

# NANOTECHNOLOGIE: SMALL PARTS – GREAT FUTURE?

Die nach wie vor hohen Erwartungen an die Nanotechnologie basieren auf ihrem Potenzial, Materialeigenschaften für gänzlich neue Anwendungen generieren zu können sowie neuartige Architekturen und Prozessabläufe zu realisieren und durch den kontrollierten Aufbau makroskopischer Körper aus atomaren und molekularen Bausteinen deren Eigenschaften gezielt einzustellen. Deshalb werden von der Nanotechnologie Impulse für ein breites Spektrum gesellschaftsrelevanter Anwendungsfelder und Innovationen in nahezu allen Technologie- und Industriezweigen erwartet: In der IuK-Technologie wird intensiv an neuen Rechnerarchitekturen gearbeitet, die mit DNA- und Quantencomputing irgendwann die herkömmliche Siliziumelektronik ablösen sollen. In der Energietechnik könnte Nanotechnologie durch neue Materialien innovative Impulse auslösen; neuartige Nanopartikel könnten chemische Katalyse- und Produktionstechniken revolutionieren. In der Medizin schließlich sind nanobasierte Therapeutika und Wirkstoffträger in der Entwicklung, die zielgenau positioniert und dosiert werden sowie die Immunabwehr oder die Blut-Hirn-Schranke überwinden können.

Wegen des Potenzials zur grundlegenden Veränderung ganzer Technologiefelder (Systeminnovation) wird die Nanotechnologie als eine Schlüsseltechnologie angesehen, die in (naher) Zukunft erhebliche ökonomische, ökologische und soziale Auswirkungen mit sich bringen kann. Der Nobelpreisträger für Chemie und Nanoexperte Richard Smalley (1999) hat schon vor über einem Jahrzehnt die erwartbaren Folgen so beschrieben: »The impact of nanotechnology on health, wealth, and the standard of living for people will be at least the equivalent of the combined influences of microelectronics, medical imaging, computer-aided engineering, and man-made polymers in this century.« Diese Einschätzung ist zwar teilweise spekulativ, beruhte aber schon damals auf der Beobachtung und Analyse konkreter Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten.

## HEILS- UND SCHRECKENSVISIONEN

Noch einen Schritt weiter gehen verschiedene visionäre Vorstellungen, die insbesondere deshalb von Bedeutung sind, weil sie die öffentliche Wahrnehmung der Nanotechnologie häufig dominier(t)en und sowohl im Feuilleton, aber zum Teil auch in Fachkreisen

breit diskutiert wurden bzw. werden. Diesen Visionen unterliegt die Vorstellung, dass es zukünftig gelingt, Materie beliebig zu manipulieren und nach eigenen Wünschen Atom für Atom, Molekül für Molekül zusammenzusetzen. Klar ist, dass je nach persönlichem Standpunkt daraus entweder Heils- (»hope«) oder Schreckensvisionen (»fear«) abgeleitet werden können. Allen voran hat der amerikanische Technikvisionär – wenn auch vielerorts als wissenschaftlicher Außenseiter betrachtete – K.E. Drexler mit seinem »Foresight Institute« solche Diskussionen angestoßen und zugleich den Begriff »molekulare Nanotechnologie« für seine – überwiegend optimistische – Zukunftsvision von künstlichen, bakterienähnlichen, selbstreplizierenden, intelligenten Nanomaschinen (»assembler«) geprägt (Drexler 1986; Drexler/Peterson 1994). Seine nanofuturistischen Visionen prognostizierten zudem massive Umwälzungen der Gesellschaft und der »conditio humana« durch die Nanotechnologie. Er, wie auch B. Joy (2000), entwickelte aber auch explizite Horrorvisionen einer Vernichtung allen Lebens, beispielsweise durch außer Kontrolle geratene, selbstreplizierende Nanomaschinen. Diese Art des Nanofuturismus ist wiederum Teil einer umfassenderen technikvisionären Weltanschauung, die

zumeist unter dem Label »Transhumanismus« firmiert (Coenen 2010).

Zugleich beruhen diese Visionen Drexlers, Joys und anderer Futuristen und Technikvisionäre zum großen Teil auf Annahmen zum zukünftigen Zusammenwirken mehrerer neuer (oder auch schon bekannter) Technologien (hierzu auch der Beitrag von A. Sauter zur Synthetischen Biologie). Durch solche Visionen zur Konvergenz verschiedener Technologien werden die Hoffnungen auf umfassende, tiefgreifende Veränderungen der Bedingungen menschlicher Existenz beflügelt. Aus dieser Perspektive wird die Nanotechnologie auch von administrativer Seite als ein disziplinenübergreifendes Element der inter- und transdisziplinären Forschung und Entwicklung verstanden und unter dem Label »Converging Technologies« eine Konvergenz der Nanotechnologie mit Biotechnologie, Informationstechnologie, Ingenieurwissenschaften und weiterer Technologiefelder propagiert (BMU 2010).

Die Begeisterung, die insbesondere optimistische futuristische Visionen wecken können, wurde beispielsweise zu Beginn der 2000er Jahre in den USA bewusst als Mittel zur Förderung der Technologieentwicklung eingesetzt. Eine solche Strategie des »hope and hype« ist aber immer eine Gratwanderung. Neben positiven Effekten dieser Strategie (z.B. als Anreize für den wissenschaftlichen Nachwuchs oder zum Wecken sowie Wachhalten von politischem und wirtschaftlichem Interesse) sind auch negative Konsequenzen denkbar: So besteht zum einen die Gefahr, dass die Erwartungen an die Nanotechnologie zu hoch geschraubt und Enttäuschungen dadurch unvermeidlich werden. Zum anderen kann unbeabsichtigt auch die Kehrseite des optimistischen Futurismus – ein mit Weltuntergangssängsten und Schreckensvisionen verbundener pessimistischer Futurismus – popularisiert werden. Daher ist

eine kritische Auseinandersetzung mit den Schreckensvisionen, selbst wenn sie deren Popularität zunächst noch vergrößert, ein wesentlicher Beitrag zu einer rationalen, problemadäquaten Diskussion über Chancen und Risiken der Nanotechnologie (TAB 2008).

