schneller und nachhaltiger nutzen können als die Konkurrenz. … Aus dieser guten Position heraus kommt es darauf an, die *Weichen für die künftige Entwicklung richtig zu stellen und vor allem die Anwendungspotentiale für den Wirtschaftsstandort Deutschland zu erschließen.* Die Innovationsinitiative ‚*Nanotechnologie erobert Märkte*' zielt darauf ab, die in den einzelnen Fachgebieten geförderten Aspekte der Nanotechnologie zu einer nationalen Gesamtstrategie zu bündeln. … Im Jahr 2002 fand eine strategische Neuausrichtung mit dem Ziel statt, den Vorsprung Deutschlands in der Nanotechnologie weiter auszubauen, um die Position unseres Landes als ‚Exportweltmeister' durch Entwicklung, Produktion und Anwendung von Nanoprodukten zukunftssicher zu machen" (BMBF o. J., Hervorhebungen durch den Autor).

Diesen Beschreibungen ist hinsichtlich der politischen Zielvorgaben zur Förderung der Nanotechnologie nichts hinzuzufügen. Die zahlreichen Veröffentlichungen[2] hierzu lassen lediglich den Schluss zu, dass nicht mehr über das ‚Ob' der Nanotechnologie zu diskutieren ist, sondern lediglich Rahmenbedingungen der weiteren Forschung und Entwicklung sowie wirtschaftlichen Nutzung zur Diskussion stehen.

[2] Vgl. hierzu allein die vom BMBF herausgegebenen Broschüren (BMBF 2004; 2002a; 2002b).

2 Rechtliche Rahmenbedingungen

Neue technische Entwicklungen oder technische Möglichkeiten werfen regelmäßig die Frage auf, ob diese einer eigenen (typischerweise: neuen) Regelung bedürfen.[3] Der Verfasser hält dies aus zwei Erwägungen derzeit nicht für geboten:

Zum einen schließt die Erforschung und Nutzbarmachung immer kleinerer Strukturen die Anwendung bestehender gesetzlicher Regelungen im Zivilrecht (zum Beispiel im bürgerlichen Recht, Handelsrecht, Produkthaftungsrecht), im Verwaltungsrecht (zum Beispiel dem Immissionsschutzrecht, in dem Geräte- und Produktsicherheitsgesetz, dem Lebensmittelrecht) oder auch im Medizinrecht und Arzneimittelrecht nicht aus. Vielmehr sind die gesetzlichen Regelungen im Allgemeinen gerade ‚offen' formuliert, sollen also auch für zukünftige Entwicklungen grundsätzlich einen handhabbaren und praktikablen Beurteilungsmaßstab abgeben können.

Zum anderen ist das ‚Neuartige' an der Nanotechnologie eher die Nutzbarmachung beziehungsweise der *Anwendungsbereich* dieser Technologie. Ob sich aufgrund dieser Anwendungsbandbreite ein Regelungsbedarf ergibt, etwa weil bestehende Normierungen versagen oder einer Regelung oder Abänderung/Ergänzung bedürfen, kann derzeit kaum abgeschätzt werden. Im Hinblick auf unbekannte ‚Risiken' ein praktikables und verfassungskonformes Regelwerk in Kraft zu setzen, erscheint nicht realistisch.

3 Ausblick

Es scheint eher notwendig zu sein, in den verschiedenen Anwendungsbereichen der Nanotechnologie sowohl Forschungs-/Entwicklungsfortschritte als auch deren praktische Anwendung und die sich hieraus ergebenden Implikationen einer regelmäßigen, durchaus engmaschigen Kontrolle zu unterziehen. Soweit sich hieraus ein Handlungsbedarf für den Gesetzgeber ableiten lässt, sind die entsprechenden Konsequenzen selbstverständlich zu ziehen. Ob dieser zukünftige Handlungsbedarf medienbezogen ist[4], generelle Regelungen, wie zum Beispiel eine allgemeine Beweislastumkehr zu Lasten des Herstellers, Bearbeiters oder Verwenders von Produk-

---

[3] Siehe z. B. die Diskussionen zum Thema ‚Elektrosmog' und zur 26. BImSchV.

[4] Als Beispiel mag hier das – zergliederte – Umweltrecht dienen, das sowohl medienbezogene (z. B. Immissionsschutzrecht, Wasserrecht, Bodenschutz) als auch vorhabenbezogene (z. B. Atomrecht, Luftverkehrsrecht, Straßenrecht) gesetzliche Regelungen kennt.

ten oder Produktbestandteilen unterhalb einer bestimmten Schwellengröße enthält, oder aber die Hersteller, Bearbeiter oder Verwender von Produkten oder Produktbestandteilen unterhalb einer bestimmten Schwellengröße vor dem Inverkehrbringen ihrer Produkte einen Unbedenklichkeitsnachweis erbringen müssen[5], mag die weitere Entwicklung zeigen.

Literatur

BMBF (Hrsg.) (2004): Nanotechnologie erobert Märkte. Deutsche Zukunftsoffensive für Nanotechnologie. Berlin.

BMBF (Hrsg.) (2002a): Nanotechnologie in Deutschland. Standortbestimmung. Bonn.

BMBF (Hrsg.) (2002b): Nanotechnologie in Deutschland. Strategische Neuausrichtung. Bonn.

BMBF (Hrsg.) (o. J.): Nanotechnologie - eine Zukunftstechnologie mit Visionen. URL: http://www.bmbf.de/de/nanotechnologie.php, Abruf: 22.09.2006.

[5] Eine vergleichbare Regelung kennt das Arzneimittelrecht vor dem Inverkehrbringen neuer Präparate nach mehrfachen Studien und einer Begleitung sowie Bewertung durch die Ethikkommission.

Peter Heise

Diskussionsergebnisse der Arbeitsgruppe ‚Rechtliche Grundlagen der Nanotechnologien'

Moderation: Helmut Horn

Ausgangslage

Auf der Tagung wie auch in der Arbeitsgruppe wurde deutlich, dass es an einer einheitlichen Definition fehlt, was unter ‚Nano' oder ‚Nanotechnologien' zu verstehen ist, bzw. dass diese Begriffe in der öffentlichen Diskussion sehr frei genutzt werden. Relativ eindeutig ist die Abgrenzung nach der Größe. Demnach bezieht sich ‚Nanotechnologie' auf die Herstellung, Untersuchung und Anwendung von Stoffen und Strukturen (z. B. Partikel, Schichten, Röhren) mit Dimensionen von weniger als 100 Nanometern (nm).

Nanostoffe werden für die unterschiedlichsten Anwendungsbereiche (z. B. Bekleidung, Medizin, Nahrungsmittel) erforscht und hergestellt. Je nach Anwendungsbereich ergeben sich entsprechend unterschiedliche Rechtsbereiche (z. B. Produkthaftung, Verbraucherschutz, Arbeitsschutz, Immissionsschutz, Chemikaliengesetz) mit unterschiedlichen Regelungstiefen. Im Vergleich zu Rechtsbereichen anderer ‚Technologien' ergeben sich vielfältige Depositionen und Wirkungspfade bei unterschiedlichen Akzeptoren. Eine (stoff)spezifische Betrachtung ist daher notwendig.

Für jeden Anwendungsbereich von Nanopartikeln müsste geprüft werden, ob es einen ausreichenden Regelungsrahmen gibt, der die Wirkungen erfassen kann.

Eine rechtliche Prüfung muss den gesamten ‚Lebensweg' eines Produktes umfassen, um mögliche Regelungsdefizite zu ermitteln. Zu untersuchen sind dabei nicht nur die nationalen und EU-weiten Rechtsvorschriften, sondern auch das untergesetzliche Regelwerk (z. B. die TA Luft), da

dieses für das Monitoring, die Messtechnik und die Risikobewertung von großer Bedeutung ist.

Bewertung

Es scheint so zu sein, dass der gesetzliche Regelungsrahmen zumindest auf der Zielsetzungsebene ausreichend ist. Dies setzt jedoch Stoffprüfungsmethoden voraus, die das Wirkungsspektrum erfassen können. Diese liegen bislang nur ansatzweise vor.

Es existieren nur geringe Kenntnisse über die Exposition durch Nanopartikel und deren Wirkung auf den Menschen. Trotz der schon Jahre andauernden Forschung und auch Anwendung von Nanoprodukten fanden hier keine ausreichenden Analysen statt, bzw. die Erarbeitung von z. B. Sicherheitsdatenblättern wird nicht ernsthaft betrieben. Hier zeigen sich die Lücken in der Parametrisierung der Wirkungsermittlung in den bestehenden normativen Regelungen.

Das Defizit in der Wirkungserfassung ist in vielen Fällen zu hoch, um eine rechtliche Beurteilung zu erreichen. Damit bleibt der rechtliche Eingriffsraum diffus – ohne konkrete Schädigungswirkungen keine juristische Limitierung. Nicht bekannte Gefahren können nach juristischer Denkweise nicht zum Versagen von Genehmigungen führen. Vorsorge scheint kaum möglich, wenn keine Gefahren bekannt sind.

Auch bei der Nanotechnologie zeigt sich – wie bei allen anderen Technologien – dass die Technikentwicklung immer vorausläuft. Erst aufgrund der später auftretenden negativen Wirkungen wird eine Risikoabwägung ermöglicht.

Forderungen

Es besteht somit das Erfordernis der intensiven Untersuchung biologischer Wirkungen nanotechnologischer Produkte.

Parallel sind die normativen Regelungen im Hinblick auf die spezifischen Eigenschaften und Bedingungen der Nanotechnologie anzupassen.

Es wäre zu prüfen, ob Zulassungsverfahren für Nanoanwendungen, z. B. ähnlich dem Medikamentenbereich, vorzusehen sind. Bis zur Klärung der Wirkung der nanotechnologischen Produkte sollten diese entsprechend gekennzeichnet werden.

