

erschienen in:

**Nanotechnologien nachhaltig gestalten**  
Konzepte und Praxis für eine verantwortliche  
Entwicklung und Anwendung  
Iserlohner Tagungsprotokolle 2006

Torsten Fleischer

## Umgang mit den möglichen Folgen der Nanotechnologien<sup>1</sup> *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

---

<sup>1</sup> 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.

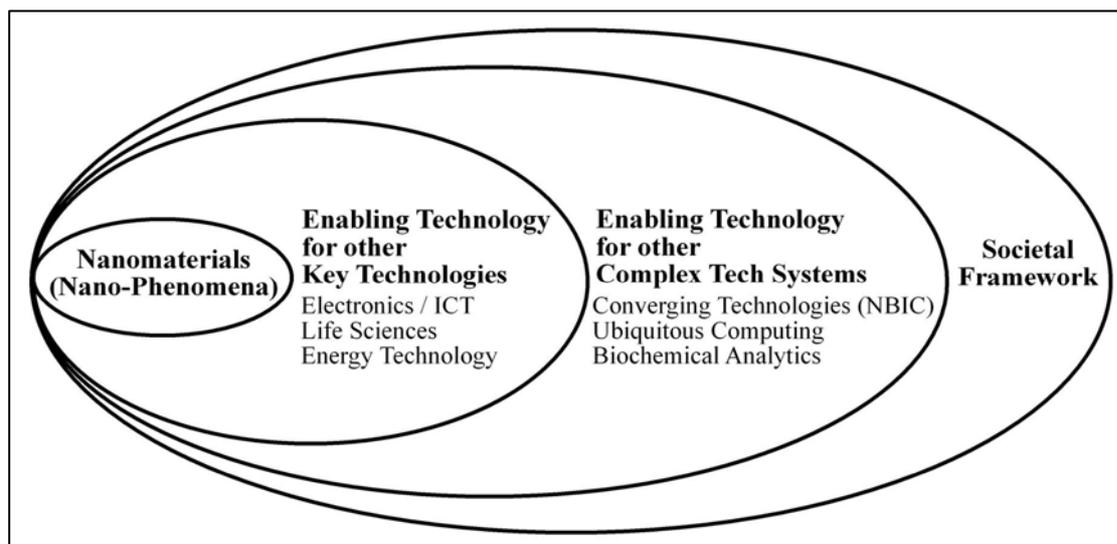


Abb. 1: Die verschiedenen Rollen von Nanotechnologie (Quelle: Eigene Darstellung)

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 Konsequenzen 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).

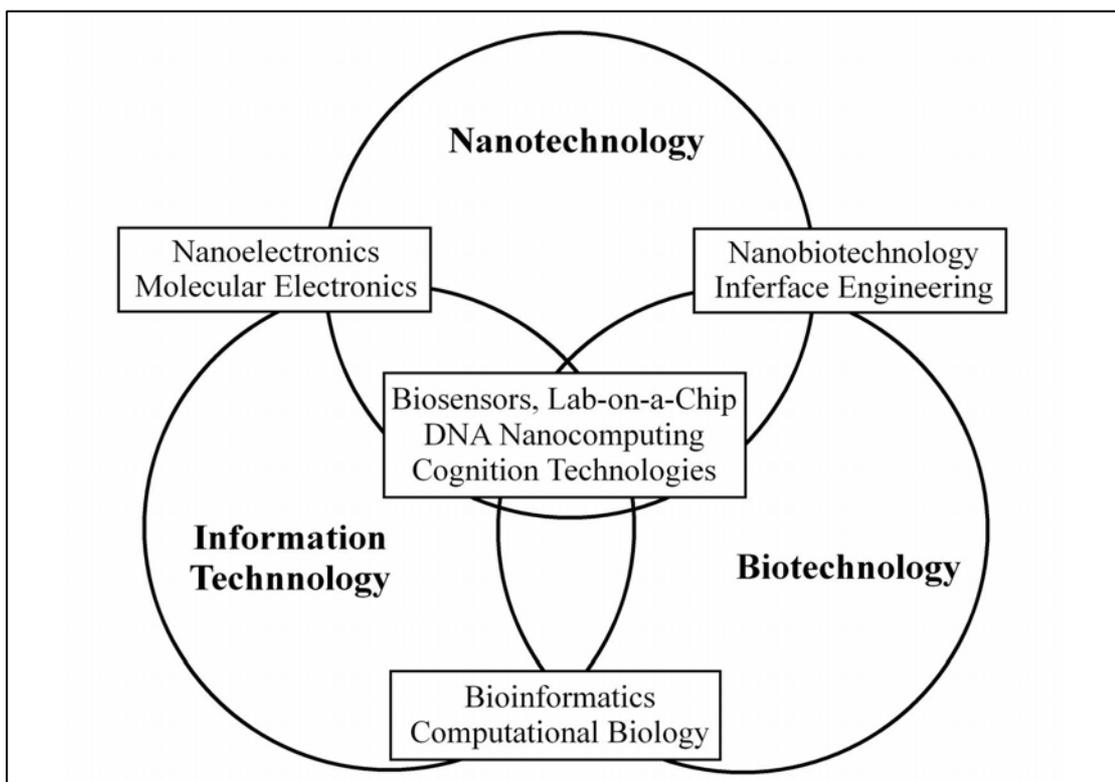


Abb. 2: Nanotechnologie als Komponente ‚konvergierender Techniken‘  
(Quelle: Eigene Darstellung)

Insbesondere durch die synergistische Kombination emergenter Nano-, Bio- und Informationstechniken mit den Erkenntnissen der Kognitionswissenschaften erschlossen 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 hinzuzufügen.