## WAS IST NANOTECHNOLOGIE?

Als Namensgeber und insofern »Gründungsvater« der Nanotechnologie gilt der 1988 verstorbene amerikanische Physiker und Nobelpreisträger Richard Feynman, der bereits 1959 in einem Vortrag (»There's plenty of room at the bottom«) die technischen Möglichkeiten der Nanoskala prognostizierte und die Vision beschrieb, auf der atomaren Ebene gezielt zu konstruieren (»arrange the atoms one by one the way we want them«). Feynman (1959) nahm an, dass es kein Gesetz der Physik ausschließe, einzelne Atome zu bewegen. Demnach müsste es möglich sein, Materie auf atomarem Niveau zu manipulieren. So ließe sich z.B. die gesamte »Encyclopedia Britannica« in einem Staubkorn unterbringen, wenn jedes Atom ein Bit trüge. Die atomare Schrift würde jedoch nur mit einem »Super-Elektronenmikroskop« zu lesen sein. Dies präsentierten 30 Jahre später (1990) D. Eigler und E. Schweizer von IBM Deutschland der erstaunten Presse in einer elektronenmikroskopischen Aufnahme: 35 Xenonatome auf einem Nickelkristall bildeten den Schriftzug »IBM« (Steinmüller 2006, S. 78).

Der konkrete Begriff »Nanotechnologie« wurde erstmals in den 1970er Jahren vom japanischen Forscher und Ingenieur Norio Taniguchi verwendet. Er beschrieb Arbeits- und Herstellungsmethoden mit einer Präzision im Nanometerbereich. Und genau diese Tatsache – die technologische Beherrschung dieser atomaren und molekularen Dimensionen – ist das eigentliche, neue und besondere an der Nanotech-

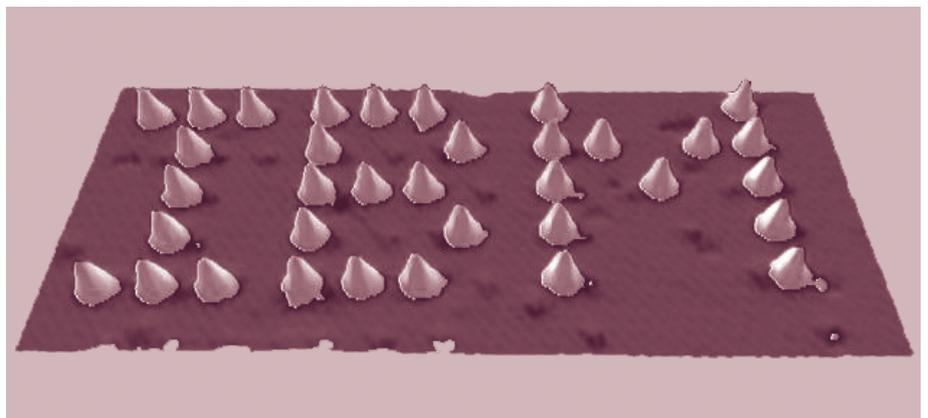
nologie und bietet die Möglichkeit der Optimierung von Produkteigenschaften in fast allen Wirtschaftsbranchen, wie z.B. in Energie-, Umwelt- und Informationstechnik, in der Medizintechnik und im Bereich von Gesundheit und Ernährung (VDI 2010, S. 19). Im Zuge der Etablierung des Begriffs »Nanotechnologie« hat dieser immer wieder einen Wandel durchlaufen (Decker 2006). Zumeist wird der Begriff für verschiedene wissenschaftliche Forschungsgebiete und technologische Entwicklungsrichtungen verwendet, die vor allem eines gemeinsam haben: Sie befassen sich mit Strukturen und Prozessen auf der Nanometerskala.

»Nano« – abgeleitet von »nanos«, dem griechischen Wort für Zwerg – weist somit zunächst einmal auf eine Größenordnung hin. Nanotechnologien wirken etwa im Bereich von 1 bis 100 Nanometern (nm), wobei 1 nm ein milliardstel Meter ist ( $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ). Anschaulich formuliert: Würde man einen Fußball zu einer Kugel von 1 nm Durchmesser schrumpfen, entspräche dies im gleichen Verhältnis einer Verkleinerung der Erdkugel auf Fußballmaße. Der Bereich der Nanotechnologien erstreckt sich somit von der Größe eines Atoms bis ungefähr zur Wellenlänge des sichtbaren Lichts. Dies sind Dimensionen, in denen sich auch die grundlegenden

biochemischen und molekularbiologischen Vorgänge abspielen. Zudem bezeichnet dies einen »Grenzbereich«, in dem das Verhalten von Materie nicht mehr nur mit den Gesetzen der klassischen Physik beschrieben werden kann. Es werden zunehmend Quanteneffekte spürbar: »Die Atome kleben aneinander. Teilchen tunneln durch Potentialbarrieren, die eigentlich für sie undurchdringlich sind, und sind nicht mehr voneinander zu unterscheiden. Das Licht geht um Ecken und nimmt eine körnige Struktur an.« (Steinmüller 2006, S. 77)

