

## SCHWERPUNKTTHEMA

### Große Aufmerksamkeit für kleine Welten – Nanotechnologie und ihre Folgen

Eine Einführung in den Schwerpunkt von  
Torsten Fleischer, Michael Decker und  
Ulrich Fiedeler, ITAS

Auch wenn es gelegentlich anders scheint: Nanotechnologie ist für die Technikfolgenabschätzung eigentlich gar kein so neuer Untersuchungsgegenstand. Schon seit etwa zehn Jahren sind in Deutschland – anfangs noch mit relativ enger inhaltlicher Ausrichtung, später mit wachsender Breite und Tiefe – entsprechende Aktivitäten zu verzeichnen. Verstärkte öffentliche Aufmerksamkeit erlangte das Thema aber erst Anfang dieses Jahrzehnts. Seitens der Forschungspolitik vieler Industrieländer wurde Nanotechnologie eingeführt als ein neuer strategischer Ansatz, der umfangreiche Potenziale im Hinblick auf ökonomischen Nutzen und die Lösung zahlreicher wissenschaftlicher und gesellschaftlicher Herausforderungen zu erschließen verspricht. Dies wurde begleitet von einer Informationsoffensive für die Öffentlichkeit. In den Medien fand dies umfangreiche Resonanz; in deren Berichten wurden hoffnungsvolle, oft visionäre Anwendungen besonders herausgestellt.

Nahezu zeitgleich begann eine – in Deutschland vor allem im Feuilleton geführte – Diskussion, die sich äußerst kritisch mit hypothetischen Folgen von Nanotechnologie auseinandersetzt. Wesentlich mit ausgelöst wurde sie durch einen im Magazin „Wired“ erschienenen Artikel von Bill Joy „Warum die Zukunft uns nicht braucht“ (Joy 2000). Joy ist Chief Scientist of Sun Microsystems, Wired eine wichtige Zeitschrift der IT-Community – beide mithin blinder Technikkritik weitgehend unverdächtig. Joy weist mit dramatischem Gestus auf gravierende Folgen der neuen Techniken – Gentechnik, Nanotechnologie, Robotik – hin und fordert Verzicht: Angesichts der Unsicherheit und Begrenztheit des Wissens über

den Fortgang technischer Entwicklungen und der weitreichenden Potenziale von Nanotechnologie entstünden Risiken, denen man nur durch Verzicht auf Entwicklung und Nutzung dieser Techniken ausweichen könne.

Im Zuge dieser Debatte wird auch die Forschungspolitik aktiver. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gibt eine – 2001 veröffentlichte – „Vorstudie für eine Innovations- und Technikanalyse Nanotechnologie“ (Malanowski 2001) in Auftrag. Diese liefert wesentliche inhaltliche Grundzüge für eine BMBF-Ausschreibung für eine umfassendere „Innovations- und Technikanalyse zur Nanotechnologie“, in deren Folge ab September 2002 drei Studien zu den Chancen und Risiken der Nanotechnologie mit den Schwerpunkten „Das wirtschaftliche Potenzial der Nanotechnologie“, „Nachhaltigkeitseffekte durch Herstellung und Anwendung nanotechnologischer Produkte“ sowie „Nanotechnologie und Gesundheit“ erarbeitet wurden. Volkmar Dietz vom BMBF erläutert in seinem Beitrag die Geschichte und die Motivation für die ITA-Aktivitäten des Forschungsministeriums in diesem Feld und gibt einen Ausblick auf offene Fragen der Begeleitforschung, zudem werden alle drei erwähnten Studien durch die Autoren in diesem Heft vorgestellt.

Auch der Deutsche Bundestag beauftragte – angeregt durch einen Vorschlag der F.D.P.-Fraktion – das Büro für Technikfolgenabschätzung (TAB) mit der Durchführung eines umfassenden TA-Projektes „Nanotechnologie“, welches im September 2001 begonnen und dessen Ergebnisse im November 2003 der Öffentlichkeit vorgelegt wurden (Paschen et al. 2003). Dagmar Oertel präsentiert in ihrem Beitrag noch einmal kurz diese wohl momentan umfangreichste und aktuellste TA-Studie zu Nanotechnologie aus dem deutschsprachigen Raum und geht dabei auch auf den Stand ihrer Rezeption im parlamentarischen Raum ein.

