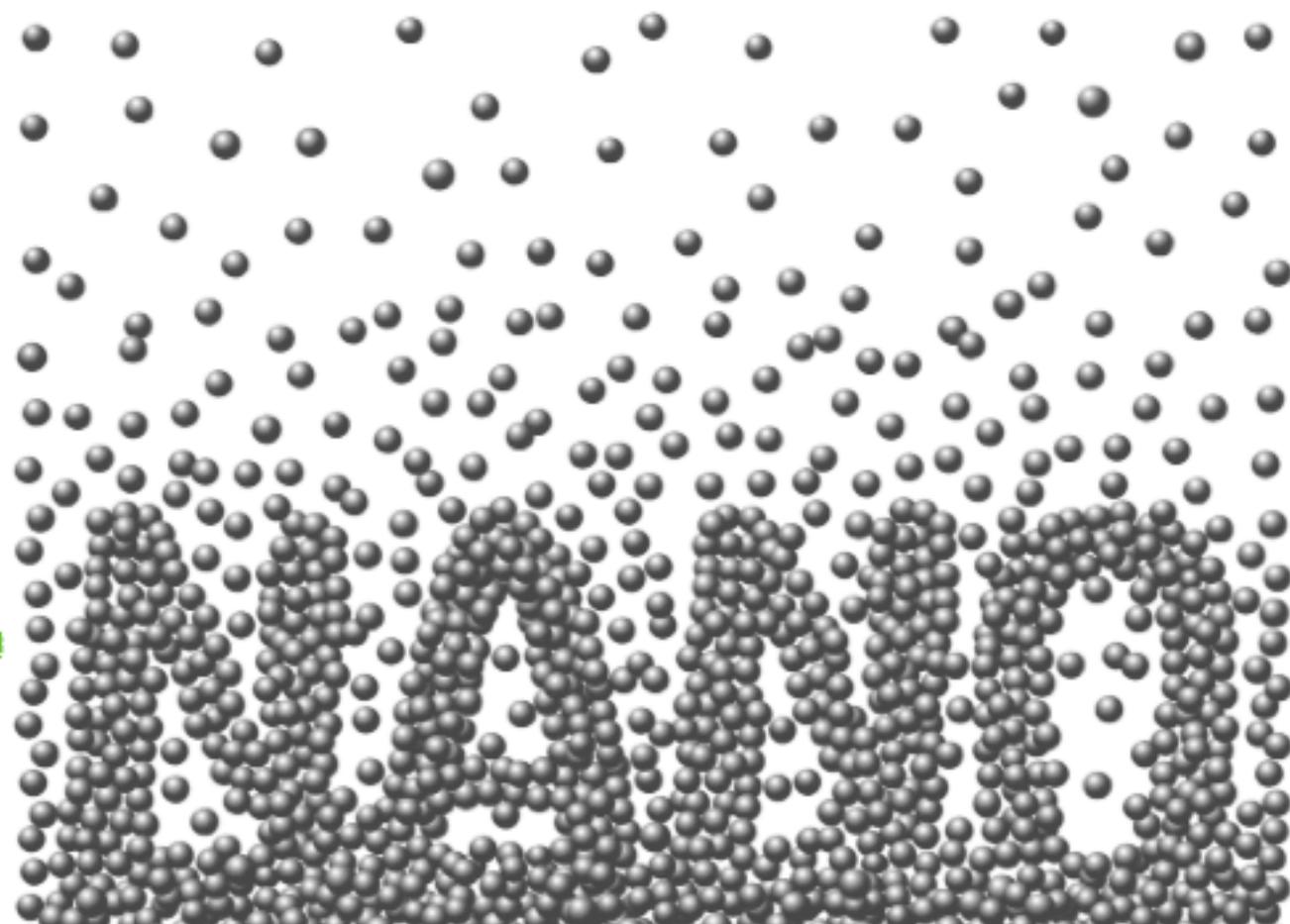


Für einen verantwortungsvollen Umgang mit der Nanotechnologie

Eine erste Diskussionsgrundlage am
Beispiel der Nanopartikel



Vorwort



Prof. Dr. Wilfried Kühling

Vorsitzender des Wissenschaftlichen Beirats des BUND

Liebe Leserin, lieber Leser,

vor Ihnen liegt das Positionspapier, mit dem der BUND im Juni 2007 erstmals umfassend zu Nanotechnologien Stellung bezogen hat. Inzwischen ist sowohl die Entwicklung der Nanotechnologien weiter voran geschritten als auch die politische Debatte darum.