In der Nanotechnologie wird also nicht nur mit winzigen Dingen operiert, sondern sie zeichnet sich auch dadurch aus, dass hier spezifische Effekte genutzt werden, die (nur) in diesen Dimensionen auftreten. Unabhängig von der Bezugnahme auf die Größenordnungen besteht zudem die Tendenz, eine Vielzahl von schon etablierten und neuen Verfahren zu subsumieren, als Sammelbegriff für eine Vielzahl von Technologien, die sich mit Strukturen und Prozessen auf der genannten Nanometerskala befassen. Dieser Bereich wird sowohl durch den Einsatz neuerer physikalischer Instrumente und Verfahren auf dem Wege einer weiteren Verkleinerung derzeitiger Mikrosysteme erreicht als auch durch die Nutzung von

SCHRIFTZUG AUS 35 XENONATOMEN AUF EINER NICKEL-EINKRISTALL-OBERFLÄCHE



Quelle: Eigler/Schweizer 1990

Auf eine Konkretion der eher unscharfen »Definition« von Nanotechnologie konnte man sich auf internationaler Ebene noch nicht abschließend einigen. Unterschiedliche Ansichten gibt es u.a. bezüglich der Abgrenzungskriterien, z.B. Größe der Nanoobjekte und der durch die Verkleinerung von Strukturen, Schichten und Objekten geänderten funktionellen Eigenschaften. In die internationalen Diskussionen zur Erarbeitung einer global einheitlich handhabbaren Definition (EU-Kommission, CEN, OECD, ISO) ist Deutschland kontinuierlich eingebunden (Bundesregierung 2010). Als »Übergangslösung« wird zumeist das Technical Committee 229 der International Organization for Standardization (ISO) mit folgenden Definitionen zitiert (BMU 2010):

- *Nanoobjekte*: Materialien, die entweder in ein, zwei oder drei äußeren Dimensionen nanoskalig (ca. 1 bis 100 nm) sind. Typische Vertreter sind Nanopartikel, Nanoplättchen und Nanofasern; zu letzteren gehören elektrisch leitende Fasern (Nanowires), Nanoröhrchen (Nanotubes) und feste Nanostäbchen (Nanorods).
- *Nanostrukturierte Materialien*: Diese haben eine innere nanoskalige Struktur und treten i.d.R. als Verbundsysteme von Nanoobjekten auf (z.B. Aggregate und Agglomerate), sind (laut ISO) dann aber nicht in ihrer physikalischen Größe oder Form begrenzt.

Bauplänen der belebten und unbelebten Natur zum selbstorganisierenden Aufbau von Materie.

## FORSCHUNGSPOLITISCHE AKTIVITÄTEN – VIEL »HOPE«

Selbstverständlich setzt(e) auch die Forschungspolitik auf »nano«. In keinem politischen Statement zu Zukunftstechnologien darf ein Verweis auf die Potenziale der Nanotechnologien fehlen. Den Terminus »Nanotechnologie« machte sich die Forschungspolitik bereits seit Ende der 1980er Jahre verstärkt zu eigen. Besonders in den USA begründete er seitdem vielfältige Förderaktivitäten, die 1999 einen ersten Höhepunkt mit dem Start der Nationalen Nanotechnologie-Initiative (NNI) erreichte, die vom damaligen Präsidenten Clinton unter Bezug auf Feynmans »Vision« öffentlichkeitswirksam angekündigt wurde (Böl et al. 2010). Seit Ende der 1990er Jahre wird die Entwicklung und Etablierung als Schlüsseltechnologie in allen Hightech-Regionen der Welt durch immense staatliche Förderprogramme unterstützt. Jeder Staat, der seine Spit-

zenforschung voran bringen will, fördert das Feld intensiv.

In Deutschland wurde etwa seit Beginn der 2000er Jahre regierungsseitig, aber auch durch verschiedene Initiativen des Deutschen Bundestages, ein umfassendes politisches Handlungsprogramm für die Nanotechnologie formuliert, das u.a. verschiedene Aktionsrahmen und Initiativen beinhaltet, vielfältige Diskurse, Dialoge und Kommunikationsplattformen unter Beteiligung von Wissenschaft, Unternehmen, Regierung, Verbänden und Öffentlichkeit generierte, die Förderung verschiedener Projekte zur Sicherheitsforschung vorantrieb sowie kontinuierliche Statusquo-Berichte vorsah (TAB 2009). Um die Potenziale der Nanotechnologie für Deutschland strategisch umfassend weiterzuentwickeln und in Anwendungen zu überführen, wurde Mitte des Jahrzehnts der »Aktionsplan 2010« implementiert und Ende des Jahrzehnts mit dem »Aktionsplan Nanotechnologie 2015« fortgeschrieben. Dieser soll »die gemeinsame Plattform für einen erfolgreichen und nachhaltigen Umgang mit der Nanotechnologie in allen ihren Facetten bilden« (BMBF 2010).

Auch die Europäische Union will mit Blick auf Forschungsförderung und Regulierung sowie Gesundheitsvorsorge 2011 einen neuen Aktionsplan verabschieden, der die Strategien bis 2015 festlegt. Allein im bis 2013 laufenden 7. EU-Forschungsrahmenprogramm wurde bislang weit über 1 Mrd. Euro Fördermittel im Bereich Nanotechnologie investiert (BMBF 2010).