Weiterhin beginnt die Europäische Akademie zur Erforschung von Folgen wissenschaftlich-technischer Entwicklungen Bad Neuenahr-Ahrweiler ein Projekt, in dem unter dem Titel „Nanomaterialien, Nanodevices, Nanocomputing – Standortbestimmung und Perspektiven“ ausgewählte Themen aus dem Feld der Nanotechnologie detaillierter untersucht werden sollen (Schmid et al. 2003). Auch am Institut für

Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) des Forschungszentrums Karlsruhe werden erste Arbeiten im Rahmen des Strategiefondsvorhabens der Hermann von Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren (HGF) „Global zukunftsfähige Entwicklung – Perspektiven für Deutschland“ durchgeführt und publiziert (Fleischer 2002 und 2003).

Eineinhalb Jahre nach ihrem Beginn wird die allmählich auslaufende Joy-Debatte aufgefrischt durch Erscheinen des Romans „Beute (Prey)“ von Michael Crichton, in dem Nanotechnologie eine wichtige Rolle als Bestandteil eines Bedrohungsszenarios zugeschrieben wird. In dessen Kielwasser legt die etc-group einen Report mit dem Titel „The Big Down: From Genoms To Atoms. Atomtech – Technologies Converging at the Nano-scale“ vor (etc-group 2003). In diesem wird die Nanotechnologie in die Nähe der Gentechnik (und sprachlich auch zur „Atomtechnik“) gerückt, weil sie ähnliche Gefahren wie diese birgt. Besonders im englischen Sprachraum finden beide große Aufmerksamkeit in Presse und Politik. Zugleich werden in Deutschland erste Analysen und Zwischenergebnisse aus den oben genannten Arbeiten veröffentlicht, die eine abgewogenere Auseinandersetzung mit den Chancen und Risiken von in nächster Zeit vor der Einführung stehender Nanotechniken zum Gegenstand haben, in ihrer Differenziertheit und Unaufgeregtheit allerdings weit weniger mediale Resonanz erzeugen.

Trotz all dieser Aktivitäten durfte die staunende Fachwelt nämlich im Juli 2003 einer wichtigen deutschen Tageszeitung entnehmen, dass Deutschland der Debatte hinterherhinkt: „In Deutschland gibt es dagegen nur punktuelle Initiativen, hier ein Büchlein des VDI-Technologiezentrums, dort ein Seminar des Instituts für ökologische Wirtschaftsforschung oder des Karlsruher Zentrums für Kunst und Medien. Die Enquete-Kommission Biomedizin des Bundestags hat das Thema aufgenommen – als untergeordneten Tagesordnungspunkt. Bis die deutsche Fachwelt und die Politik in den angloamerikanischen Diskurs einsteigen, bleibt das Feld unterhaltsamen Psycho-Schauderproduktionen wie „Hulk“ und „Terminator“ überlassen, und es droht die Karikatur zur Wahrnehmung zu werden“ (FAZ 2003).

Allein dies würde schon genug Stoff für eine erneute Reflexion über das Verhältnis von Technikfolgenabschätzung und Medien liefern. Etwa drei Monate später durfte man aus einer kaum minder renommierten deutschen Wochenzeitung auch noch Folgendes erfahren: „Im kommenden Jahr, so klingt es derweil aus dem Ministerium, werde man gleich drei nagelneue Nanostudien präsentieren. Nicht etwa fachwissenschaftliche Arbeiten, sondern Beschreibungen von, nun ja: ‚Chancen und Risiken‘. Das kostet dann wieder 800.000 Euro. (...) Egal, das BMBF plant weitere Studien. Mit Wissenschaft hat das alles nichts zu tun, aber jeder kann mitmachen“ (DIE ZEIT 2003).