So organisierte die Bundesregierung in den Jahren 2007 und 2008 die erste Runde des NanoDialogs, an dem sich neben Vertretern der Wirtschaft, Wissenschaftlern, Behördenvertretern, Gewerkschaften und Verbrauchergruppen auch der BUND beteiligt hat. Im November 2008 wurden die Ergebnisse des Dialogs veröffentlicht. Besonders hervorzuheben sind die dort erarbeiteten Kriterien, die eine vorläufige Einschätzung von Nanomaterialien bei gering schwacher Datenlage erlauben. Auch ein Prinzipienkatalog für einen verantwortungsvollen Umgang mit Nanomaterialien wurde erarbeitet, auf den sich Unternehmen freiwillig verpflichten sollen. Außerdem wurde die Schaffung einer unabhängigen Marktübersicht zur Stärkung der Transparenz für Behörden und VerbraucherInnen und eine deutliche Erhöhung der Mittel für die Risikoforschung empfohlen. Dies alles können wichtige erste Schritte sein, wenn sie denn tatsächlich konsequent zur Anwendung kommen.

Trotzdem bleibt die BUND Position von 2007 in vielen Punkten brandaktuell. Noch immer fehlen standardisierte Testmethoden, um die Risiken von Nanomaterialien für Mensch und Umwelt systematisch untersuchen zu können. Es fehlen weiterhin klare gesetzliche Vorgaben, die nano-spezifische Sicherheitstests vor der Markteinführung vorschreiben und eine Kennzeichnungspflicht, die es VerbraucherInnen erlauben würde, sich selbst für oder gegen Nanoprodukte entscheiden zu können. Ungeachtet dessen werden immer mehr Produkte auf den Markt gebracht, die Nanomaterialien enthalten. Wie der BUND gemeinsam mit Partnerverbänden von Friends of the Earth in der Studie „Aus dem Labor auf den Teller – die Nutzung der

Nanotechnologie im Lebensmittelsektor“^{**} aufzeigen konnte, macht diese Entwicklung inzwischen selbst vor so sensiblen Bereichen wie der Nahrungsmittelproduktion keinen Halt mehr. Hoffnung bereitet uns jedoch, dass immer mehr gesellschaftliche Gruppen die Relevanz der Nanotechnologie für ihre Arbeit erkennen. Ein Beleg dafür sind die „Kriterien zur Kontrolle von Nanotechnologien und Nanomaterialien“, die neben dem BUND von fast 70 weiteren Organisationen unterzeichnet wurden.

Dabei wird die Debatte um die Nanotechnologien keineswegs einfacher. So sind bei den Vorarbeiten zur BUND- Lebensmittelstudie neue Fragen aufgetaucht: Reicht es aus, unter dem Begriff „Nano“ nur solche Materialien zusammenzufassen, die in mindestens einer Dimension weniger als 100 Nanometer messen? Wie sind Aggregate und Agglomerate von Nanomaterialien zu bewerten? Hier sind wir inzwischen zu der Ansicht gekommen, dass wohl auch Teilchen mit einer Größe bis zu wenigstens 300 Nanometer im Zuge der Risikobewertung berücksichtigt werden sollten, da auch diese neuartige Eigenschaften, etwa in Bezug auf ihre Bioverfügbarkeit, entwickeln können. Von zunehmender Bedeutung erscheint uns die Frage nach der Bewertung und dem Umgang mit möglichen zukünftigen Generationen von Nanotechnologien und -materialien, die in Deutschland bislang kaum thematisiert worden sind. Und viel zu selten wird bisher danach gefragt, welchen Beitrag technologische Entwicklungen tatsächlich auf dem Weg zu einem zukunftsfähigen Deutschland leisten können, und inwiefern der Fokus auf technische „Lösungen“ nicht den Blick auf einen letztlich notwendigen gesellschaftlichen und individuellen Wandel verstellt.