In Deutschland fördert die öffentliche Hand Nanotechnologien mit ca. 500 Mio. Euro im Jahr. Ein Großteil davon entfällt auf das BMBF, das ein weites Netzwerk an Kompetenzzentren unterstützt, z.B. für Nanoanalytik, Nanomaterialien, Nanoelektronik, Nanooptik, Nanobiotechnologie, Nanochemie, ultradünne Schichten und molekulare Architekturen u.v.a.m. Mit einer Forschungsquote von 14 % (FuE-Ausgaben in Relation zum Gesamtumsatz) zählt der Nanosektor gegenwärtig zu den forschungsintensivsten Technologiefeldern in Deutschland. Global zeichnet sich ein Wettlauf »Kopf an Kopf« ab. Die EU, die USA und Japan investieren jedes Jahr ca. 1 Mrd. Euro öffentlicher Mittel in Nanotechnologien. Rechnet man die Ausgaben der Industrie und anderer bedeutender Staaten (Frankreich, UK, Korea, China, Russland) mit ein, dürfte die Summe weltweit inzwischen bei deutlich über 5 Mrd. Euro pro Jahr liegen (BMBF 2010; Bundesregierung 2010; VDI 2010).

## MARKTCHANCEN UND -HOFFNUNGEN – VIEL »HYPE«

Auf den Weltmärkten eröffnet die Nanotechnologie (Hoffnungen auf) neue Chancen durch kleinere, schnellere, leistungsfähigere und intelligentere Systemkomponenten für neue Produkte mit neuartigen oder auch verbesserten Funktionalitäten. Es existieren verschiedene Abschätzungen von Marktforschungsinstitutionen, die die

»Hebelwirkung« der Nanotechnologie anhand globaler Marktpotenziale nanooptimierter Produkte zu quantifizieren versuchen. Eine regionale Eingrenzung ist aufgrund der internationalen Verflechtung der Märkte jedoch kaum möglich. Der von in Deutschland ansässigen Unternehmen weltweit generierte Umsatz in der Nanotechnologie wurde für das Jahr 2007 auf 33 Mrd. Euro geschätzt (Bundesregierung 2010, S. 12). Mittlerweile arbeiten allein in Deutschland an die 1.000 Unternehmen an der Entwicklung, Herstellung und Vermarktung nanotechnologischer Produkte und Verfahren, etwa 80 % davon sind KMU; mehr als 60.000 Industriearbeitsplätze hängen vom Einsatz von Nanotechnologien und -materialien ab (BMU 2010).

Allerdings ist eine exakte Angabe des Marktvolumens von nanomaterialhaltigen Produkten aufgrund des Querschnittscharakters der Nanotechnologie und der schwierigen Eingrenzbarkeit des Begriffs »nano« nicht möglich. Zudem haben die jeweiligen »Marketingabteilungen« längst begriffen, dass das Label »nano« »hype« ist. Und somit wird jedem Produkt, das beispielsweise ultrafeine bzw. generell winzige Partikel aufweist und dessen Oberfläche irgendwie feiner (als zuvor) strukturiert ist, schnell der Stempel »nano« aufgedrückt. Ungeachtet der prinzipiellen Ungenauigkeiten gehen Marktforscher davon aus, dass aktuell das weltweite Marktvolumen 100 oder gar mehrere 100 Mrd. Euro beträgt, mit stark steigender Tendenz (VDI 2010). So wird bereits für das Jahr 2015 das branchenübergreifende, weltweite Marktvolumen, welches die Nanotechnologie zu beeinflussen vermag, auf über 1 Billion Euro geschätzt (BMBF 2010). Das Marktpotenzial der Nanotechnologie entspräche damit im Jahr 2015 etwa 15 % des weltweiten Industriegütermarktes. Dies würde bedeuten, dass dann ein großer Teil der globalen Güterproduk-

tion, z.B. in den Bereichen Chemie, Pharmazie, Lebensmittel, Verpackung, IKT, Automobil- und Maschinenbau sowie Energie- und Umwelttechnik, auf der Anwendung nanotechnologischer Know-hows basiert (VDI 2010, S. 34). Doch solche Hochrechnungen sind sehr spekulativ, insbesondere wird bei den meisten Produktanalysen nicht allein der Nanoanteil am Produkt bewertet (beispielsweise wird beim Produkt »Sonnenmilch« üblicherweise statt mit dem Anteil der Titanoxidnanopartikel mit dem vollen Preis der Flaschen gerechnet). Auch ist nicht überall, wo »nano« draufsteht, auch wirklich »nano« drin. Doch selbst nach konservativen (bzw. nachvollziehbaren) Schätzungen soll Mitte des Jahrzehnts bei etwa 10 % aller Waren Nanotechnologie tatsächlich eine Rolle spielen (Steinmüller 2006, S. 76).

### ÖFFENTLICHE WAHRNEHMUNG UND RISIKODISKURSE – MEHR »FEAR«

Während die Nanotechnologie also einerseits als Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts gepriesen wird, mit deren Hilfe sich u.a. sogar Klimawandel, Krankheiten und Welternährungsprobleme besser bekämpfen lassen sollen, ergibt sich beim genaueren Blick – beispielsweise auf die bisher auf dem Markt befindlichen Produkte – ein eher ernüchterndes Bild: Zwar drängt eine Vielzahl von Alltagsprodukten auf den Markt, jedoch mit zumeist unklarem Nutzen oder Mehrwert. Zudem lassen insbesondere die beschworenen Durchbrüche wie etwa im Hinblick auf Ressourcenschonung bei der Herstellung, im Verbrauch sowie bei der Umweltschutztechnologie insgesamt weiter auf sich warten.