Als hätte es dieser Herausforderung überhaupt noch bedurft, entschloss sich der Herausgeberkreis der Zeitschrift „Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis“, für das nächste verfügbare Heft einen Schwerpunkt „Nanotechnologie“ zusammenzustellen. Ziel war es zum einen, durch die Präsentation der unserer Meinung nach wichtigsten TA-Studien aus dem deutschen Sprachraum dem interessierten Leser einen Überblick über deren Ergebnisse zu ermöglichen. Zudem sollten auch bei der Erstellung der Studien gewonnene Erfahrungen, vor allem methodischer Art, sowie neue aufgetauchte oder noch ihrer Bearbeitung harrende Forschungsfragen vermittelt werden.

Durch diese Fokussierung – schon der Umfang dieses Schwerpunktthemas zeigt, welche Fülle an Material zur Verfügung stand – mußten wir auf eine Darstellung der nicht minder ausgedehnten Aktivitäten aus dem englischsprachigen Raum verzichten. Der Vollständigkeit halber, und um dem interessierten Leser eine Recherche und eine Erweiterung der Perspektive zu erleichtern, sollen die aus unserer Sicht interessantesten Arbeiten im Folgenden aufgeführt werden.

Bereits 2001 führte die National Science Foundation in den USA ein Seminar zu den gesellschaftlichen Folgen von Nanotechnologie durch, aus dessen Proceedings (NSF 2001) sich zahlreiche Anregungen für neue TA-Fragestellungen gewinnen lassen. Eine Nachfolgeveranstaltung fand im Dezember 2003 statt, allerdings waren deren Proceedings zum Zeitpunkt des Druckes dieses Heftes noch nicht verfügbar. Aus den Vereinigten Staaten sind sicher auch in Zukunft noch wichtige Diskussionsbeiträge zu

den Folgen von Nanotechnologie zu erwarten, nicht zuletzt deshalb, weil der Ende 2003 vom Kongress verabschiedete und vom Präsidenten unterzeichnete „21<sup>st</sup> Century Nanotechnology Research and Development Act“ auch die Gründung eines „American Nanotechnology Preparedness Center“ vorsieht, welches sich unter anderem der Untersuchung gesellschaftlicher, ethischer, ökologischer und rechtlicher Folgen der Nanotechnologie widmen soll.

Auch in Großbritannien gibt es ähnliche Aktivitäten. Mitte 2003 stellte der Economic & Social Research Council (ESRC 2003) einen Bericht zu den gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Herausforderungen durch Nanotechnologie vor. Etwa zeitgleich begannen die Royal Society und die Royal Academy of Engineering eine – noch andauernde – Untersuchung zu den Chancen und Risiken von Nanotechnologie.

Wie bereits weiter oben ausgeführt, widmen sich auch einige ökologisch orientierte Nichtregierungsorganisationen dieser Thematik. Neben der genannten etc-group soll hier Greenpeace Erwähnung finden, deren ebenfalls im vergangenen Jahr erschienener Report (Greenpeace 2003) ausgewogener und weit weniger alarmistisch und polemisch als die etc-Studie ist, konsequenterweise aber auch weniger mediale Beachtung fand.

Zurück zum Schwerpunktthema. Den Anfang macht ein Aufsatz aus ITAS, der sich der Problematik der Definition von „Nanotechnologie“ widmet. In vielen Diskussionen, sowohl zwischen Wissenschaftlern und Forschungspolitikern als auch mit der interessierten Öffentlichkeit zeigt sich immer wieder, dass der Begriff einen breiten Interpretationsspielraum zulässt. Während dies für manche Zwecke durchaus gewünscht zu sein scheint, ist es für andere durchaus problematisch. Unterschiedliche Begriffsverständnisse erschweren die Kommunikation mit Öffentlichkeit und Medien, zudem sind sie eine große Herausforderung für quantitative Studien, etwa zu Marktvolumina (siehe auch Luther und Malanowski in diesem Schwerpunkt). Wie die Autoren zeigen, bringt der Versuch einer strengeren Definition – hier angelehnt an die oben schon erwähnten Arbeiten einer Studiengruppe an der Europäischen Akademie zur Erforschung von Folgen wissenschaftlich-technischer Entwick-

lungen Bad Neuenahr-Ahrweiler (Schmid et al. 2003) neue Fragen mit sich.