Bausteine einer Nanostrategie

Wolf-Michael Catenhusen

Nanotechnologie und gesellschaftliche Verantwortung

1 Nanotechnologie – von der Zukunftsvision zur Schlüsseltechnologie

Der Begriff ‚Schlüsseltechnologie' ist ebenso wie der ‚Technologie'-Begriff nicht eindeutig definiert und starken Wandlungen unterworfen: So geht es bei der Kerntechnik um technische Systeme – Kernkraftwerke und Einrichtungen im Kontext des Brennstoffkreislaufs, von der Anreicherung bis zur Wiederaufarbeitung und Endlagerung –, in denen durch Kernspaltung Energie – zu zivilen oder militärischen Zwecken – erzeugt wird. Mit Gentechnik umschreiben wir die Anwendung einer Methode, der Technik der Neukombination von Genen durch gezielten Gentransfer, in der Grundlagenforschung und in den verschiedenen Anwendungskontexten. Der Begriff ‚Nanotechnologie' bezieht sich auf eine Größenordnung, den Nanometerbereich. Alles, was in dieser Dimension für den Menschen an Analyse und gezielter Beeinflussung und Nutzung möglich ist oder werden könnte, verbinden wir mit dem Begriff ‚Nanotechnologie'.

Schon 1959 wies der spätere Nobelpreisträger Richard Feynman in seinem Vortrag ‚There's Plenty of Room at the Bottom' auf die Nano-Dimension hin. Er drängte seine Zuhörer eine Perspektive zu betrachten, in der wir einmal die Fähigkeit hätten „to arrange the atoms the way we want; the very atoms, all the way down." Mit der Entwicklung des Rastertunnelmikroskops 1986 wurde die Nano-Dimension sichtbar, analysierbar und dann auch gezielt beeinflussbar. Gut zehn Jahre später begann das Feld der Nanotechnologie Gegenstand staatlicher Technologieförderung zu werden: Deutschland startete 1998 die Förderung von sechs Nano-Kompetenzzentren und legte Anfang 2004 das Programm ‚Nanotechnologie erobert Märkte' auf. Nach dreijähriger Vorarbeit wurde 2000 durch US-Präsident Clinton die National Nanotechnology Initiative (NNI) ge-

startet. Innerhalb von sechs Jahren vervierfachte sich die öffentliche Förderung der Nanotechnologie in den USA; sie stieg von 270 Millionen Dollar im Jahr 2000 auf 849 Millionen Euro im Jahre 2004 und hat 2005 ca. 1 Mrd. Dollar erreicht. 2001 erklärte Japan das Feld der Nanotechnologie zu den ‚main research priorities'. 2004 wurde das Asia Nanoforum auf Initiative Japans gestartet. Nanotechnologie wurde ein Handlungsfeld des 6. Forschungsrahmenprogramms der EU. Im Mai 2006 stellte Südafrika seine ‚National Nanotechnology Initiative' vor. Heute ist die Nanotechnologie in über 30 Ländern Gegenstand staatlicher Forschungsförderung geworden. Gut 1.200 Start-Up-Firmen arbeiten heute weltweit auf diesem Feld.

2 Die Förderung von Schlüsseltechnologien ist mehr als Wirtschaftsförderung

Die Freiheit von Wissenschaft und Forschung ist in Deutschland durch das Grundgesetz geschützt. Zugleich ist Technologieentwicklung ein gesellschaftlicher Prozess, in dem der Staat über seine Finanzierung Prioritäten setzt und im Kontext einer Innovationspolitik längst dazu übergegangen ist, so früh wie möglich Mechanismen zur Ermittlung wirtschaftlich nutzbarer Anwendungsmöglichkeiten zu etablieren. Mit einer solchen Strategie wird versucht, dem Trend des Strukturwandels hin zu einer immer stärkeren Bedeutung wissenschaftsbasierter Produkte und Dienstleistungen Rechnung zu tragen. Zeigen sich konkrete Anwendungsperspektiven, wird die Wirtschaft schnell zum zentralen Akteur und beteiligt sich auch an der Finanzierung von Produktentwicklungen.

Zum anderen beeinflussen Schlüsseltechnologien immer stärker unsere Gesellschaft. Wir können es uns aus ökologischen wie sozialen Gründen nicht mehr leisten, blind in die Entwicklung und Anwendung neuer Technologien hineinzustolpern, wie wir es beim Einstieg in die umfassende Nutzung fossiler Brennstoffe oder in die synthetische Chemie getan haben. Deshalb müssen wir eine ökonomisch orientierte Innovationspolitik so früh wie möglich zu einer umfassenden, auch sozialen und nachhaltigen Innovationspolitik ausweiten. Es geht insbesondere um:

1. Bestimmung und öffentliche Förderung gesellschaftlich erwünschter Anwendungsgebiete einer neuen Technologie, wenn sie im Prozess einer wirtschaftlich getriebenen Innovation vernachlässigt werden.

2. Eine die Technikentwicklung begleitende interdisziplinäre Forschung, die mögliche Folgen für Mensch, Gesellschaft und Umwelt bedenkt und möglichen Handlungsbedarf ermittelt.
3. Stärkung der fachlichen Kompetenz der staatlichen Instanzen, die die klassischen Schutzfunktionen des Staates mit gesetzlichem Auftrag wahrnehmen, für ihre Arbeit in neuen Technologiefeldern. Handlungsfelder sind u. a.: Normung, Arbeitsschutz, Gesundheitsschutz, Umweltschutz.
4. Frühzeitige Einbeziehung zentraler gesellschaftlicher Akteure ergänzend zur Wirtschaft mit folgenden Aufgaben:

   - Ermittlung gesellschaftlich gewünschter Anwendungsfelder einer neuen Schlüsseltechnologie,
   - Schaffung von Informationsgrundlagen und Diskursstrukturen für die Klärung eines möglichen Handlungsbedarfs auf den Feldern Arbeitsschutz, Gesundheitsschutz, Umweltschutz, Schutz von Freiheitsrechten,
   - Erörterung von Fragen ethischer Verantwortbarkeit.

   In einem solchen Prozess muss der Staat auch ein Interesse daran haben, die Kompetenz von NGOs als gesellschaftlichen Akteuren auf diesem Feld gezielt zu stärken.

3 Die Nanostrategie NNI der USA – ein erster Schritt auf dem Weg zu einer integrierten Förderung der Nanotechnologie

2003 verabschiedete der Kongress den ‚21st Century Nanotechnology Research and Development Act' als Rechtsgrundlage für die umfassende Nanotechnologie Strategie NNI (National Nanotechnology Initiative) der USA. Sie umfasst folgende Handlungsfelder:

1. Stärkung der wissenschaftlichen und technologischen Kompetenz auf dem Feld der Nanotechnologien zur Sicherung der weltweiten Führungsrolle der USA durch

   - Projektförderung mit besonderer Betonung von Interdisziplinarität,
   - Aufbau und Förderung von interdisziplinären Nanotechnologie-Forschungszentren mit Verknüpfung von universitärer und außeruniversitärer Forschung und Beteiligung von Industriepartnern,

- Beschleunigung der Entwicklung und Anwendung der Nanotechnologieforschung und -entwicklung im privaten Sektor mit besonderem Bezug auf nanotechnologieorientierte Unternehmensgründungen.

2. Aufbau einer wissenschaftlichen Infrastruktur, die sicherstellt, dass parallel zur Entwicklung der Nanotechnologie ethische, rechtliche, ökologische und andere gesellschaftliche Folgen aufgearbeitet werden, durch

   - ein eigenes Forschungsprogramm zur Aufarbeitung ethischer, rechtlicher, ökologischer und anderer gesellschaftlicher Folgen und zur öffentlichen Verbreitung der Ergebnisse dieser Forschung,
   - bestmögliche Integration von Folgenforschung in die allgemeine Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Nanotechnologie mit dem Ziel einer Verbesserung der Lebensqualität für alle Amerikaner,
   - Einbeziehung von Anregungen und Positionen aus der Öffentlichkeit in das Programm durch regelmäßige and kontinuierliche öffentliche Diskurse wie ‚citizen's panel', ‚consensus conferences' und ‚educational events'.

3. Berufung eines National Nanotechnology Advisory Panels, das sich vorrangig aus Vertretern aus Forschung und Industrie zusammensetzt. Diese Beratergruppe soll u. a.

   - Trends und Entwicklungen auf diesem Gebiet abschätzen,
   - Vorschläge zur Weiterentwicklung des Programms erarbeiten,
   - auf eine angemessene Berücksichtigung gesellschaftlicher, ethischer, ökologischer und Arbeitsplatzfolgen im Forschungsprogramm achten.

Dieses strategische Vorgehen wird von der amerikanischen Industrie getragen und mit eigenen Beiträgen unterstützt. Die Folgen dieser Vorgehensweise sind positiv: So ist es zu einer in Deutschland bislang fehlenden Qualität der Integration der Fachpolitiken gekommen. Seit 2002 befasst sich das US-Umweltministerium EPA intensiv mit den „ecological applications and implications" der Nanotechnologie und legte 2005 dazu ein Experten-Weißbuch vor.

Drei institutionell geförderte interdisziplinäre Forschungszentren sind der Kern eines landesweiten interdisziplinären Forschungs-Netzwerkes zur Aufarbeitung gesellschaftlicher Folgen der Nanotechnologie gewor-

den: das ‚Center for Nanotechnology in Society' an der Arizona State University, das ‚Center for Nanotechnology in Society' an der University of California Santa Barbara und das ‚Center for Biological and Environmental Nanotechnology (CBEN)' an der Rice University. Erwähnenswert ist auch das ‚Center on Nanotechnology and Society', ein gemeinsames Projekt des Chicago-Kent College of Law und des Illinois Institute of Technology. Es laufen interessante Diskursprojekte wie etwa das Projekt einer ‚Konsensus-Konferenz' zur Nanotechnologie an der Universität zu Wisconsin im Jahre 2005. Modelltypisch ist auch die Initiative unter aktiver Beteiligung amerikanischer und europäischer Industrieunternehmen – deutsche Industriebeteiligung bislang Fehlanzeige.