Zugleich sind ganz grundlegende Fragen u.a. nach den Risiken nach wie

vor ungeklärt: Nanostrukturen können z.B. durch Emissionen in der Produktion oder durch den Gebrauch entsprechender Produkte in die Umwelt gelangen. Die potenziellen Folgewirkungen auf Mensch und Umwelt sind weder für kürzere noch für längere Zeiträume hinreichend bekannt und haben einen entsprechenden Risikodiskurs konstituiert. Zwar setzte die Politik (in Deutschland) im Interesse von Wirtschaft und Verbrauchern relativ frühzeitig auf eine dezidierte Folgenabschätzung sowie gesellschaftliche und politische Begleitung dieser Technologie: Es wurden umfangreiche Forschungsprogramme aufgelegt, neue wissenschaftliche Institute gegründet, gemeinsame Kommissionen unterschiedlicher Akteursgruppen eingerichtet und zahlreiche öffentliche Dialogforen initiiert (Bundesregierung 2010, S. 12 f.). Gleichwohl können auf Grundlage des aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnisstandes noch keine eindeutigen Aussagen gemacht werden, welche Nanomaterialien in welcher Konfiguration besondere Gefahren für Mensch und Umwelt bergen. Vor allem das Einatmen von im biologischen Milieu beständigen nanomaterialhaltigen Stäuben wird gegenwärtig mit erhöhten gesundheitlichen Risiken assoziiert, da diese Stäube bis in die Lungenbläschen vordringen und dort bei Biobeständigkeit zu Entzündungen und chronischen Erkrankungen (bis hin zu Krebs) führen können.

Neben dem gesundheitsbezogenen Risikodiskurs gehören zum (notwendigen) Diskurs über Nanotechnologien auch grundsätzliche ethische und gesellschaftliche Fragestellungen, u.a. zu Privacy- und Datenschutzaspekten angesichts immer leistungsfähigerer Methoden einer sensorischen Überwachung sowie der Gewinnung, Speicherung und Übermittlung medizinischer und/oder von Lifestyle-daten unter Einsatz von nanobasierten

Produkten und Verfahren. Ebenfalls von Relevanz sind bioethische Aspekte, insbesondere im Hinblick auf Eingriffe in den menschlichen Organismus, bei der individualisierten Medizin sowie bei grundlegenden Fragen nach dem Menschenbild und zum Verhältnis von Mensch und Maschine (Grunwald 2008), die durch den Einsatz von Nanotechnologien relevant werden können. Von entscheidender Bedeutung ist es, diese Fragen wissenschaftlich zu reflektieren und in der Öffentlichkeit zu diskutieren, um adäquate Lösungen zu entwickeln und Perspektiven aufzeigen zu können. Dabei sollten jedoch sowohl Risikofragen als auch ethische Aspekte jeweils im Kontext der konkreten Anwendungsfelder der Nanotechnologie bewertet werden, denn die ausschließliche Fokussierung auf den Größenmaßstab der Nanotechnologie ist kein sinnvolles Kriterium zur spezifischen Bewertung dieses Technologiefeldes (BMBF 2010, S. 35).

Insgesamt kann konstatiert werden, dass vor dem Hintergrund der Entwicklung der Nanotechnologie zu einer schnell als solcher erkannten Schlüsseltechnologie auch die geistes- und sozialwissenschaftliche »Begleitforschung« relativ frühzeitig als ein wesentlicher »Diskurspartner« begriffen wurde. Standen zunächst sozioökonomische Aspekte im Vordergrund, so gelangten alsbald im umfassenden Sinn auch die gesellschaftlichen, ethischen und rechtlichen Implikationen in den Fokus (Coenen 2010; TAB 2008). In diesem Prozess, der nicht nur von der Wissenschaft, sondern auch – besonders in den USA – von Wissenschaftsmanagern und der Politik selbst vorangetrieben wurde, herrschte (anfangs noch) ein eher traditionelles Verständnis der Wissenschafts- und Risikokommunikation vor, wonach zunächst gewährleistet werden sollte, die Menschen über die Nanotechnologien unter Betonung der Chancen aufzuklä-

ren (Böl et al. 2010, S. 14). Als Gegenstück insbesondere zu nanofuturistischen (Schreckens-)Visionen (z.B. Joy 2000) wurden nämlich die weitreichenden Chancenerwartungen vielfach und recht intensiv medial vermittelt in der Kommunikation mit der Öffentlichkeit eingesetzt, was wiederum umgehend kritisch in den Medien und in der Öffentlichkeit debattiert wurde. Zugleich war ein weiterer Aspekt des Nanodiskurses die Sorge, ob in Bezug auf die Nanotechnologie ggf. eine stark überzogene Erwartungshaltung entstehen könnte, mit darauf notwendigerweise folgenden Enttäuschungen, u.a. vor dem Hintergrund extrem weitreichender (positiver) Visionen (u.a. Roco/Bainbridge 2002), die insbesondere in den USA in einer Strategie des »hype and hope« entwickelt worden waren (Paschen et al. 2004).

Im weiteren Verlauf zeigte sich, dass die politischen und wissenschaftlichen Diskussionen zur Nanotechnologie auch von der Sorge getragen waren, die Öffentlichkeit bzw. letztlich die Verbraucher könnten auf die neu implementierte Schlüsseltechnologie mit ähnlichen Befürchtungen zu Risiken und infolge davon mit Ablehnung reagieren, wie dies schon bei einigen Teilbereichen der Bio- und Gentechnologien geschehen war (z.B. Grüne Gentechnik, Klonen). So bestand u.a. aufgrund von wiederholten und nachdrücklichen Warnungen seitens einiger Nichtregierungsorganisationen – vor allem der ETC (2006) – die Sorge, »dass in der Risikowahrnehmung denkbare gesundheitliche und ökologische Auswirkungen zu einer pauschalen Ablehnung der Nanotechnologie führen könnten« (Böl et al. 2010, S. 15). Dass eine solche Sorge nicht prinzipiell unbegründet war und ist, und dass deshalb eine transparente und differenzierende Problematisierung bzw. Informationsvermittlung zur Nanotechnologie und den daraus resultierenden jeweiligen spezifischen Produktionsabläufen, Produkten und

Anwendungen notwendig ist, konnten etliche Studien verdeutlichen (Fleischer et al. 2010).