Der Beschreibung der TAB-Studie schließt sich die Vorstellung der Ergebnisse der drei ITA-Studien des BMBF (s. o.) an, der wir nicht zuletzt wegen ihrer Aktualität hier breiten Raum gegeben haben. Neben zwei querschnittsorientierten Fragestellungen war das BMBF vor allem an den Anwendungen der Nanotechnologie im Gesundheitsbereich interessiert (Farkas); eine Thematik, der sich fast zeitgleich auch das schweizerische Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung TA-SWISS angenommen hat (Tiefenauer). Von besonderem Interesse dürfte sein, Ausrichtung und Ergebnisse beider Untersuchungen miteinander zu vergleichen (und vielleicht auch das hier nicht vertieft ausgeführte Kapitel „Life Sciences“ in der TAB-Studie daneben zu legen).

Einen engen Bezug zu Gesundheitswirkungen von Nanotechnologie hat die bereits öffentlich breit diskutierte Frage nach den Gesundheits- und Umweltrisiken von Nanopartikeln und nanopartikelhaltigen Produkten. Eine Anregung aus Gesprächen auf dem NanoVision-Workshop Ende letzten Jahres in Karlsruhe aufgreifend (Fiedeler et al. 2004) haben wir die Toxikologen Harald Krug, Katrin Kern und Sylvia Diabaté gebeten, die Thematik aus der Sicht ihrer Disziplin darzustellen. Ihr Aufsatz, dessen naturwissenschaftliche Diktion bewusst die Grenzen des in dieser Zeitschrift sonst Üblichen überschreitet, bietet einen guten Überblick der wissenschaftlichen Diskussion um die Gesundheitswirkungen von feinen und ultrafeinen Partikeln. Er ordnet die Nanopartikel in diese Diskussion ein, zeigt die methodischen Herausforderungen der Risikodiskussion aus der Perspektive der Toxikologie auf und gibt einen Ausblick auf offene Forschungsfragen und Lösungsansätze.

Den Abschluss bilden drei aus den Herausforderungen der Gegenwart geborene, aber weiter in die Zukunft blickende Artikel aus ITAS. Die Arbeitsgruppe zu Nanotechnologie des ITAS diskutiert, inwieweit der Charakter von Nanotechnologie als „enabling technology“ methodische Zwischenschritte für eine Technikfolgenabschätzung notwendig macht und ob das aus dem FuE-Management in Unternehmen stammende Konzept des Roadmapping dafür Anregungen bieten könnte. Armin Grunwald

widmet sich den ethisch relevanten Aspekten der Nanotechnologie und stellt ausgewählte Beispielfelder vor. Anhand derer erarbeitet er wichtige, aus den technischen Möglichkeiten der Nanotechnologie erwachsende oder mit ihren Visionen verbundene ethische Fragestellungen, erteilt aber zugleich Forderungen nach einer eigenen „Nanoethik“ eine Absage. Visionen der Nanotechnologie sind auch das Thema von Christopher Coenen (ITAS/TAB), der seine schon in der TAB-Studie begonnenen Ausführungen zu Rolle und Risiken von Visionen weiterführt. Neben einem Überblick über jüngere Entwicklungen in dieser Debatte präsentiert er einige Überlegungen zur möglichen Bedeutung des „Nanofuturismus“ im Kontext von Technikfolgenabschätzungen.

Die Herausgeber des Schwerpunktes danken allen Autorinnen und Autoren sehr herzlich für ihre Mühe sowie die Bereitschaft, zu diesem Heft einen Beitrag zu leisten. Wenngleich schon einige interessante Ergebnisse aus TA-Untersuchungen vorliegen, zeigt sich doch, dass in Bezug auf TA zur Nanotechnologie noch viel mehr vor als hinter uns liegen dürfte. Für eine ganze Reihe von im Kontext von Nanotechnologie diskutierten Materialien, Produkten, Techniken, Verfahren gibt es selbst in Bezug auf grundsätzliche Fragestellungen noch beträchtlichen Forschungsbedarf.