Ansätze zu einer solchen integrierten Nanotechnologiestrategie haben auch die EU-Kommission mit ihrem Nanoforum, Großbritannien, die Schweiz oder die Niederlande entwickelt. Für Deutschland – noch – unvorstellbar ist ein gemeinsames Diskursprojekt mit Greenpeace in Großbritannien.

4 Wir brauchen eine integrierte Nanostrategie für Deutschland

Deutschland hat sich seit Ende der 90er Jahre mit einer auf wirtschaftliche Nutzung angelegten Innovationsstrategie im internationalen Vergleich durchaus gut aufgestellt. Das Förderkonzept hat wichtige Innovationsfelder durch Nutzung der Nanotechnologie in zentralen Bereichen der deutschen Industrie bestimmt und zum Gegenstand gemeinsamer Förderung von Staat und Wirtschaft gemacht.

Eine integrierte Nanostrategie für Deutschland ist dagegen seit Jahren überfällig. Sie muss ein Regierungskonzept sein und folgende Maßnahmen/Handlungsfelder umfassen:

- Stärkung der wissenschaftlichen und technologischen Kompetenz Deutschlands auf dem Gebiet der Nanotechnologie. Nötig ist eine Forschungsstrategie, die die Projektförderung des Bundes und der DFG mit Aktivitäten der Helmholtz-Gemeinschaft, Fraunhofer-Gesellschaft, Max-Planck-Gesellschaft und Leibniz-Gemeinschaft strategisch bündelt und mit Anstrengungen der Wirtschaft auf zentralen Innovationsfeldern verknüpft. Nur so lässt sich die Strategieschwäche der deutschen Forschungslandschaft überwinden.
- Umfassende Einbeziehung der Förderung gesellschaftlich erwünschter Anwendungsfelder und interdisziplinäre Aufarbeitung ökologischer,

gesundheitlicher, sozialer, rechtlicher und ethischer Folgen der Perspektiven der Nanotechnologie in die Forschungsförderung.

5 Aufgaben und Strukturen eines gesellschaftlichen Diskurses

Technikentwicklung ist kein Prozess, der im luftleeren Raum, in abgeschotteten Gelehrtenstuben und Forschungslabors stattfindet. Sie ist ein Prozess inmitten der Gesellschaft, in den Leitbilder, Wertvorstellungen und wirtschaftliche Erwartungen eingehen. Spätestens seit dem weltweiten Diskurs um die Grüne Gentechnik ist klar, dass die Akzeptanz neuer Technologien bei Verbraucherinnen und Verbrauchern ein immer wichtigerer Faktor für den Erfolg am Markt geworden ist.

In den USA entwickelt sich heute eine strategische Innovations-Allianz zwischen Forschung, Staat, Wirtschaft und Gesellschaft. Politik und Wirtschaft verbindet dort das gemeinsame Interesse, durch eine transparente, mit der Gesellschaft rückgekoppelte Innovationsstrategie so früh wie möglich eine stabile Akzeptanz für gesellschaftlich erwünschte Anwendungen der Nanotechnologie zu schaffen. Man will unter allen Umständen vermeiden, dass sich die traumatische ‚Frankensteinfood'- Erfahrung bei der von einigen Konzernen, vor allem Monsanto, unzulänglich, ja schädlich betriebenen Entwicklung und Markteinführung der Grünen Gentechnik auf einem Feld der Nanotechnologie wiederholen könnte. Man ist deshalb auch bereit, Transparenz und gesellschaftlichen Diskurs sowohl zur Akzeptanzbeschaffung als auch als ‚Frühwarnsystem' zu nutzen. Politik und Wirtschaft hoffen, auf diesem Wege so frühzeitig wie möglich Regulierungserfordernisse und Akzeptanzprobleme identifizieren zu können.

Es wird Zeit, dass auch die deutsche Wirtschaft diese Sichtweise übernimmt und statt einer Verdrängungsstrategie – „bloß nicht über Risikopotenziale der Nanotechnologie reden" – eine strategische Innovationsallianz mit Politik und Gesellschaft bildet.

Unverzichtbarer Bestandteil einer solchen Innovationsallianz ist ein breiter Diskurs zu den Perspektiven der Nanotechnologie in unserer Gesellschaft. Seit den 1980er Jahren haben viele Länder, auch Deutschland, Instrumente des gesellschaftlichen Diskurses mit einem breiten Spektrum von Zielsetzungen und Methoden entwickelt. In Deutschland waren dies u. a.

- der Bürgerdialog Kernenergie. Die damalige Rechnung: Der Widerstand gegen die Kernenergie beruht nur auf mangelndem Wissen – ging nicht auf.

- Stärkung einer dialogbereiten Wissenschaftskultur durch Jahre der Wissenschaft.
- Modelle dezentraler partizipativer Kommunikation durch Konsensus-Konferenzen, Planungszellen, Bürgerdialoge, u. a. im Kontext der Debatte um Bio- und Gentechnologie.
- Institutionalisierung von Expertendialogen unter Einbeziehung von NGOs durch den Technologierat der Regierung Kohl, einen Nationalen Ethikrat oder den Nationalen Nachhaltigkeitsrat.

Im Kontext der Entwicklung der Bio- und Gentechnik hat die Bundesregierung Programme der Sicherheitsforschung aufgelegt, dann auch ein Förderprogramm zur interdisziplinären Aufarbeitung ethischer, rechtlicher und sozialer Folgen (ELSA-Programm) gestartet und das Zentrum für Ethik in den Naturwissenschaften in Bonn in die Bundesförderung aufgenommen. Die Erfahrungen mit diesen Instrumenten sind auf das Feld der Nanotechnologie nicht einfach 1:1 übertragbar.

Auf dem Feld der Nanotechnologie geht es nicht um das Austragen eines gesellschaftlichen Konfliktes, niemand hat hier schon seinen Schützengraben ausgehoben. Die Nanotechnologie ist ein sehr breites, in seinen Perspektiven noch nicht fest umrissenes Forschungsfeld, das in vielen Bereichen noch Grundlagenforschung ist, wo es heute immer noch um Technikvisionen geht. Gleichzeitig sind heute schon mehr als 200 Nano-Produkte auf dem Markt, investiert die Industrie weltweit mindestens 4 Milliarden Euro pro Jahr, ohne dass Daten über toxische, für die Arbeitsplatzsicherheit und die Gesundheit des Verbrauchers relevante Daten gesammelt werden. Die National Science Foundation geht davon aus, dass Nanotechnologie auf die Dauer die Herstellung jedes von Menschen gefertigte Produkt beeinflussen wird. Heute geht es um eine innovative, kreative Einbettung der Technologieentwicklung in ein Netzwerk unter Einbeziehung zentraler gesellschaftlicher Akteure. Eine aktuelle Stimme aus den USA unterstreicht die zentrale Bedeutung einer solchen Strategie: David Rejeski, Direktor des ‚Project on Emerging Technologies' des Woodrow Wilson International Center in Washington erklärte am 4. Mai 2006 in einer Kongressanhörung:

> „Our ability to reap the long-term benefits of nanotechnology – in areas from medicine to energy and food production – will depend heavily on how we manage the introduction of this first generation of consumer products. More complex products, with large societal implications, will soon be upon us".

Rejeski wies darauf hin, dass beispielsweise zurzeit 130 nano-basierte Medikamente und delivery sytems und 125 devices oder diagnostische Tests in präklinischer, klinischer oder kommerzieller Entwicklung sind. Wir stehen vor einer Entwicklung, wo wir mit hunderten, wenn nicht tausenden neuer Produkte überschwemmt werden. Fazit der Ausführungen Rejeskis: Es wird höchste Zeit, Anforderungen für einen Marktzugang nano-basierter Produkte zu definieren, anstatt auf einen Störfall zu warten, der schlagartig eine grundsätzliche Akzeptanzdebatte lostreten könnte.

5.1 Wir brauchen in Deutschland ein Nanoforum

Wir sind gut beraten, die Erfahrungen mit dem National Nanotechnology Advisory Panel in den USA für Deutschland zu nutzen.

Voten eines solchen Nano-Rates können nur empfehlenden Charakter haben, bestehende Verantwortungen/Zuständigkeiten nicht aufheben; eine auf Kooperation setzende Kommunikation zentraler Stakeholder eröffnet aber die Chance zu gemeinsamen Lernprozessen und zur Konsensbildung. Deshalb sollten Vertreter der Politik nicht selbst mit Stimmrecht im Nanoforum vertreten sein.

5.2 Denkbare Handlungsfelder eines Nanoforums

- Empfehlungen zu den Schwerpunkten staatlicher Förderung auf den Feldern Technologieentwicklung, Folgenabschätzung (Umwelt, Gesundheit), Vorsorgeforschung, Risiko- und Begleitforschung,
- Identifizierung gesellschaftlicher Bedarfsfelder, wo Nanotechnologie einen wichtigen Beitrag leisten kann (Arbeitsplätze, Umwelt, Gesundheit u. a.),
- Empfehlungen zu notwendigen Maßnahmen auf dem Gebiet der Standardisierung, Regulierung, Gesetzgebung u. ä.,
- Maßnahmen zur Stärkung von Transparenz und Zugang zu Informationen zu Stand und Ergebnissen der Forschung auf dem Gebiet der Nanotechnologie,
- Empfehlungen und Koordination von Maßnahmen auf dem Feld der Bürgerinformation, des Bürgerdialogs und von Maßnahmen auf dem Feld von Bildung und Qualifizierung.