Insbesondere vor dem Hintergrund, dass Nanomaterialien zunehmend auch in verbrauchernahen Produkten eingesetzt werden und damit eine zunehmende und stärkere Exposition von Beschäftigten, Verbrauchern und der Umwelt wahrscheinlich wird, bewerten die Verbraucher mittlerweile die Anwendungsbereiche differenziert und verlangen beispielsweise nach einer expliziten Kennzeichnung. Insbesondere gewinnen mit der Verbreitung nanotechnologiebasierter Alltagsprodukte wie Kosmetika, Reinigungsmittel, Kleidung und Haushaltsgegenstände die Aspekte Lebensmittelsicherheit und Verbraucherschutz stetig an Bedeutung (Fleischer/Quendt 2007). Doch die Information über die Verwendung von Nanomaterialien in Produkten ist in Deutschland bzw. in Europa gesetzlich nicht (einheitlich) geregelt, sondern obliegt bislang zumeist der Entscheidung des Produktherstellers (so wird z.B. erst ab 2013 die Kennzeichnung von nanoskaligen Bestandteilen in Kosmetika in Europa verpflichtend) (BMBF 2010, S. 29). Dabei werden insbesondere der Lebensmittel- und Gesundheitssektor als diejenigen Anwendungsfelder angesehen, in denen es am ehesten zu Kontroversen kommt. Es ist zudem davon auszugehen, dass der Umgang der relevanten Akteure mit den Informations- und Sicherheitsbedürfnissen der Verbraucher deren Einstellungen und Wahrnehmungen maßgeblich beeinflussen wird (Böl et al. 2010; Sigrist et al. 2007). Dies ließ sich beispielsweise in Deutschland, Großbritannien und in der Schweiz im Rahmen verschiedener öffentlicher Dialogverfahren und Verbraucherkonferenzen identifizieren. Nach Möller et al. (2009, S. 110) lassen sich dabei im Einzelnen folgende von Verbrauchern erhobene relevante Forderungen nennen:

- › Kennzeichnung, um eine Auswahl beim Kauf eines Produkts zu ermöglichen und um Produkttäuschung zu vermeiden;
- › aktive Informationspolitik über Forschungsvorhaben und Initiierung öffentlicher Diskussionen;
- › umfangreichere Risikoforschung, Risikovorsorge und entsprechende Maßnahmen des Risikomanagements;
- › Zulassungsverfahren für nanoskalige Stoffe in Lebensmitteln oder ergänzende Prüfung von bereits zugelassenen Stoffen dann, wenn diese nanoskalig vorliegen.

Deutlich sind insgesamt die Wechselwirkungen bzw. auch die Gegensätze von Erwartungshaltungen und realen Nutzenwahrnehmungen. Und genau dieses Wechsel- und Zusammenspiel kann letztlich die (weitere) Entwicklungsrichtung und Implementierung eines Technologiefelds stark beeinflussen: »Verbraucherentscheidungen können das kritische Korrektiv in Bezug auf überzogene Erwartungen darstellen. Zugleich könnten überzogene Erwartungen Verbraucher auch gegenüber einem ganzen Forschungsfeld misstrauisch machen und Investoren in der Konsequenz davon abhalten, zu dessen Weiterentwicklung beizutragen.« (Böl et al. 2010, S. 15)

## INNOVATIONSKULTUR – PRAGMATISCHER UMGANG MIT CHANCEN UND RISIKEN

Wie Umfragen zeigen, wurden in der Öffentlichkeit etwa in der Mitte des vergangenen Jahrzehnts die Nanotechnologien zunächst von der Mehrheit der europäischen Bürgerinnen und Bürger als insgesamt nützlich für die Gesellschaft und nicht besonders risikoreich eingeschätzt. Die meisten sprachen sich laut Europabarometer-Umfrage dementsprechend dafür

aus, die Nanotechnologien zu fördern (Gaskell et al. 2006). Auch neuere empirische Studien zur Risikowahrnehmung der Nanotechnologie lassen die Sorge einer generellen Ablehnung der Nanotechnologie in der Bevölkerung als eher unbegründet erscheinen. Eine repräsentative Befragung der Bevölkerung zur Risikowahrnehmung (Zimmer et al. 2008) ergab, dass sich zwei Drittel der Befragten mehr Nutzen als Risiken durch die Nanotechnologie versprechen und positive Erwartungen besonders mit Blick auf medizinische Anwendungen bestehen. Zu berücksichtigen ist hierbei allerdings, dass viele Befragte sich zu Chancen und Risiken der Nanotechnologie äußern, obgleich sie nur wenige oder keine Kenntnisse zur Technologie besitzen, wie viele Studien aus etlichen Ländern zeigen (von Rosenblatt et al. 2007; Siegrist et al. 2007). Doch gleichzeitig fehlte – wie aufgezeigt – noch vielfach spezifisches Wissen über die Risiken der Nanotechnologien in Produktion und Anwendung und veranlassten viele Regierungen und zuständige Behörden, intensiver als bisher nicht nur über die möglichen Auswirkungen dieses Technologieeinsatzes nachzudenken, sondern konkrete Regulierungs- oder auch Vorsorgemaßnahmen in den Blick zu nehmen.