Das Thema Nanotechnologien wird uns also auch in den nächsten Jahren noch intensiv beschäftigen. Wir würden uns freuen, Sie dabei als MitstreiterInnen gewinnen zu können und wünschen eine interessante und anregende Lektüre!

**Diese und weitere Materialien können Sie beim BUND laden, Tel. (030) 2 75 86-480, bundladen@bund.net gegen Übernahme der Portokosten bestellen.*

Inhalt

Vorwort	3
1 Zusammenfassung	5
2 Einführung: Was ist unter „Nanotechnologie“ zu verstehen??	7
3 Einordnung und Zielsetzung dieser Position	9
4 Wirkungen und Folgen für Mensch und Umwelt (Auswahl)	11
4.1 Gesundheitliche Wirkungen und Risiken durch Nanopartikel	11
4.2 Wirkungen auf die Umwelt	15
5 BUND-Überlegungen zur nachhaltigen Entwicklung der Nanotechnologie	17
6 BUND-Forderungen zum verantwortungsvollen Umgang mit den Nanotechnologien	19
6.1 Allgemeine Forderungen	19
6.2 Forderungen zum normativen Regelungsumfang	20
6.3 Forderungen zum gesellschaftlichen Dialog und zu Informationspflichten	21
6.4 Forderungen zur Forschung	21
6.5 Institutionalisierung erforderlich	22
7 Weitere Informationen, Adressen	23

1 Zusammenfassung

In vielen Technikfeldern der Nanotechnologie werden heute gezielt Substanzen eingesetzt, die kleiner als hundert Nanometer (nm) sind. In dieser Größenordnung können spezielle, bisher nicht bekannte Eigenschaften dieser Stoffe und Materialien für eine Vielzahl von Anwendungen und Produkten industriell genutzt werden. So befindet sich Nanotechnologie bereits heute u.a. in Kosmetika, Medikamenten, Lebensmitteln und Elektronikprodukten.

Allerdings gibt es eine ganze Reihe von gesundheitlichen Gesichtspunkten und potenziellen Umweltrisiken, die es notwendig machen, sich kritisch und sehr differenziert mit der Nanotechnologie auseinanderzusetzen. Z.B. ist derzeit kaum bekannt, wie sich Nanopartikel auf die Umwelt auswirken, wenn sie bei Herstellung, Gebrauch und Verwertung/Entsorgung freigesetzt werden.

Bis heute wurde die Entwicklung der Nanotechnologie weder durch Gesetzgebung und Vollzug kritisch begleitet, noch findet eine ausreichende Information der Bevölkerung statt. Ein öffentlicher Diskurs beginnt erst vereinzelt und zögerlich; die Verbindlichkeit möglicher Ergebnisse ist nicht absehbar. Für Nichtregierungsorganisationen wie den BUND sind dies Gründe zur Besorgnis. Da in dieser noch recht jungen Entwicklung dringend eine Weichenstellung in Richtung eines Technologiepfades erforderlich wird, welcher Anpassungen an neue Erkenntnisse noch im Vorfeld der Unumkehrbarkeit ermöglicht, wird es höchste Zeit, dass sich auch der BUND mit der Nanotechnologie auseinandersetzt. Insbesondere soll mit dieser ersten Analyse und dem Aufzeigen erster Forderungen am eingegrenzten Beispiel der Nanopartikel ein Beitrag zur Entwicklung einer europaweit gemeinsam getragenen Position von Friends of the Earth geleistet werden. Die aufgestellten Forderungen sind daher unter einen gewissen Vorbehalt zu stellen. Weiter fundierte und ausdifferenzierte Aussagen sind nicht zuletzt auch aufgrund der Dynamik dieses Themas in relativ naher Zukunft zu erwarten.

Bisher lassen sich zwei Seiten betrachten, die auch

im Hinblick auf notwendige Weiterentwicklungen und Forderungen unterschieden werden müssen:

- Umweltentlastende Potenziale der Nanotechnologie, die in Richtung einer zukunftsfähigen und nachhaltigen Entwicklung fortentwickelt werden müssen;
- Befürchtungen um Risiken und Gefährdungen von Mensch und Umwelt durch den Einsatz von Nanotechnologien, die frühzeitig und nach ausreichenden Vorsorgekriterien betrachtet werden müssen.