Dieser Prozess kann nur erfolgreich sein, wenn der Staat auch ein Interesse an der Stärkung der Kompetenz gesellschaftlicher Akteure auf diesem Zukunftsfeld hat und zu einer gezielten staatlichen Hilfe bereit ist.

5.3 Zusammensetzung des Nanoforums

Vertreten sind Forschung, Wirtschaft, Gewerkschaften, Verbraucherverbände und Umweltverbände, maximal 12 Personen werden durch das Bundesforschungsministerium gemeinsam mit BMU, BMG, BMAS, BMWi berufen. Ein solches Projekt bedingt, dass es auch in der Bundesregierung zu einer ressort- und aufgabenübergreifenden Strategiebildung kommt.

5.4 Finanzierung der Strategie

In den USA werden für Maßnahmen auf dem Gebiet Bildung, Information, Erforschung der „societal, ethical, legal, environmental und workforce concerns“ im weitesten Sinne 8 % der Mittel für die Nanostrategie aufgewandt. Das sind bei ca. 1 Milliarde Dollar also jährlich 125 Millionen Dollar. Das ist die Messlatte für vergleichbare deutsche Aktivitäten.

Mit der Analyse und schrittweisen Beeinflussung von Materie auf der Nano-Ebene betreten wir wirkliches Neuland. Die moderne Wissenschaft und Wissenschaftskommunikation gibt uns die Chance, nicht nur blind in eine neue Handlungsdimension des Menschen hineinzustolpern, sondern gezielt parallel zur Technikentwicklung den Rahmen für einen verantwortlichen Umgang mit den Ergebnissen/Produkten sicherzustellen.

Jens Küllmer

Nanotechnologien, Umwelt- und Gesundheitsschutz

Rolle des Staates – sind Maßnahmen nötig?

Nanotechnologien im Vormarsch

Nanotechnologien werden sich mittelfristig auf nahezu alle industriellen Branchen auswirken. Analysten rechnen mit einem erheblichen Zuwachs an Arbeitsplätzen im Bereich der Nanotechnologie bis Ende 2007 in Deutschland. Heute beschäftigen sich 560 Unternehmen mit Nanotechnologie, davon sind über 440 kleine und mittelständische Unternehmen.

Neben den vielfältigen positiven Erwartungen werden von den gesellschaftlichen Akteuren mögliche Risiken von Nanotechnologien bzw. vor allem von künstlich hergestellten (synthetischen) Nanopartikeln oder Nanomaterialien diskutiert. Zentrale Fragen sind: Beeinträchtigen synthetische Nanopartikel Gesundheit und Umwelt? Wenn ja, um welche Partikel handelt es sich und wie wirken sie? Welche (charakteristischen) Eigenschaften der Nanopartikel spielen eine Rolle?

Aufgaben des BMU

Zentrale Aufgabe des BMU ist der Schutz von Umwelt und Gesundheit. Aus diesem Grund sieht das BMU einerseits seine Aufgabe darin, Entwicklungen und Innovationen durch Nanotechnologien für den Schutz der Umwelt und Ressourcen zu fördern. So versprechen Nanotechnologien oder Nanomaterialien zahlreiche Potenziale für den Umweltschutz (bessere Leit- und Speicherfähigkeit z. B. für den Energietransport, Vermeidung gefährlicher Stoffe, Schutz von Ressourcen durch leichtere Materialien etc.).

Zum anderen ist der Schutz von Umwelt und Gesundheit vor möglichen Beeinträchtigungen vor allem durch künstlich hergestellte Nanopartikel eine zentrale Aufgabe des BMU. Hier geht es um die Klärung der Wirkung von Nanopartikeln in Bezug auf den Menschen und die Umwelt sowie um eine Risikoabschätzung bzw. die Definition weiterer Forschungsfelder.

Abstimmung mit anderen Bundesressorts

Federführend für den Bereich Nanotechnologien ist das BMBF. Im Rahmen von ‚Leitinnovationen' fördert es zentrale Zukunftsfelder der Nanotechnologie (NanoMobil, NanoChem, NanoFab, NanoforLife, NanoLux). Das Projekt NanoChance soll vor allem den Bedürfnissen von kleinen und mittelständischen Unternehmen Rechnung tragen. Im Verbundprojekt ‚NanoCare' werden aktuell vor allem auch mögliche Risiken von synthetischen Nanopartikeln untersucht.

In Abgrenzung zu diesen Aktivitäten sieht das BMU seine Aufgabe vor allem darin, Innovationen für den Umwelt- und Ressourcenschutz zu erkennen, um diese dann wiederum im Rahmen der Gesamtforschungsstrategie zu fördern. Darüber hinaus initiierte das BMU im Oktober 2005 einen Stakeholderdialog zur Bewertung von Chancen und Risiken von Nanotechnologien (www.dialog-nanopartikel.de).

Chancen von Nanotechnologien für den Umweltschutz

Grundsätzlich zeichnen sich folgende Möglichkeiten ab, Nanotechnologien oder Nanomaterialien für den Umwelt-/Ressourcenschutz einzusetzen:

- Ressourceneffizienz: z. B. weniger Materialen, Langlebigkeit von Materialien, dünnere Schichten, bessere Leit- oder Speicherfähigkeit,
- Umweltentlastung: z. B. Ersatz gefährlicher Stoffe,
- ‚Umweltreparatur': z. B. Filtertechnik für Boden-/Luft-/Wasserreinigung.

Der Stand der Forschung und Entwicklung von Produkten und Anwendungen ist sehr unterschiedlich. Einige Nano-Produkte sind schon auf dem Markt, viele Anwendungen befinden sich jedoch noch in – unterschiedlichen – Entwicklungsstadien.

Welche konkreten Handlungsfelder ‚Nano für den Umwelt- und Ressourcenschutz' sind vorstellbar und sollten zeitnah weiterentwickelt werden? Hier lassen sich vor allem für ein zentrales Ziel der Energie- und Ressourceneffizienz viel versprechende Ansätze erkennen:

Photovoltaik/Solarzellen

Transparente Nanobeschichtungen mit Selbstreinigungseffekt für Solarzellen nach dem Prinzip ‚saubere Flächen' erhöhen die Energieausbeute; Dünnschichtsolarzellen: Eine hochwertige Dünnschicht aus siliziumhaltigem Gas wird auf kostengünstige Trägermaterialien abgeschieden. Experten vom Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE) bestätigen: Die experimentellen Ergebnisse sind viel versprechend.

Auch die Nutzung von Lacken für die Automobilindustrie bzw. zur Fassadengestaltung, bei denen Sonnenenergie von Farbstoffmolekülen aufgenommen und in Strom umgewandelt wird, befindet sich in einer viel versprechenden Entwicklungsphase.

Wärmedämmung/Wärmeschutz

Nano-Dämmmaterialien (Aero-/Nanogele) versprechen eine erheblich bessere Wärmedämmung. So genannte transparente Wärmedämmungssysteme (TWS) sollen in hohem Maße die Solarstrahlung durch die Dämmschicht auf die Hauswand leiten und sie in der Mauermasse speichern. Die Außenwand dient dabei als thermischer Speicher, der zeitverzögert die aufgenommene Wärme an die Innenräume abgibt. Die Wärmewiedergabe wäre so auch in den Abend- und Nachtstunden möglich. Anwendungspotenziale bestünden vor allem in der Altbausanierung.

Energiespeicherung/Energietransport

Die Verwendung von Nanoröhren in Lithium-Ionen-Akkus lassen eine höhere Leistungsfähigkeit von Batterien und Miniakkus erwarten. ‚Nanowürfel' aus Metalloxiden können zukünftig als Hochleistungsakkus dienen. Nanotechnologische supraleitende Materialien verheißen eine Minderung von Leitungsverlusten.

Energiewandlung/Brennstoffzellen

Nanotechnologische Verbesserungen bei Membranen, Katalysatoren und Elektroden könnten Brennstoffzellen preiswerter und leistungsfähiger machen. Denkbar ist auch die Erhöhung des Wirkungsgrades und der Lebensdauer von Verbrennungsmotoren. Ein weiteres konkretes Anwendungsfeld ist die Abgasnachbehandlung von Benzin- und Dieselmotoren.

Risiken für Mensch und Umwelt?

Neben den vielen positiven Erwartungen von Nanotechnologien wird die Sorge von gesellschaftlichen Akteuren lauter, inwiefern vor allem durch künstlich hergestellte Nanopartikel schädliche Wirkungen von Gesundheit und Umwelt zu befürchten sind. Wenn diese kleinen Partikel teilweise völlig neue Eigenschaften aufzeigen, dann könnte es doch sein, dass sie bisher unbekannte Schäden im menschlichen Körper oder der Natur hervorrufen können. Zur Wirkung von synthetischen Nanopartikeln gibt es in der Tat noch viele offenen Fragen, z. B.

- Wie wirken synthetische Nanopartikel im Körper oder in der Umwelt? Beeinträchtigen sie die Gesundheit oder die Umwelt? Um welche Partikel handelt es sich genau?
- Welche (charakteristischen) Eigenschaften dieser Partikel spielen eine Rolle?
- Welche Mengen/Konzentrationen/Oberflächengrößen werden überhaupt freigesetzt? Bei welchen Vorgängen (Herstellung, Verarbeitung, Nutzung, Entsorgung)? An welchen Stellen können Mensch und Umwelt mit synthetischen Nanopartikeln in Berührung kommen?
- Welche Nachweismethoden/Prüfmethoden sollten entwickelt werden? Welche können bereits zum Einsatz kommen? Was ist insgesamt für einen sicheren Umgang zu tun?