Unzweifelhaft ist, dass im Umgang mit dieser Problematik eine verantwortliche Abschätzung der Chancen und Risiken für den Einzelnen und für die Gesellschaft notwendig ist und entsprechende Diskurse transparent, öffentlich und kontinuierlich geführt werden müssen. Neben solchen Debatten – die sich auf konkrete Aspekte von Nanomaterialien und -produkten beziehen sowie auf mögliche Auswirkungen auf Mensch und Umwelt – lassen sich im Kontext der geistes-, kultur-, politik- und sozialwissenschaftlichen Diskurse und Begleitforen verschiedene Aktivitäten und Diskussionen identifizieren, die sich beispielsweise mit

der Frage beschäftigen, welche Möglichkeiten grundsätzlich in der Gesellschaft bestehen, auf einem Technologiefeld wie dem der Nanotechnologien eine »Innovationskultur« zu entwickeln bzw. zu implementieren (Kahan et al. 2009). Zu einer solchen Innovationskultur gehört beispielsweise die diskursive Entwicklung und Etablierung von Leitbildern, die den Prinzipien der Nachhaltigkeit und/oder der sozioökologischen Vorsorge verpflichtet sind. Die notwendige und zugleich politisch wünschenswerte Intention wäre dementsprechend das Erreichen eines sinnvollen Maßes an »Orientierung« sowie »Reduzierung der Komplexität« des Technologiefelds in der Wahrnehmung der Gesellschaft. Im Sinne einer »dialogischen Leitbildkonzipierung« könnte dies dazu beitragen, Unsicherheiten über mögliche Chancen, Risiken, Erfolge und Misserfolge der Entwicklung und des Einsatzes innovativer Schlüsseltechnologien zu reduzieren, unnötige Hemmnisse für eine Etablierung der Technologie abzubauen oder auch einen unangemessenen »hype« und hieraus resultierenden überschießenden »technology push« zu vermeiden.

Schließlich geht es auch um ein verändertes Verständnis der Rolle (z.B. auch der kulturellen Aspekte) von Wissenschaft (bzw. deren Methoden zur Erkenntnisgewinnung) in der Gesellschaft und die stärkere Verankerung dieses (neuen) Verständnisses in der Politik. In der Perspektive eines partizipativen Diskursansatzes wären »die lebensweltlich basierten Einschätzungen von Laien nicht mehr als Ausdruck zu überwindender Wissensdefizite anzusehen« und »die Triebkräfte wissenschaftlich-technischen Fortschritts umfassend und unter Aufgabe traditioneller Konzeptionalisierungen zu analysieren« (Böl et al. 2010, S. 14). In den letzten Jahren haben sich diese Ansichten bzw. Erkenntnisse – den USA folgend – auch in Europa stärker

entwickelt. Niedergeschlagen hat sich dies dementsprechend in der Wahrnehmung der Nanotechnologie in der Öffentlichkeit bzw. in den Diskussionen über deren öffentliche Wahrnehmung. Dabei kristallisiert sich u.a. heraus, dass die kulturellen, politischen und weltanschaulichen Einstellungen der (jeweiligen) Bevölkerung die Wahrnehmung von Chancen und Risiken sowie die – auch politische – Beurteilung der Nanotechnologie wesentlich mitbestimmen (Currall 2009; Fleischer et al. 2010; Kahan et al. 2009).

Von den USA (und zum Teil auch anderen europäischen Ländern), wo die Nanotechnologie in einem eher technikphilien Rahmen politisch kommuniziert wurde und wird (TAB 2008), hebt sich der von der Nanokommission vertretene deutsche Politikansatz insofern ab, als das Vorsorgeprinzip sowie Nachhaltigkeits- und Umweltaspekte betont werden (BMU 2010) – Aspekte, die in Deutschland schon seit längerer Zeit eine besondere Bedeutung in Gesellschaft und Politik besitzen. Damit wird an weithin geteilte kulturelle und politische Prägungen angeknüpft – ohne dabei den Innovationsaspekt zu vernachlässigen (Grunwald 2008). In der Summe entspricht dies einem konstruktiven Diskursansatz, einer »Hope-, Hype- und Fear-Technologie« eine konsensfähige und nachhaltige Entwicklungsrichtung aufzuzeigen.