Eine einfache Bewertung von Nanopartikeln ist deshalb schwierig, da genau diejenigen Eigenschaften, durch die ein potenzieller Nutzen entsteht, auch diejenigen sind, durch die ein mögliches Risiko begründet wird. So sind Nanopartikel in der Lage, die von der Evolution entwickelten Schutzmechanismen (z.B. Blut-Hirn-Schranke, Plazentaschranke) zu überwinden.

Industriell verwendet werden die verschiedensten Nanomaterialien: Von Fullerenen (fußballförmige Partikel aus Kohlenstoff), über Kohlenstoff-Nanoröhrchen bis hin zu bekannten Stoffen wie Zink- oder Titandioxid-Nanopartikeln, deren neue chemische und physische Eigenschaften man für neue Produkte nutzen möchte.

Die größten Risiken gehen von Nanopartikeln aus, die als freie Partikel emittiert werden oder ungebunden in Produkten enthalten sind, so dass es zu einer Exposition von Mensch und Umwelt kommen kann. Nahezu allen Produkten gemeinsam ist jedoch, dass der Nanoanteil jeweils nicht ausreichend hinsichtlich seiner Wirkungen auf Mensch und Umwelt getestet wurde. Es werden verschiedene Probleme genannt, die heute in verschiedenen tierischen und menschlichen Organismen beobachtet werden (bei inhalierten Nanopartikeln, Nanoteilchen in Nahrungs- und Futtermitteln, Exposition der Haut z.B. mit Titandioxid-Nanopartikeln als UV-Schutz und in Kosmetika sowie negative Effekte im aquatischen System und im Boden).

Neben der Diskussion um Leitbilder einer nachhaltigen Nanotechnologie wird als wesentliches Ergebnis ein umfangreicher Forderungskatalog aufgestellt. Die 10 Kernforderungen lauten:

1. Strikte Anwendung des *Vorsorgeprinzips* beim Umgang mit Nanotechnologien.
2. Die *Rückholbarkeit* von Nanotechnologien muss sichergestellt werden. Entwicklungen, die eine Selbstreproduktion ermöglichen, werden prinzipiell abgelehnt.
3. Öffentliche *Transparenz* zu Erkenntnissen, Daten, Entwicklungen, Einsatz und Anwendungen etc. Schaffung von Informations-/Transparenz- bzw. *Meldepflichten* (Registrierung).
4. Chemikalienrechtliche Einstufung und Behandlung von „Nanochemikalien“ als Neustoffe. Es bedarf neuer Methoden zur Feststellung der Toxizität von Nanostoffen unter dem Ansatz einer *Umkehr der Beweislast*.
5. Abbau der Regelungsdefizite im Wasser-, Abfall- und Industrieanlagen-Recht, Chemikalienrecht etc. Im neuen *Umweltgesetzbuch* sind Regelungen und Genehmigungspflichten einzuführen, die spezifisch die Risiken von Nanomaterialien berücksichtigen.
6. *Produktverbote* für umweltoffene Anwendungen, die zu einer Exposition von Mensch und Umwelt führen können.
7. Berücksichtigung der Wirkungen bei *Risikogruppen*, vorgeschädigten Personen oder Organen.
8. Forschungsanstrengungen zu ökologischen und gesundheitlichen Wirkungen, aber auch zu den gesellschaftlichen und ethischen, sozialen Aspekten der Nanotechnologie müssen *erheblich verstärkt* werden (10–15% der Forschungsmittel).
9. Die Bemühungen um einen zielgerichteten und klar strukturierten Dialog müssen verfahrensmäßig und institutionell *gebündelt* werden (bundeseinheitliches Dialogkonzept, welches alle wichtigen Partner einbezieht).
10. Einrichtung einer „zuständigen Stelle“, die verantwortlich und unabhängig die genannten

Forderungen verbindlich aufarbeitet. Diese Stelle muss ein *integriertes Konzept* zum Umgang mit der Nanotechnologie vorlegen (*institutionelle Lösung*).