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):

<i>Technische und konzeptionelle Ansätze</i>	<i>Zuordnung</i>
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<sup>2</sup> sind – versehen mit dem Versuch einer kurzen Charakterisierung sowie ihrer antizipierten bzw. gefundenen Grenzen – in nachstehender Tabelle (Tab. 2) aufgeführt.

---

<sup>2</sup> Für eine detaillierte Diskussion muss an dieser Stelle auf die einschlägige Literatur zur Technikfolgenabschätzung verwiesen werden.

<i>Entwicklungsbegleitende TA / 'Real-Time TA'</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kontinuierliche kooperative Begleitung von Handelnden im Forschungs- und Entwicklungsprozess, Entscheidungsunterstützung, Reflexion</li> <li>• Ressource 'Zeit'? Vertrauen? Interessenkonflikte?</li> </ul>
<i>Nachhaltigkeitsbewertung</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nachhaltigkeit = Normativer Rahmen für Bewertung in TA-Prozessen</li> <li>• Gesellschaftliche Akzeptanz? Festlegung von Indikatoren? Wertkonflikte?</li> </ul>
<i>Vision Assessment</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analyse des kognitiven Gehalts von Visionen sowie ihrer Rolle für Zielfindungen im FuE-Prozess und der gesellschaftlichen Diskussion zu FuT</li> <li>• Relevanz von Leitbildern? Handlungsbezug? Ambivalenz von visionären Diskursen in der Wissenschaftskommunikation (Faszination vs. Furcht)?</li> </ul>
<i>Partizipative Verfahren</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einflussnahme nicht routinemäßig Beteiligter bei Entscheidungsverfahren</li> <li>• Legitimation / Repräsentativität? Engagement? Verbindlichkeit?</li> </ul>
<i>Upstream Engagement</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gesellschaftliche Verständigung über Ziele und Governance von FuT im Prozess; Identifikation von Sensibilitäten, Nichtwissen, Konflikten</li> </ul>

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-

kennt, 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 Spezifität 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.

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

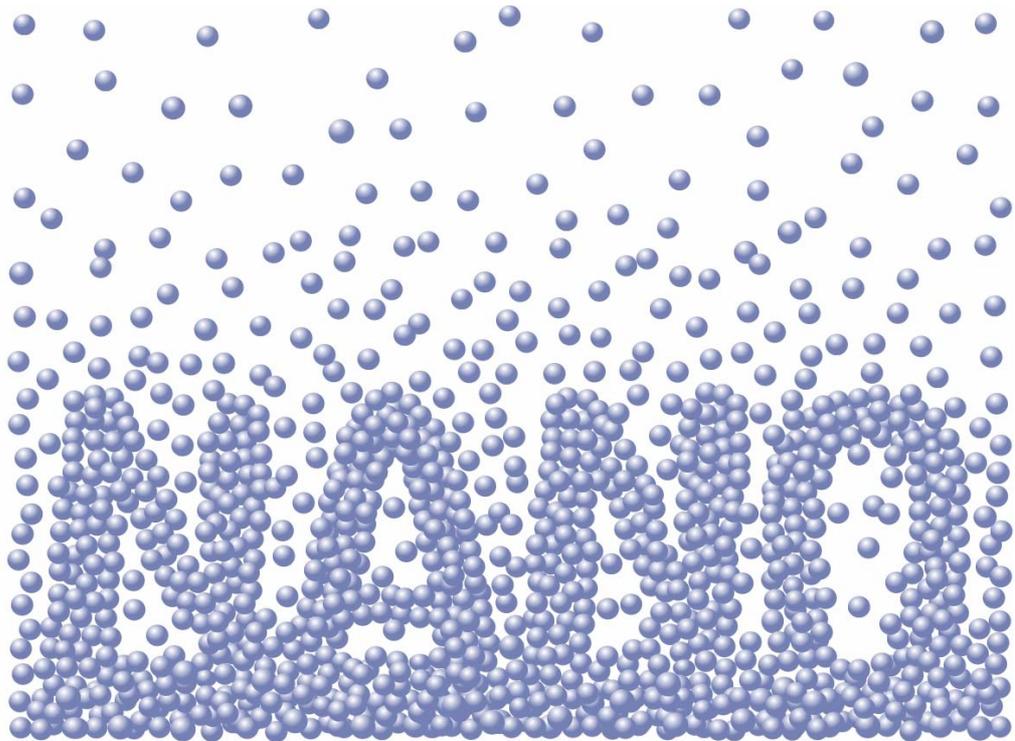
Alle Rechte für diese Zusammenstellung liegen beim Institut für Kirche und Gesellschaft, alle Rechte der einzelnen Beiträge bei den jeweiligen Autoren.

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](mailto:h.weber@kircheundgesellschaft.de)

# Nanotechnologien nachhaltig gestalten

Konzepte und Praxis für eine verantwortliche  
Entwicklung und Anwendung



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