*Christoph Revermann*

## LITERATUR

- BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) (2010): Aktionsplan Nanotechnologie 2015. Bonn
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (2010): Verantwortlicher Umgang mit Nanotechnologien. Bericht und Empfehlungen der Nanokommission (der Deutschen Bundesregierung) 2011. Bonn/Berlin
- Böl, G.-F., Epp, A., Hertel, R. (Hg.) (2010): Wahrnehmung der Nanotechnologie in internetgestützten Diskussionen. BfR Wissenschaft 04/2010, Berlin
- Coenen, C. (2010): Deliberating Visions: The Case of Human Enhancement in the Discourse on Nanotechnology and Convergence. In: Kaiser, M., Kurath, M., Maasen, S., Rehmann-Sutter, C. (eds.): Governing Future Technologies. Nanotechnology and the Rise of an Assessment Regime. *Sociology of the Sciences Yearbook* 27, S. 73–87
- Currall, S. (2009): New insights into public perceptions. In: *Nature Nanotechnology* 4, S. 79–80
- Decker, M. (2006): Eine Definition von Nanotechnologie: Erster Schritt für ein interdisziplinäres Nanotechnology Assessment. In: Nordmann, A., Schummer, J., Schwarz, A. (Hg.): *Nanotechnologien im Kontext. Philosophische, ethische und gesellschaftliche Perspektiven*. Berlin, S. 33–48
- Bundesregierung (2010): Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten René Röspel, Iris Gleicke, Dr. Ernst Dieter Rossmann, weiterer Abgeordneter und der Fraktion der SPD – Drucksache 17/3557 – Stand und Perspektive der Nanotechnologien. Deutscher Bundestag, Drucksache 17/3771, Berlin
- Drexler, E. (1986): *Engines of Creation*. New York
- Drexler, E., Peterson, C. (1994): *Experiment Zukunft – Die nanotechnologische Revolution*. Bonn
- Eigler, D.M., Schweizer, E.K. (1990): Positioning single atoms with a scanning tunneling microscope. In: *Nature* 344, S. 524–525
- ETC (Action Group on Erosion, Technology and Concentration) (2006): *Nanotech Rx. Medical Applications of Nano-scale Technologies*. [www.etcgroup.org/en/materials/publications.html?pub\\_id=593](http://www.etcgroup.org/en/materials/publications.html?pub_id=593)
- Feynmann, R. (1959): There's Plenty of Room at the Bottom. Manuscript/Talk presented at the annual meeting of the American Physical Society at the California Institute of Technology, December 29th 1959. [www.zyvex.com/nanotech/feynman.html](http://www.zyvex.com/nanotech/feynman.html)
- Fleischer, T., Quendt, C. (2007): »Un-sichtbar und unendlich« – Bürgerperspektiven auf Nanopartikel. Ergebnisse zweier Fokusgruppen-Veranstaltungen in Karlsruhe. *Wissenschaftliche Berichte FZKA 7337*, Karlsruhe
- Fleischer, T., Hocke, P., Kastenholz, H., Krug, H.F., Quendt, C., Spangenberg, A. (2010): Evidenzbewertung von gesundheitsrelevanten Auswirkungen synthetischer Nanopartikel. Ein neues Verfahren für die Unterstützung von Governance-Prozessen in der Nanotechnologie? In: Aichholzer, G., Bora, A., Bröchler, S., Decker, M., Latzer, M. (Hg.): *Technology Governance. Der Beitrag der Technikfolgenabschätzung*. Berlin, S. 239–246
- Gaskell, G., Stares, S., Allansdottir, A., Allum, N., Corchero, C., Fischler, C., Hampel, J., Jackson, J., Kronberger, N., Mejlgaard, N., Revuelta, G., Schreiner, C., Torgersen, H., Wagner, W. (2006): *Europeans and Biotechnology in 2005: Patterns and Trends. Final report on Eurobarometer 64.3. A report to the European Commission's Directorate-General for Research*. [http://ec.europa.eu/public\\_opinion/archives/ebs/ebs\\_244b\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/public_opinion/archives/ebs/ebs_244b_en.pdf)

Grunwald, A. (2008): Auf dem Weg in eine nanotechnologische Zukunft. Philosophisch-ethische Fragen. Freiburg

Joy, B. (2000): Why the future doesn't need us. [www.wired.com/wired/archive/8.04/joy.html](http://www.wired.com/wired/archive/8.04/joy.html)

Kahan, D., Braman, D., Slovic, P., Gastil, J., Cohen, G. (2009): Cultural cognition of the risks and benefits of nanotechnology. In: *Nature Nanotechnology* 4, S. 87–90

Möller, M., Eberle, U., Hermann, A., Moch, K., Stratmann, B. (2009): Nanotechnologie im Bereich der Lebensmittel. Zürich

Paschen, H., Coenen, C., Fleischer, T., Grünwald, R., Oertel, D., Revermann, C. (2004): Nanotechnologie. Forschung, Entwicklung, Anwendung. Heidelberg

Roco, M., Bainbridge, W. (Hg.) (2002): *Converging Technologies for Improving Human Performance*. Arlington

Siegrist, M., Keller, C., Kastenholz, H., Frey, S., Wiek, A. (2007): Laypeople's and Expert's Perception of Nanotechnology Hazards. In: *Risk Analysis* 27(1), S. 59–69

Smalley, R.E. (1999): U.S. House Testimony. [www.house.gov/science/smalley\\_062299.htm](http://www.house.gov/science/smalley_062299.htm)

Steinmüller, K. (2006): *Die Zukunft der Technologien*. Hamburg

TAB (Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag) (2008): *Konvergierende Technologien und Wissenschaften. Der Stand der Debatte und politischen Aktivitäten zu »Converging Technologies«* (Autor: Coenen, C.). TAB-Hintergrundpapier Nr. 16, Berlin

TAB (2009): *Nanotechnologie – nachhaltig und zukunftsfähig oder riskant für Mensch und Umwelt?* In: TAB-Brief 36, S. 26–27

VDI Technologiezentrum (2010): *Nanotechnologie in Ostdeutschland. Status Quo und Entwicklungsperspektiven. Zukünftige Technologien Nr. 86*, Düsseldorf

Von Rosenblatt, B., Schupp, J., Wagner, G.G. (2007): Nanotechnologie in der Bevölkerung noch wenig bekannt. In: *Wochenbericht des DIW* 45, S. 673–677

Zimmer, R., Hertel, R., Böl, G.-F. (Hg.) (2008): *Wahrnehmung der Nanotechnologie in der Bevölkerung. Repräsentativerhebung und morphologisch-psychologische Grundlagenstudie*. BfR Wissenschaft 03/2008, Berlin

---

## KONTAKT

Dr. Christoph Revermann  
030 28 491-109  
[revermann@tab-beim-bundestag.de](mailto:revermann@tab-beim-bundestag.de)