Für den Umweltschutz sind darüber hinaus folgende Fragestellungen relevant: Welches ‚atmosphärische Schicksal' haben die Partikel? Bewirken synthetische Nanopartikel z. B. durch Bindung an toxische Substanzen deren Beförderung in Ökosystemen? Werden durch sie Schwermetalle mobilisiert? Wie sieht es mit der Entsorgung aus? Sind synthetische Nanopartikel/Nanomaterialien abbau-/recyclingfähig?

Aufgaben des BMU

Das BMU möchte Nanotechnologien fördern, die einen besonderen Nutzen für den Umwelt-/Ressourcenschutz haben. Weiter wird es hinsichtlich der Exposition und Wirkung von synthetischen Nanopartikeln darum gehen, gemeinsam mit den Stakeholdern Regeln für die Phase der ‚Unwissenheit' bzw. des ‚Noch-Nicht-Wissens' zu vereinbaren. Der weitere Forschungs- und Entwicklungsbedarf für den Umweltschutz wird in den Fachbehörden erarbeitet und mit internationalen Aktivitäten abgeglichen.

Konkrete nächste Schritte

- Zweiter Stakeholder-Dialog (Wirtschaft, Wissenschaft, Verbände) zu Chancen/Risiken für Umwelt und Gesundheit im Winter 2006,
- Mitwirkung in internationalen Gremien (z. B. OECD),
- Ausarbeitung eines Prüfungs-/Fragenkatalogs durch Fachbehörden,
- Prüfung der Gesetzgebung im Umweltschutz,
- Hausinterne AG zu ‚Nanotechnologien', interministerielle AG mit Ziel, eine Nanostrategie der Bundesregierung bis 2007 zu entwickeln,
- Diskussion der Idee eines ‚code of practice',
- Internetpräsenz erweitern (u. a. www.dialog-nanopartikel.de)

Memorandum

Wilfried Kühling

Technologieentwicklung und Nachhaltigkeit

Zum verantwortungsvollen Umgang mit der Entwicklung und Anwendung von Nanotechnologien

Erläuterungen zum Memorandum

Bei der Vorbereitung zur Tagung zeigte sich schnell, dass das komplexe Themenfeld der neuen Technologien kaum in der erforderlichen Breite zu bearbeiten ist. Selbst die Fokussierung auf das Thema ‚Nanotechnologien' bietet bereits eine solche Fülle an Fragestellungen, dass auch bei dieser Einengung der Rahmen schnell gesprengt wird. Es war daher erforderlich, eine relativ klare Zielsetzung zur Strukturierung der Diskussion zu entwickeln. Da bisher hauptsächlich die Vorzüge und Chancen der Nanotechnologien in den Vordergrund gestellt werden, sollte hier – als eine erste Rahmensetzung – eher die Auseinandersetzung mit möglichen Risiken geführt werden. Als weitere Eingrenzung sollte dabei die Suche nach Antworten darüber im Vordergrund stehen, wie eine solche Auseinandersetzung in der Gesellschaft geführt werden kann, welche Voraussetzungen hierzu gegeben sind und welche Defizite möglicherweise bestehen. Vor allem aber sollte auch darüber diskutiert werden, wie der Prozess einer Auseinandersetzung mit möglichen Risiken angestoßen bzw. fortgesetzt werden kann und welche verbindlichen Schritte zum verantwortlichen Umgang mit den sich abzeichnenden Risiken erforderlich sind.

Eine Debatte über Risiken – also die Suche nach Einschätzungen zur Bedeutung von Risiken (Risikobewertung) – gestaltet sich dann besonders schwierig, wenn eine unsichere Erkenntnis- bzw. Datenlage wie im Fall der noch jungen Nanotechnologie besteht. Es reicht bei weitem nicht aus, wenn hier fachliche Experten allein solche Fragen beantworten; zumal die Bandbreite wissenschaftlicher Meinungen in der Praxis oft weit auseinan-

der geht. Vielmehr wird es in einer solchen Situation notwendig, partizipative Prozesse mit den relevanten gesellschaftlichen Kräften anzustoßen und in einem gemeinsamen Diskurs die Frage darüber zu klären, wie solche Risiken einzuschätzen sind (Risikoabschätzung) und wie damit umgegangen werden sollte (Risikomanagement). Auf dieser Grundlage sind dann gegebenenfalls politische Setzungen (Normen) möglich. Über ein solches Standardsetzungsverfahren hat bereits die Risikokommission vielschichtig nachgedacht und entsprechende Vorgehensweisen entwickelt (Abb. 1). Von großer Bedeutung dabei ist, dass mit dem Vorsorgeprinzip als fester Bestandteil der Umweltpolitik eine rechtliche Grundlage zur Umsetzung von Maßnahmen gegeben ist. Dabei geht es nicht um Gefahrenabwehr oder Schutz vor Gefahren, sondern die Vorsorge betrifft den Umgang mit wenig bekannten oder schlecht einschätzbaren Risiken, unsicherer Kenntnislage; sie greift Besorgnispotenziale und Verdachtsmomente auf. Vorsorge setzt also bereits mit einem großen Abstand unterhalb des Schadeneintritts ein und schafft eine rechtliche Grundlage für Maßnahmen auch bei unvollständiger Information und schwieriger Risikobewertung.

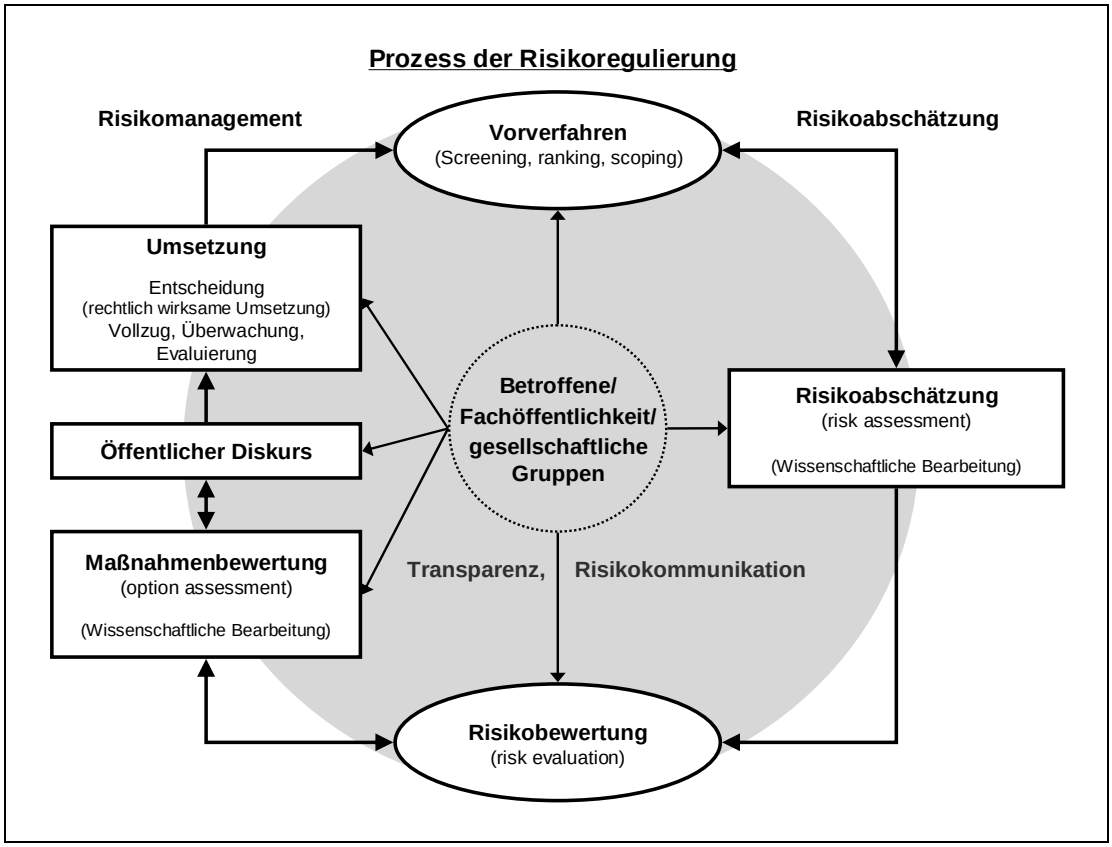


Abb. 1: Der Prozess der Risikoregulierung im Überblick
(Quelle: Risikokommission 2003, S. 28)

Schließlich benötigen Wertungen einen verlässlichen inhaltlichen Rahmen, den möglichst alle Beteiligten akzeptieren können. Die Entwicklung möglicher Gestaltungsstrategien sollte daher auf das Leitbild der ‚Nachhaltigen Entwicklung'[1] ausgerichtet sein. Obwohl sich dieser Begriff seit einigen Jahren abzunutzen scheint, gibt es bei einer tieferen Durchdringung der damit verbundenen Anforderungen an eine zukunftsfähige Entwicklung keine wirkliche Alternative. Zum besseren Verständnis ist es allerdings hilfreich, das Zusammenspiel der drei häufig in einem Dreieck zueinander betrachteten Bereiche Ökonomie, Ökologie und Soziales aus einer naturwissenschaftlichen Sicht heraus zu betrachten. Dabei stehen diese drei Schlüsselbereiche nicht unabhängig und austauschbar/abwägbar zueinander, sondern die Begrenztheit und nicht beliebige Veränderbarkeit der natürlichen Lebensgrundlagen führen zu einer hierarchischen Betrachtung, die man als ‚Tragwerk' bezeichnen kann (Abb. 2)[2]. Dieses Verständnis der Zusammenhänge stützt auch die Tatsache, dass die Ökonomie als Teil der Gesellschaft und nicht als isolierter und unabhängiger Teil zu betrachten ist.