So wird es auch in Zukunft darum gehen müssen, die „methodische Lücke“ zwischen den „Nanotechnologie“ genannten Aktivitäten (die sich mehrheitlich in frühen Stadien von Forschung und Entwicklung befinden) und konkreten Produkt- und Anwendungs Ideen und ihren Nutzungskontexten (anhand derer sich in der Regel erst konkrete Folgen untersuchen und diskutieren lassen) zu schließen. Roadmapping könnte ein möglicher Ansatz dafür sein. Die damit notwendigerweise einhergehende Konkretisierung der Technikfelder würde auch einigen momentan zu beobachtenden Tendenzen zur Banalisierung der Folgenforschung zu Nanotechnologie durch übermäßige Komplexitätsreduktion und ungerechtfertigte Generalisierung und einer damit verbundenen Beliebigkeit der Resultate entgegenwirken. Die Leitinnovationen des BMBF, etwa „NanoMobil“, oder die Aktivitäten des EU-Exzellenznetzwerkes „Nano2Life“ bieten potenzielle Anknüpfungspunkte für detailliertere Analysen, auch „Nano for Energy“,

„Nano4Waste“ oder die so genannten „konvergierenden Techniken“ könnten aussichtsreiche Untersuchungsfelder sein. Zudem böten sich bei einigen der hier genannten Anwendungsfelder mögliche Plattformen für die Untersuchung der Nachhaltigkeitspotenziale neuer technischer Entwicklungen.

Dabei sind einfache und schnelle Antworten kaum zu erwarten. Schon das Verhältnis von Nachhaltigkeit und Technik ist diskutabel. Technikeinsatz wirkt sich nicht generell für oder gegen bestimmte Nachhaltigkeitsregeln aus. Häufig gibt es uneindeutige und gegenläufige Effekte und Einschätzungen. Technik ist insoweit immer ambivalent. Dies birgt erhebliche methodische Herausforderungen in Bezug auf Analyse und Bewertung. Dieses ex ante vollständig leisten zu wollen hieße, schon den inhaltlichen Anspruch von Technikfolgenabschätzungen zu Nanotechniken zu überfordern. Vielmehr geht es um die Initiierung eines Prozesses der Technikgestaltung, bei dem in gegenseitiger Kooperation zwischen Technikentwicklung und Folgenanalyse, zwischen Nachhaltigkeitsforschung und Nanowissenschaften, vielleicht auch zwischen Marktforschung und Technikfolgenabschätzung der Entstehungsprozess neuer Techniken begleitet wird. Ein solches reflexives Vorgehen trüge sicherlich zahlreichen Forderungen aus der Debatte um eine „nachhaltige Forschungs- und Technikpolitik“ Rechnung.

Die Debatte um die Folgen von Nanotechnologie ist zudem eng verwoben mit einer Diskussion von möglichen Folgen der ihr zugeordneten Visionen. Dabei zeichnen sich zwei Diskurslinien ab. Wissenschaftsbasiert-technikoptimistische Visionen bauen auf wissenschaftlichen Erkenntnissen auf, widersprechen nicht bekannten Naturgesetzen und berücksichtigen Rahmenbedingungen der Technikentwicklung und deren Wandel. Sie spielen eine (zunehmend) wichtige Rolle in der Forschungspolitik („hope and hype“), können orientierend und handlungsleitend sein und die bereits frühzeitige gesellschaftliche Auseinandersetzung mit technischem Wandel ermöglichen. In futuristisch-dystopischen Visionen hingegen lässt Technik entweder „alle Menschheitsträume wahr“ werden oder bedroht die Menschheit oder deren Existenzgrundlagen. Beide Typen beeinflussen sowohl Wissenschaft als auch Forschungspoli-