For an English Version of the BUND Position “For the Responsible Management of Nanotechnology – A preliminary discussion paper focussing on the example of nanoparticles” please refer to http://bund.net/fileadmin/bundnet/publikationen/nanotechnologie/20090204_nanotechnologie_bund_positionspapier_englisch.pdf

2 Einführung: Was ist unter „Nanotechnologie“ zu verstehen?

Der Begriff „Nanotechnologie“ wird oft als Sammelbegriff verwendet, der die verschiedenen Zweige der Nanowissenschaften und -techniken umfasst. Ursprünglich bezeichnet Nanotechnologie Wissenschaft und Technologie auf atomarer und molekularer Ebene.

Dies ist eine ausgesprochen unscharfe Definition, denn der Begriff „Nanotechnologie“ beschreibt eine ganze Reihe von Technikfeldern, deren einzige Gemeinsamkeit es ist, gezielt Substanzen einzusetzen, die zwischen einem und hundert Nanometer (nm) messen. Ein nm entspricht 0,000001 mm, der Durchmesser z. B. eines Eisenatoms beträgt etwa 0,25 nm. Die Nanotechnologie beschäftigt sich also gezielt mit Teilchen, die wenig größer sind als Atome und ist dabei weniger eine eindeutig bestimmbare Technologie als vielmehr ein Überbegriff für eine Vielzahl von Anwendungen und Produkten, die, indem sie kleinste Partikel enthalten, spezielle bisher nicht bekannte Eigenschaften bekommen (können). Weltweit findet die Nanotechnologie daher zunehmend Beachtung und wird als die Zukunftstechnologie für die nächsten Jahre bezeichnet. In den USA, Japan und der EU werden Forschungsaktivitäten zur Nanotechnologie massiv mit öffentlichen Mitteln gefördert.

Das wesentlich Neue dieser Technologie steckt dabei in dem Begriff „gezielt“, denn Teilchen in der Größenordnung von Nanometern entstehen auch „ungezielt“ bei Verbrennungsprozessen (siehe die weitere Differenzierung in Kapitel 4.1). In der Kolloidchemie z. B. wird schon sehr lange mit Teilchen in dieser Größenordnung „ungezielt“ gearbeitet. Seit etwa Mitte der achtziger Jahre des letzten Jahrhunderts ist man aber durch die Anwendung neuer analytischer Methoden in der Lage, Strukturen im Nanometerbereich sichtbar zu machen und diese auch gezielt zu verändern.

Industriell werden diese „neuen“ Eigenschaften speziell hergestellter „Nanoprodukte“ in zunehmender Weise ausgenutzt. So befindet sich Nanotechnologie bereits heute in Kosmetika, Medikamenten, Lebensmitteln und Elektronikprodukten

und die Tendenz der Herstellung und Anwendung nanotechnologischer Produkte ist stark steigend. Am vielleicht bekanntesten ist der so genannte „Lotuseffekt“. Durch Imitation der Oberflächenstruktur der Lotuspflanze werden Oberflächen so schmutzabweisend, dass ein Schmutzfilm einfach mit Wasser abgespült werden kann. Dieses Beispiel zeigt auch, dass der Einsatz von Nanotechnologie durchaus umweltentlastend sein kann. Die Reinigung verschmutzter Oberflächen erfolgt derzeit noch mit sehr energieintensiven Verfahren und zumeist unter Einsatz umweltschädlicher Reinigungsmittel. Durch die Nutzung des Lotuseffektes könnte Energie gespart und die Umwelt geschont werden. Es gibt gerade im Bereich der Bionik noch andere Beispiele, die es möglich erscheinen lassen, durch den Einsatz von Nanotechnologie und durch Übernahme biologischer Bauprinzipien Umweltentlastungseffekte zu erreichen. Aber auch für die Entwicklung von hocheffizienten Stromspeichermedien bietet die Nanotechnologie ein erhebliches Potenzial¹.

Allerdings gibt es auch eine ganze Reihe von umweltrelevanten Gesichtspunkten und potenziellen Umweltrisiken, die es notwendig erscheinen lassen, sich kritisch und sehr differenziert mit der Nanotechnologie auseinanderzusetzen. Dabei wird der Schwerpunkt hier auf die „gezielt“ erzeugten Nanopartikel und -materialien gelegt. Die ebenfalls nanoskalierten, insbesondere durch Verbrennungsprozesse erzeugten ultrafeinen Stäube besitzen zwar z. T. das gleiche Gefahrenpotenzial, sollen aber bei den nachfolgenden Betrachtungen und Forderungen hiervon abgegrenzt werden².