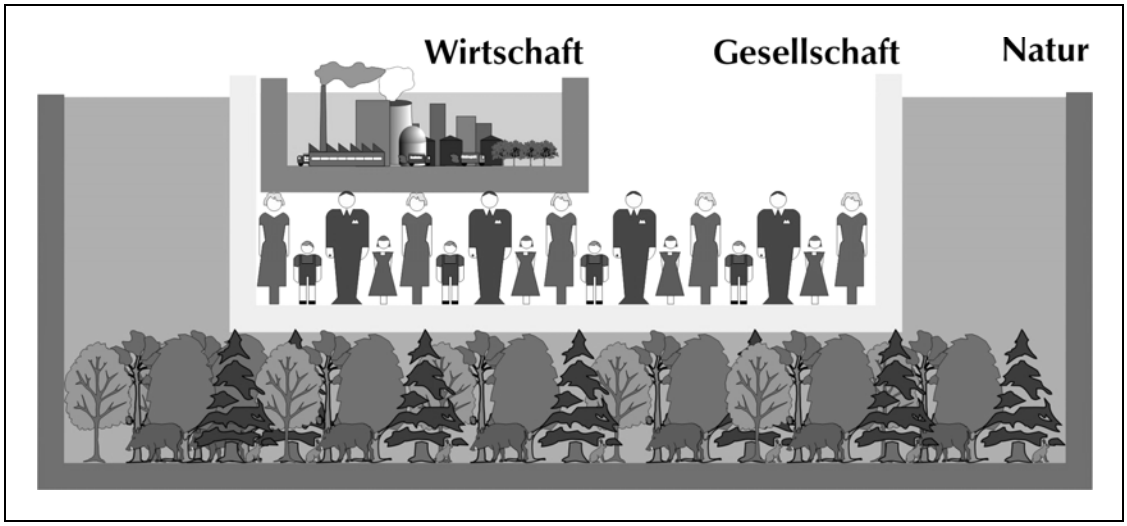


Abb. 2: Natürliche Lebensgrundlagen übernehmen die Funktion eines Tragwerks für die Gesellschaft, auf der wiederum die Wirtschaft basiert.
(Quelle: Hildmann 2003, S. 30)

Um aus der Vielzahl der hier nur zum Teil und kurz angerissenen Aspekte bei der Durchdringung dieses Themas einen kleinen roten Faden zu legen und um das Tagungsziel ‚Verbindliche Schritte zum verantwortlichen Umgang mit den sich abzeichnenden Risiken' möglichst gut abbilden zu

[1] Bezeichnung für eine Entwicklung, in der die Bedürfnisse heutiger Generationen befriedigt werden sollen, ohne die Bedürfnisse kommender Generationen zu gefährden. Vgl. z. B. BUND/MISEREOR (1996).

[2] Hildmann (2003, S. 29f.).

können, wurde in einer kleinen Vorbereitungsgruppe aus dem Wissenschaftlichen Beirat des BUND und der ev. Akademie Iserlohn das nachfolgend aufgeführte Memorandum entwickelt und auf der Tagung zur Diskussion gestellt. Es versucht, einen Bogen über die wesentlichen Aspekte zu spannen und dient als Anreiz für das Auffinden der Diskussionsrichtung. Deutlich hinzuweisen ist darauf, dass es sich dabei um eine noch ergänzbare/veränderbare Ideensammlung handelt.

Literatur

BUND; MISEREOR (Hrsg.) (1996): Zukunftsfähiges Deutschland. Ein Beitrag zu einer global nachhaltigen Entwicklung. Berlin.

Hildmann, C. (2003): Mängel und Perspektiven einer umweltbezogenen Raumplanung: eine ökologische Sicht. In: Kühling, W.; Hildmann, C. (Hrsg.): Der integrative Umweltplan – Chance für eine nachhaltigere Entwicklung? Dortmund. S. 21-41.

Kühling, W.; Hildmann, C. (Hrsg.) (2003): Der integrative Umweltplan – Chance für eine nachhaltigere Entwicklung? Dortmund.

Risikokommission (Hrsg.) (2003): Ad-hoc-Kommission „Neuordnung der Verfahren und Organisationsstrukturen zur Risikobewertung und Standardsetzung im gesundheitlichen Umweltschutz der Bundesrepublik Deutschland“. Abschlussbericht der Risikokommission. Salzgitter.

Wilfried Kühling

Memorandum: Nanotechnologie nachhaltig gestalten

Konzept für einen verantwortungsvollen Umgang mit der Entwicklung und Anwendung von Nanotechnologien

Vorbemerkung

Durch die neuen Technologien sind die öffentliche Gesundheit, die Sicherheit sowie der Verbraucher- und der Umweltschutz berührt (Kommission der Europäischen Gemeinschaften 2004). Der gesellschaftliche Umgang mit diesem Problemkreis verläuft allerdings nicht zufriedenstellend. In der jüngeren Vergangenheit wurden zwar vielfältige Workshops und Diskurse durchgeführt, um auch die Risiken der Nanotechnologie zu erörtern. Doch diese Gespräche reichen nicht aus, solange die Ergebnisse unverbindlich bleiben und keine konkreten Schritte zum verantwortlichen Umgang mit den sich abzeichnenden Risiken vereinbart werden. Die Vorwände, Unwägbarkeiten und Risiken seien kaum bestimmbar oder könnten nicht ausreichend quantifiziert werden, lenken vom Handlungsbedarf ab. Gerade wegen der vielfältigen, weitgehend noch offenen Fragen zur Nanotechnologie darf konsequentes Handeln zur Begrenzung solcher Risiken nicht unterbleiben. In dieser sehr schwierigen Ausgangslage bedarf es der Entwicklung und Einführung gesellschaftlich akzeptierter Leitbilder und eines nachvollziehbaren und handhabbaren Anforderungsprofils zum Schutz und zur Vorsorge vor Gefahren und Risiken neuer Technologien.

Rahmensetzende Ziele sollten nach dem Leitbild einer zukunftsfähigen und nachhaltigen Entwicklung aufgestellt werden und sind mit ethischen Bewertungen zu verbinden. Ein solches Leitbild könnte die folgenden Aspekte benennen:

- Gesundheitliche Vorsorge (verfassungsgemäße Risikominimierung),
- Energie- und Ressourcenschonung,
- Nahräumliche Mobilität,
- Kommunikation/Bildung,
- Soziale und Generationengerechtigkeit,
- Freiheit und Demokratie,
- Erhaltung der Biodiversität und der natürlichen Lebensgrundlagen.

Aufbauend auf solchen Leitbildern können dann Gestaltungsstrategien für einen verantwortlichen Umgang mit der Nanotechnologie entwickelt werden. Dazu bedarf es partizipativer Prozesse. Wichtige rechtliche Voraussetzungen hierzu sind mit dem Vorsorgeprinzip bereits gegeben. Mit dem folgenden 10-Punkte-Katalog wird ein Konzept zur Einleitung erster Schritte zur Diskussion gestellt.

Sachverständig strukturierte und offene Diskussion über Risiken organisieren

Die verschiedenen Bemühungen zum Dialog mit dem Ziel, Fehler der Vergangenheit (Gentechnik, Atomenergie) möglichst auszuschließen, sind sehr zu begrüßen. Allerdings mangelt es an einem zielgerichteten und klar strukturierten Dialog, der alle wesentlichen Aspekte zusammenführt. Ein solcher Dialog dient sowohl der Entscheidungsfindung und Lösung von Konflikten als auch der Heranbildung gesellschaftlicher Werte. Er ist als Prozess zu verstehen, der organisiert und geführt werden muss. Bereits jetzt ist absehbar, dass dies gesellschaftlich nur gelingt, wenn die Bemühungen verfahrensmäßig und institutionell gebündelt werden.

Gestuftes Konzept zur Risikobegrenzung entwickeln

Die Risiken und offenen Fragen sind vielfältig und werden sehr unterschiedlich bewertet. Auch das Maß an Unwissenheit und Unsicherheit ist verschieden. Forschungsbedarf und Risikobewertung verlangen daher nach einer gestuften Herangehensweise, um die finanziellen und personellen Ressourcen effizient zu nutzen.

Zukünftig muss ein integriertes Konzept zum Umgang mit der Nanotechnologie entwickelt werden, welches Risikobewertung und Risikoma-

nagement, das Leitbild der Nachhaltigkeit und die ethischen Implikationen berücksichtigt. Zeigt eine Folgenabschätzung Hinweise auf ein mögliches Gefährdungspotenzial, muss auf überprüfbare Weise verantwortungsvoll reagiert werden, was ggf. die Verhängung eines Moratoriums nicht ausschließen darf.

Frühzeitige Minimierung von Risiken

Im Lebenszyklus nanotechnologischer Produkte und Verfahren (Forschung, Entwicklung, Produktion, Nutzung und ‚Entsorgung') nimmt die Möglichkeit einer wirksamen Einflussnahme zur Vermeidung oder Begrenzung von Umwelt- und Gesundheitsrisiken zum Ende hin ab. Das größte Potenzial zur Risikovermeidung und -begrenzung ist daher im Bereich der Forschung und Entwicklung und bei der Gestaltung von Prozessen und Produkten gegeben. Gerade hier aber fehlen Regelungen. Somit gilt es, die Risikofolgen abzuschätzen, dem gesellschaftlichen Nutzen gegenüber zu stellen und auf dieser Basis Entscheidungen zur Förderung oder Begrenzung von Forschung zu treffen. Dies trifft insbesondere auf Technologien mit großer Wirkmächtigkeit wie der Nanotechnologie zu. Notwendig ist ebenso ein umfassendes Qualitätsmanagement für alle Phasen im Lebenszyklus neuer Technologien.