tik. Sie ermöglichen neue Ideen und sollen Technikbegeisterung wecken, sie sind aber auch die Basis für unbegründete Hoffnungen und Befürchtungen. Problematisch ist, dass diese Diskurse zunehmend zu verschmelzen scheinen. Visionen, vor allem ihr kognitiver und evaluativer Gehalt und ihre Folgen, könnten aus diesen Gründen zu einem – wiederentdeckten – Analysegegenstand innerhalb von Technikfolgenabschätzungen werden (Grunwald 2004). Denn bei aller Unklarheit über die Realisierungswahrscheinlichkeit von nanotechnologiebezogenen Visionen – erweisen sich manche von ihnen als technisch-ökonomisch realisierbar, werden sie weitreichende Diskussionen um ihre gesellschaftlichen Implikationen zur Folge haben. Und gerade weil dies alles mit Wissenschaft (und Technik und ihren gesellschaftlichen Auswirkungen) zu tun hat, kann, darf, sollte jeder mitmachen.

## Literatur

- ESRC/Economic & Social Research Council (ed.)*, 2003: *The Social and Economic Challenges of Nanotechnology*. Swindon, UK
- etc-Group*, 2003: *The Big Down: From Genomes to Atoms. Atomtech: Technologies Converging at the Nano-scale*. January 2003. Winnipeg, Manitoba, Canada
- FAZ/Frankfurter Allgemeine Zeitung*, 2003: *Der Phantasie-Utopie-Angst-Komplex. Zwischen Hulk und Terminator: Deutschland hinkt in der Debatte um die Nanotechnologie hinterher*. Frankfurter Allgemeine Zeitung, 21.07.2003, Nr. 166, S. 40
- Fiedeler, U.; Fleischer, T.; Decker, M.*, 2004: *Nanopartikel unter der Lupe*. In: *Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis*, Heft 1, 13. Jg., März, S. 121-124
- Fleischer, T.*, 2002: *Technikfolgenabschätzungen zur Nanotechnologie – Inhaltliche und konzeptionelle Überlegungen*. In: *Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis*, Heft 3/4, 11. Jg., November, S. 111-122
- Fleischer, T.*, 2003: *Technikgestaltung für mehr Nachhaltigkeit: Nanotechnologie*. In: Coenen, R.; Grunwald, A. (Hrsg.): *Nachhaltigkeitsprobleme in Deutschland. Analyse und Lösungsstrategien*. Berlin: edition sigma (Global zukunftsfähige Entwicklung – Perspektiven für Deutschland, Bd. 5)
- Greenpeace*, 2003: *Future Technologies, Today's Choices. Nanotechnology, Artificial Intelligence and Robotics. A technical, political and institutional map of emerging technologies*. Greenpeace Environmental Trust London, July 2003
- Grunwald, A.*, 2004: *Vision Assessment as a new Element of the FTA Toolbox*. EU-US Seminar New Technology Foresight, Forecasting & Assessment Methods. Seville, 13-14 May 2004
- Joy, B.*, 2000: *Why the future doesn't need us*. *Wired*, Issue 8.04. April 2000
- Malanowski, N.*, 2001: *Vorstudie für eine Innovations- und Technikanalyse Nanotechnologie*. VDI-Technologiezentrum, Abteilung Zukünftige Technologien, Düsseldorf
- NSF/National Science Foundation*, 2001: *Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology*. NSET Workshop Report. Edited by Mihail C. Roco and William Sims Bainbridge. NSF Report, Arlington, Virginia, March 2001
- Paschen, H.; Coenen, C.; Fleischer, T.; Grunwald, R.; Oertel, D.; Revermann, C.*, 2003: *Nanotechnologie. Endbericht. TAB-Arbeitsbericht 92*. Berlin: Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag
- Schmid, G.; Decker, M.; Ernst, H.; Fuchs, H.; Grunwald, W.; Grunwald, A.; Hofmann, H.; Mayor, M.; Rathgeber, W.; Simon, U.; Wyrwa, D.*, 2003: *Small Dimensions and Material Properties. A Definition of Nanotechnology*. Graue Reihe Nr. 35, Europäische Akademie Bad Neuenahr-Ahrweiler GmbH.
- DIE ZEIT*, 2003: *Der Kanzler aller Moleküle*. Nr. 46/2003 vom 06.11.2003

«