Zur Auseinandersetzung mit der Nanotechnologie gehören insbesondere:

- das mögliche veränderte chemische Verhalten. Substanzen können ihr chemisches Verhalten ändern, wenn eine bestimmte Größe (meist unterhalb von 20 nm) unterschritten wird. Das heißt, dass ein 10 Nanometer großes Teilchen einer Substanz sich chemisch ganz anders ver-

¹Energieversorgung sichern durch elektrochemische Energiespeicher – auch durch Nanomaterialien. Hedderich, R., in: Nanotechnik 02/2007

²Siehe BUND-Hintergrund zum Thema Staub/Feinstaub (PM) v. März 2005 und zur Feinstaubbelastung v. März 2006

halten *kann* als ein etwa 100 Mikrometer großes Teilchen einer in der chemischen Zusammensetzung völlig gleichen Substanz. Gerade darauf beruht ein Teil der besonderen Eigenschaften nanotechnologischer Produkte. Es ist aber genauso denkbar, dass als völlig harmlos bekannte und eingestufte Stoffe nur auf Grund ihrer Kleinheit toxisch werden oder eigentlich inerte Stoffe plötzlich hochreaktiv werden. Die bisher allgemein eingeführte und akzeptierte Methode, Grenzwerte als Masse pro Volumen ohne Berücksichtigung der Teilchengröße festzulegen, versagt in diesem Fall.

- **neue „künstliche“ Nanostrukturen:** Die Nanotechnologie macht es möglich, dass synthetische Stoffe hergestellt werden können, die sich von ihrem atomaren Aufbau deutlich von auf der Erde vorkommenden Stoffen unterscheiden und deren Wirkung auf Mensch und Umwelt daher völlig unbekannt ist. Das bekannteste Beispiel hierfür sind die sog. „Fullerene“, eine Kohlenstoffverbindung mit einer neuen Anordnung der Kohlenstoffatome. Fullerene werden schon jetzt in Kosmetika eingesetzt obwohl weder die toxikologische noch die ökologische Unbedenklichkeit bisher nachgewiesen werden konnte.

Wie sich Nanopartikel auf die Umwelt auswirken, wenn sie bei Herstellung, Gebrauch und Verwertung/Entsorgung freigesetzt werden, ist derzeit kaum bekannt. So wird z.B. bereits heute nanostrukturiertes Silber eingesetzt, um Wäsche keimfrei zu machen. Auf dem Markt sind auch Shampoos, Zahnpasta und Seifen erhältlich, die Nanosilber enthalten. Ausgenutzt wird hier die antimikrobielle Wirkung von Silberionen. Letztlich gelangt dieses Silber aber in das aquatische System und ist höchst toxisch für deren Lebewesen. Die Umweltschutz-Bundesbehörde der USA (EPA) hat hier bereits einen ersten Schritt zur gesetzlichen Regulierung gemacht. Hersteller müssen Produkte, die Silber-Nanopartikel enthalten und eine keimtötende Wirkung anpreisen, auf ihre Unbedenk-

lichkeit für die Umwelt untersuchen. Auch über die mögliche antimikrobielle Wirkung beim Eintrag in den Boden gibt es noch keine Untersuchungen. Dieses Unwissen hindert aber die Industrie nicht daran, derartige Produkte in Verkehr zu bringen und dies ist nur eines von vielen Beispielen. Unter dem Gesichtspunkt einer nachhaltigen Entwicklung (Vorsorgeprinzip) ist eine solche Vorgehensweise nicht zu vertreten. Eine nachhaltige Entwicklung einer neuen Technologie verlangt, dass das Gefährdungspotenzial für Mensch und Umwelt vor der Anwendung analysiert wird und erst dann ein Produkt in Verkehr gebracht wird, wenn die Bewertung eine Gefährdung von Mensch und Umwelt bei Herstellung, Gebrauch und Verwertung/Entsorgung als unwahrscheinlich erscheinen lässt.