Öffentliche und ehrliche Kommunikation fördern, alle gesellschaftlich relevanten Akteure einbeziehen

Bemühungen um Kommunikation bei neuen Technologien greifen meist zu kurz. Dies ist auch bei der Nanotechnologie festzustellen. Nur wenige involvierte Personen finden den Zugang zu Tagungen, Workshops oder Gremien. Der notwendige Kommunikationsprozess erfordert dagegen ein aktives und strukturiertes Einbeziehen der gesellschaftlichen Gruppen. Benötigt wird daher ein Dialogkonzept, welches alle wichtigen Partner einbezieht, der Evaluation unterliegt und stetig fortgeschrieben wird. Auf Vorgabe des Parlaments hin ist ein entsprechendes Konzept zu entwickeln und in die politischen Entscheidungsfindungen zu integrieren.

Das Bewusstsein für einen verantwortungsvollen Umgang mit neuen Entwicklungen muss insgesamt in der Gesellschaft verankert werden. Eine besondere Verantwortung besteht hier im Bereich der Bildung und Ausbildung an den Schulen und Hochschulen. Ein frühzeitiges Lernen über die Folgen technischer oder auch gesellschaftlicher Neuerungen ist

sowohl in natur- als auch in geisteswissenschaftlichen Disziplinen notwendig.

Das Herstellen von Öffentlichkeit und Transparenz, die Organisation der Beteiligungen/Partizipation, Regelungen über eine Pflicht zur Veröffentlichung, auch von Seiten der Produzenten/Wirtschaft, oder eine umfassende Aufklärung der Bevölkerung bedürfen einer demokratisch organisierten Herangehensweise. Grundlage ist die Schaffung eines vertrauensvollen Diskussionsklimas (Kommission der Europäischen Gemeinschaften 2004) zwischen allen Teilen der Gesellschaft.

Transparenz sicherstellen, Informationen bündeln

Derzeit herrscht aufgrund der Vielfalt von Informationen über Risiken und Chancen der Nanotechnologie und deren Bewertung eine verbreitete Unsicherheit. Dies liegt zu einem großen Teil auch daran, dass eine gezielte Anlaufstelle fehlt, in der das aktuelle Wissen um diese Fragen zusammenläuft. Diese Bündelung, Aufbereitung und gezielte Zurverfügungstellung von Daten- und Informationen für interessierte Akteure ist eine Aufgabe der Administration.

Dabei ist Transparenz unabdingbar und sicherzustellen. Hierzu zählen u. a.: die obligatorische Information und Dokumentation vor allem über Risiken, der freie Zugang zu Informationen (z. B. Sicherheitsprüfungen), Aufstellung von Regeln bei der Zielabwägung, ergebnisoffene/beteiligungsoffene Diskurse oder die Veröffentlichung der Protokolle wissenschaftlicher Beratungsgremien.

Förderung und Intensivierung der Risikoforschung

Die Forschungsanstrengungen zu potenziellen Umwelt- und Gesundheitswirkungen, aber auch zu den gesellschaftlichen und ethischen Aspekten der Nanotechnologie (und zu neuen Technologien generell) sind derzeit noch äußerst unbefriedigend und müssen erheblich verstärkt werden (siehe auch Deutscher Bundestag 2004). Die Mitwirkung gesellschaftlicher Gruppen ist dabei sicherzustellen. Für ökologische, ethische, soziale und verbraucher-/gesundheitsschutzorientierte Forschung sind erhebliche Anteile der Forschungsmittel einzusetzen. Erforderliche Mittel sind auch von Seiten der Wirtschaft bereitzustellen. Bei der Vergabe öffentlicher Mittel zur Forschungsförderung sind offene Kriterien einzuführen und die gesellschaftlich relevanten Gruppen zu beteiligen. Auch bei nicht öffent-

lich geförderten Forschungsprojekten sind Pflichten (z. B. Anzeige- oder Genehmigungspflichten) einzuführen.

Ethische Aspekte systematisch einbeziehen

Das Design der Produkte und Anwendungen richtet sich vorwiegend nach deren Marktwert. Forschung und Entwicklung folgen diesen Vorgaben. Notwendige gesellschaftliche Anwendungen mit geringeren Renditeaussichten (z. B. umweltschonende oder auch moralisch zunächst oft unbedenkliche medizinische Anwendungen) werden dadurch eher in den Hintergrund gedrängt bzw. machen nur einen kleinen Teil aus. Wettbewerbskriterien alleine sind aber als Maßstab für eine Forschungsförderung durch den Staat nicht ausreichend. Hier sind die verfassungsrechtlichen Grundlagen neu in den Blick zu nehmen. So zählt die EU-Kommission (Kommission der Europäischen Gemeinschaften 2004) im Rahmen eines Entwurfs für eine europäische Nanotechnologiestrategie z. B. folgende berührte Werte auf: Achtung der Menschenwürde, Unabhängigkeit des Einzelnen, Gerechtigkeit, Wohlbefinden, Freiheit der Forschung und das Prinzip der Verhältnismäßigkeit.

Eine substanzielle Förderung von ethischen Bewertungen und die Einbeziehung von Ethik und Verantwortung bei der Technologieentwicklung ist also dringend erforderlich.

Systematische Verbesserung des Regelungssystems

Der rechtlich eingeführte vorsorgende Gesundheits- und Umweltschutz weist hinsichtlich eines konkreten und operationalisierten Umgangs mit Nichtwissen oder unsicherem Wissen sehr große Lücken auf. Dies trifft im besonderen Maße auf die Risiken der Nanotechnologie zu, da hier beispielsweise Wirkmechanismen auftreten, die sich der eingeführten Grenzwertfestlegung weitgehend entziehen. Gleichwohl erlaubt das international und national eingeführte Vorsorgeprinzip Maßnahmen, die bei unvollständigem Wissen und unsicherer Abschätzung von Risiken eingeleitet werden können. Kontroll- und Steuerungsmechanismen bei der Entwicklung und Einführung neuer, risikobehafteter Technologien müssen eingeführt werden, damit Rückhol- oder Reparaturstrategien von Entwicklungen noch greifen können.

Bei der Einführung neuer Technologien ist mitunter auch die Umkehr der Beweislast notwendig, da häufig aufgrund von Nichtwissen ein im

Sinne der Gesetzgebung zweifelsfreier Beweis einer Gefährdung nicht geführt werden kann. Die Anforderungen an eine Produkt- und Umwelthaftung sind entsprechend zu gestalten, Kennzeichnungspflichten einzuführen. Auch sind Zielausrichtungen für Regeln setzende Gremien einzuführen.

Schaffung internationaler Abstimmungen und Vereinbarungen

Der Wettbewerb der Forschungsförderung auf nationaler, europäischer und globaler Ebene, verbunden mit dem immer stärker werdenden Druck der Hersteller von Nanotechnologien zur schnellen Markteinführung, behindern eine ausgewogene Betrachtung und angemessene Untersuchung von Risiken. Um dem Vorwand von Wettbewerbsverzerrungen zu begegnen, ist zunächst ein EU-weites Vorgehen nach abgestimmten Standards erforderlich.

Auf internationaler Ebene sollte sich die Bundesregierung dafür einsetzen, dass ein EU-weites und weltweites Abkommen (‚Nano-Konvention') über die Nutzung der Nanotechnologien getroffen wird. Die oben aufgezeigten Aspekte stellen einen ersten Beitrag für die zu erarbeitenden Mindeststandards für einen verantwortungsvollen Umgang mit dieser Technologie auf nationaler Ebene dar.

Schlussfolgerung: Einrichtung einer ‚unabhängigen, zuständigen Stelle'

Aus den vorhergehenden Punkten ergibt sich die Notwendigkeit der Einrichtung einer ‚zuständigen Stelle', die die aufgeworfenen Problembereiche wirksam angeht. Konkret könnte es sich dabei in einem ersten Schritt um eine Projektstelle handeln, welche Daten, Informationen und erste Bewertungen transparent zusammenführt und die eine umfassende Beteiligung der gesellschaftlichen Akteure im Hinblick auf einen verantwortlichen Umgang mit der Nanotechnologie vorbereitet.

In einem späteren Schritt könnten Experten/Institutionen/Gremien aus dem Bereich Nanotechnologien in einer zeitlich begrenzten, sachverständigen Nano-Kommission zusammengeführt werden (vom Parlament/von der Bundesregierung berufen, Vorschlagsrecht von allen wesentlichen gesellschaftlichen Gruppen). Diese Kommission hätte die Aufgabe, Kriterien für einen verantwortungsvollen Umgang mit der Nanotechnologie zu erarbeiten und geeignete Prüfverfahren zur Beurteilung der Risikopotenziale zu entwickeln. Darüber hinaus sollte die Übertragbarkeit dieses Mo-

dells im Hinblick auf die dauerhafte Einrichtung eines Gremiums geprüft werden, um Kriterien für den zukünftig verantwortungsvollen Umgang mit Innovationen und anderen neuen Technologien zu schaffen. Hierzu zählen z. B. Strategien für einen angemessenen Umgang mit dem Nicht-Wissen und Unsicherheiten oder ein Qualitätsmanagement zur nachhaltigkeitsorientierten Gestaltung von Innovationen.

Es wird von Bedeutung sein, Netzwerke und Plattformen für den Dialog zu schaffen. Damit sollen u. a. verschiedene Dialogorte, die Ansprache neuer wichtiger Zielgruppen und die Kommunikation der Akteure sichergestellt werden. Modellvorstellungen hierzu wurden bereits von der Risikokommission (2003) erarbeitet und vorgestellt.

Literatur

Deutscher Bundestag (Hrsg.) (2004): Aufbruch in den Nanokosmos – Chancen nutzen, Risiken abschätzen. Antrag der Abgeordneten Ulla Burchardt u. a., BT-Drucksache 15/3051 v. 05.05.2004. Berlin.

Kommission der Europäischen Gemeinschaften (Hrsg.) (2004): Mitteilung der Kommission: Auf dem Wege zu einer Europäischen Strategie für Nanotechnologie. COM (2004) 338 endg. v. 12.05.2004. Brüssel.

Risikokommission (Hrsg.) (2003): Ad-hoc-Kommission „Neuordnung der Verfahren und Organisationsstrukturen zur Risikobewertung und Standardsetzung im gesundheitlichen Umweltschutz der Bundesrepublik Deutschland“. Abschlussbericht der Risikokommission. Salzgitter.

Autorenverzeichnis

Wolf-Michael Catenhusen, 1965-1971 Studium in Latein, Geschichte und Sozialwissenschaften an den Universitäten Göttingen und Münster. 1971-72 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für vergleichende Städtegeschichte in Münster. Lehrer am Gymnasium in Burgsteinfurt. 1980-2002 Mitglied des Deutschen Bundestages für die SPD, 1984-86 Vorsitzender der Enquete-Kommission ‚Chancen und Risiken der Gentechnologie', 1987-1994 Vorsitzender des Bundestagsausschusses für Forschung und Technologie, 1998-2002 Parlamentarischer Staatssekretär, 2003-Ende 2005 Staatssekretär im Bundesministerium für Bildung und Forschung.

Natalie Eckelt, Diplom-Geogr. und MTA, leitet seit 2001 das Koordinierungsbüro Normungsarbeit der Umweltverbände (KNU). Ziel ist es, Umweltaspekte verstärkt in umweltrelevanten Normen zu integrieren. Dazu arbeiten VertreterInnen von Umweltverbänden direkt an der Erarbeitung von Normen mit. Die Arbeiten werden von Frau Eckelt koordiniert und durch fachspezifische Workshops unterstützt. Den Bereich Nanotechnologie begleitet sie seit 2005.

Torsten Fleischer, Studium der Physik, seit 1991 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS), Forschungszentrum Karlsruhe. Zwischen 1995 und 2000 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag. Seit 2003 Projektleiter Nanotechnologie am ITAS.

Prof. Dr. Harald Fuchs, 1971-1977 Studium der Physik an der Universität des Saarlandes (UdS), 1982 Abschluss der Dissertation über nanokristalline Systeme am Institut für Materialphysik der UdS. 1984 post doctoral fellow-Tätigkeit am IBM Forschungslabor in Rüschlikon. Zwischen 1985-1993 Mitarbeiter einer großen Forschungsabteilung der BASF AG, Ludwigshafen. Seit 1993 Professor am Physikalischen Institut der Universität Münster. Mitbegründer und wissenschaftlicher Leiter des Centrums für Nanowissenschaften (CeNTech). Seit 2004 Direktor am Institut für Nanotechnologie des Forschungszentrums Karlsruhe.

Peter Heise, Dipl.-Ing. geb. 1960, Studium der Raumplanung, Universität Dortmund, bis 1990 Tätigkeit in einem Ingenieur-Büro, seit 1991 im Bereich Umwelt- und Immissionsschutz einer Großstadt tätig. Mitglied des Bundesarbeitskreises Immissionsschutz des BUND

Dr. Sebastian Henn, geb. 1977 in Koblenz, Studium der Geographie an den Universitäten Heidelberg und Mannheim, seit 2001 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Wirtschaftsgeographie der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, 2006 Abschluss der Dissertation zum Thema „Gründungscluster in der Nanotechnologie. Entstehung, Charakteristika, Handlungsempfehlungen".

Andreas Hermann, Ass. iur. Andreas Hermann, LL.M., Volljurist und seit 2001 am Öko-Institut beschäftigt; seit 2002 stellvertretender Koordinator des Bereichs Umweltrecht. Er beschäftigt sich schwerpunktmäßig mit dem technischen Umweltrecht, insbesondere Immissionsschutzrecht, Abfallrecht, Gentechnik- und Chemikalienrecht. 1991 bis 1996 Studium der Rechtswissenschaften an der Universität des Saarlandes in Saarbrücken sowie an der University of Exeter, Großbritannien. 1997 bis 1999 Referendar beim Landgericht Cottbus mit abschließendem Staatsexamen in Potsdam. 1999 bis 2000 Studium des Zusatzstudiengangs Umweltrecht an der Universität Lüneburg mit dem Schwerpunkthema Bodenschutzrecht, Master in Environmental Law (LL.M.).

Prof. Dr. Helmut Horn, geb. 1949. Direktor des Instituts für Werkstoffkunde und Schweißtechnik (IWS) in Hamburg, Mitglied des Beirates im Bremer Landesförderprogramm ‚Produktionsintegrierter Umweltschutz' PIUS, Vorsitzender des BUND-Landesverbandes Bremen, Mitglied des BUND-Bundesvorstandes

Prof. Dr. Harald F. Krug. Nach dem Studium der Biologie und Chemie in Kassel promovierte er 1982 an der Universität Göttingen. Als Stipendiat ging er dann für 3 Jahre nach München zur GSF und begann danach als Gruppenleiter am Kernforschungszentrum Karlsruhe. 1996 habilitierte er im Fach ‚Umwelttoxikologie' an der Universität Karslruhe und übernahm im gleichen Jahr die Leitung der Abteilung für Molekulare Umwelttoxikologie am Institut für Toxikologie und Genetik im Forschungszentrum Karlsruhe. Er ist als Projektbevollmächtigter für das Förderprogramm BWPLUS des Landes Baden-Württemberg tätig und ist Mitglied der Leitungsgruppe des Arbeitskreises der DECHEMA zum verantwortlichen Umgang mit Nanotechnologie. Außerdem ist er als Nanobotschafter für das Deutsche Museum in München aktiv.

Prof. Dr.-Ing. Wilfried Kühling, Dortmund, geb. 1948, Studium der Raumplanung, Universität Dortmund. Anschließend dort wiss. Mitarbeiter von 1980 bis 1986, Promotion zum Dr.-Ing. 1985. Von 1986 bis 1993 Aufbau und Leitung des Sachgebiets Umweltplanung im Amt für Umweltschutz, Stadt Wuppertal. Habilitation 1998, seit 1996 Professor für Raum- und Umweltplanung am Institut für Geowissenschaften der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.

Jens Küllmer, geb. 1972, Diplom-Forstwirt, Diplom-Umweltwissenschaftler und MBA (International Business Management). 1998 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Great Lakes Forestry Centre, Sault Ste. Marie, Kanada. 1999-2002 wissenschaftlicher Mitarbeiter des Landtags von Rheinland-Pfalz, seit Juni 2002 Referent für Internationale Chemikaliensicherheit und Nanotechnologien im Bundesumweltministerium, Bonn.

Stefan Löchtefeld. Studium der Sonderpädagogik, seit 1998 Kommunikationsberater bei der iku GmbH. Das Aufgabenspektrum von Herrn Löchtefeld besteht darin, Organisationen im Wandel zu Kommunikationsaspekten zu beraten, faire und effiziente (öffentliche) Dialoge zu gestalten und strategische Dialoge in gesellschaftlichen Konfliktfeldern zu führen.

Dr. Peter Markus, geb. 1957 in Wiesbaden, Studium der Landwirtschaft an der Universität Bonn, Promotion im Bereich Bodenmikrobiologie/Bodenfruchtbarkeit, Post Doc- Aufenthalt in Syracuse/USA zur Waldschadensforschung. Seit 1990 Studienleiter der Evangelischen Akademie Iserlohn für den Bereich Naturwissenschaft, Technik und Ökologie

Prof. Dr. Wolfgang Nethöfel lehrt Sozialethik am Fachbereich Evangelische Theologie der Philipps-Universität Marburg. Er ist Direktor des Instituts für Wirtschafts- und Sozialethik (IWS) und Leiter des TransMit Zentrums für Wirtschafts- und Sozialethik. Er moderiert die Arbeit der interdisziplinären NanoGroup Marburg und war Mitkoordinator der Konferenz ‚Nanotechnology in Science, Economy, and Society' (Marburg 2005).

Stephan Riebe, geb. 1981 in Leipzig, 2000-2001 Studium der Chemie an der Universität Leipzig, seit 2001 Studium der Geographie an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.

Bart Walhout, geb. 1978, Ausbildung zum Elektroingenieur und Studium der Innovationspolitik an der Universität Eindhoven. Gegenwärtig Mitarbeit in Projekten zur Nanotechnologie und intelligenten Umgebung in der Gesundheitspflege am Rathenau Instituut, Den Haag.

Kathy Jo Wetter, PhD (University of North Carolina at Chapel Hill), Mitarbeiterin der ETC-Group, einer zivilgesellschaftlichen Einrichtung, die sich für die Bewahrung und die nachhaltige Entwicklung der kulturellen und ökologischen Vielfalt und der Menschenrechte einsetzt. Seit 2001 Tätigkeit im ETC-Büro Carrboro.

Dr. Karin Wiench, geb. 1951 in Neunkirchen/Saar, 1980-1987 Studium der Biologie mit Schwerpunkt Biotechnologie an der Universität Kaiserslautern, 1988-1991 Mitarbeiterin am Deutschen Krebsforschungszentrum Heidelberg, 1991 Abschluss der Promotion, 1991-1992 freiberufliche Wissenschaftlerin der BASF AG, 1992-1993 wiss. Tätigkeit im Produktmanagement der ASTRA Chemicals GmbH, seit 1993 Senior Regulatory Scientist der BASF AG.

Es fehlen:

Jurisch - angefragt