3 Einordnung und Zielsetzung dieser Position

Bis heute wurde die Entwicklung der Nanotechnologie weder durch eine kritische Gestaltung durch die Gesetzgebung oder eine nennenswerte Aufsicht durch Behörden begleitet, noch findet eine ausreichende Information der Bevölkerung statt. Ein öffentlicher Diskurs beginnt erst vereinzelt und zögerlich; die Verbindlichkeit von möglichen Ergebnissen steht noch aus. Für Nichtregierungsorganisationen wie den BUND sind dies Gründe zur Besorgnis. Da in dieser noch recht jungen Entwicklung dringend eine Weichenstellung in Richtung eines Technologiepfades erforderlich wird, welche Änderungen noch im Vorfeld einer Unumkehrbarkeit ermöglicht, wird es höchste Zeit, dass sich auch der BUND mit der Nanotechnologie auseinandersetzt und seine Forderungen nach einer kritischen Überprüfung dieser Technologieentwicklung zu Gehör bringt. Diese Überprüfung kann auch die Ablehnung bestimmter Entwicklungen der Nanotechnologie zur Folge haben. Insbesondere soll mit dieser ersten Analyse und dem Aufzeigen erster Forderungen ein Beitrag zur Entwicklung einer europaweit gemeinsam getragenen Position von Friends of the Earth geleistet werden.

Nanotechnologische Entwicklungen werden, blickt man einmal sehr offen in Richtung der Erwartungen und Visionen, die Fundamente des Lebens, der Ökosysteme, der Energiegewinnung, ja aller menschlichen Tätigkeiten beeinflussen. Wenn man bedenkt, dass enorme finanzielle Investitionen in die nanoskalige Manipulation lebender Organismen gesteckt werden, werden sich vielfältige Wirkungen und Folgen ergeben. Die Erschaffung lebenden Materials durch die synthetische Biologie ist keine Zukunftsmusik, sondern im Labor bereits Realität.

Mit der Entwicklung der Nanotechnologien wird – wenn man manche Äußerungen vernimmt – ein Paradigmenwechsel in unserer technologieorientierten Wirtschaftsweise erwartet hin zum Leitbild „Nachhaltige Technologien“, die „inhärent sicher“ oder „bioabbaubar“ sind. Hier dürfte Skepsis an-

geraten sein. So könnten sich z. B. durch die Vergabe von Patenten die wirtschaftlichen Strukturen stark verändern. Inhaber entsprechender Patente könnten über andere Industriebereiche Macht ausüben mit der Folge von industriellen Zusammenschlüssen, Allianzen und Konzentrationsprozessen. Auch die Umstrukturierung der Arbeitswelt könnte möglicherweise ein Problem werden. Es ist aber auch zu erwarten, dass der ökologische und auch medizinische Nutzen dieser Technik nicht alles das hält, was Befürworter versprechen.

- Die Vergangenheit zeigt, dass neue Technologien einerseits keine gerechtere soziale Ordnung gebracht haben, sondern eher jene mächtiger gemacht hat, die bereits Macht und Reichtum hatten. Armut, soziale Ungleichheit und Not wird wohl kaum durch die Nanotechnologie beseitigt werden.
- Bisherigen Technologieentwicklungen ist andererseits auch gemein, dass neue Erwartungen geweckt und Nutzungen gefördert werden, die vormals gepriesene Umweltentlastungseffekte aufzehren oder problematische Stoffflüsse lediglich räumlich oder zeitlich verlagern oder auch gänzlich andere Problemfelder aufwerfen. Als Beispiel seien die neuen elektronischen Speichermedien (z. B. CD-ROM) genannt, von denen vor nicht allzu langer Zeit erwartet wurde, dass der Verbrauch von Papier drastisch zurückgehen würde. Stattdessen ist trotz vermehrter Nutzung dieser Technologien und den stark gestiegenen Möglichkeiten der Verarbeitung und Speicherung auch der Verbrauch an Druckerzeugnissen und Papier angestiegen.
- Gerade die in Umweltberichterstattungen gepriesenen Umweltentlastungseffekte in Europa (z. B. Abkopplung des Rohstoff-/Energieverbrauchs vom BIP) müssen auch darauf zurückgeführt werden, dass Verlagerungseffekte von Ressourcenverbrauch und Umweltbelastungen zwischen den Weltwirtschaftsregionen (von den hoch entwickelten Industrienationen hin zu den weniger entwickelten Zonen im Süden) stattfinden³.

³ Schütz, H.; Moll, St.; Bringezu, S. (2003): *Globalisierung und die Verlagerung von Umweltbelastungen. Die Stoffströme des Handels der Europäischen Union. Wuppertal (Wuppertal Paper)*

Man kann darüber hinaus auch konstatieren, dass (vordergründige) Rohstoff und Umwelt entlastende Effekte durch neue Technologien oft lediglich dazu geführt haben, eigentlich nötige Verhaltensänderungen auszublenden. Als Beispiel sei auf die Einführung des Katalysators seit Mitte der 80er Jahre verwiesen. Um eine vergleichsweise saubere Atemluft zu erreichen, hätte heute 80% weniger Auto gefahren werden müssen⁴. Die vordergründige Fokussierung auf technische Lösungen, die als die Zukunftstechnologien verkauft werden, verstellt also den Blick auf zukunftsfähige Entwicklungen, deren Lösungen an den wirklichen Ursachen – wie den nicht zukunftsfähigen Lebensstilen der hoch entwickelten Industrienationen – ansetzen müssen.

Daher ist insbesondere vorweg die Frage zu erörtern, welche Ziele der BUND verfolgt, an denen die Fragen und Aspekte der Nanotechnologie gemessen werden können. Aus den bisherigen Erkenntnissen und Diskussionen um die Nanotechnologien lassen sich zunächst zwei Seiten einer Medaille betrachten, die auch im Hinblick auf notwendige Weiterentwicklungen und Forderungen unterschieden werden sollen:

- Umweltentlastende Potenziale der Nanotechnologie. Diese müssen in Richtung einer zukunftsfähigen und nachhaltigen Entwicklung fortentwickelt werden (siehe Kap. 5).
- Befürchtungen um Risiken und Gefährdungen von Mensch und Umwelt durch den Einsatz von Nanotechnologien. Diese müssen frühzeitig und nach ausreichenden Vorsorgekriterien betrachtet werden (siehe Kap.6).

Es kommt also darauf an, die positiven, möglicherweise umweltentlastenden Aspekte dieser Technologien deutlich von den gefahrenbehafteten Entwicklungen zu unterscheiden und dementsprechend differenzierte Forderungen aufzustellen. Dies ist aufgrund der oft noch nicht absehbaren Entwicklung nicht immer leicht. Außerdem hat der Prozess der Herausbildung einer Position zu diesem Thema erst begonnen, so dass weitere und

stärker untermauerte sowie ausdifferenziertere Aussagen in relativ naher Zukunft zu erwarten sind. Die hier aufgestellten Forderungen sind daher unter einem gewissen Vorbehalt zu stellen.

Gerade im Hinblick auf mögliche Risiken und Gefahren müssen die neuen Stoffe mit angemessenen Gesetzen, Instrumenten und Verfahren geregelt werden. Die industrielle Herstellung von Nanomaterialien und Nano-Produkten erfolgt jedoch so rasch, dass eine Regulierung dieser Entwicklung hinterherhinkt. In Kap. 6 werden einige erste als zentral anzusehende Aspekte für eine Regulierung aufgezeigt. Eine politisch verantwortete und kritische Einflussnahme erscheint auch deshalb besonders dringlich, da Forscher und Produzenten Nano-Güter mit unbekanntem Risiko und häufig zweifelhaftem Nutzen („Geschmackswunder“, „Dauerunterwäsche“, „transparente Sonnenmilch“ etc.) ohne Angabe von Zusammensetzungen, Wirkungsweisen und Nebenwirkungen auf den Markt bringen und auf der anderen Seite Verbraucher dies nicht kritisch hinterfragen und auf Nano-Güter mit unbekanntem Risiko verzichten.

Wegen der Breite des Themas wird zunächst nur eine verkürzte Problematisierung der Chancen und Risiken vorrangig am Beispiel der Nanopartikel vorgenommen. Schwerpunkte bilden die bereits daran aufzeigbaren grundlegenden Forderungen für einen kritischen und zukunftsfähigen Umgang mit dieser Technologie. Aspekte des Arbeitsschutzes und andere Problemfelder bleiben zunächst ausgeklammert.

⁴Vgl. DIE ZEIT Nr. 41 vom 5. Okt. 2006, S. 26 im Interview mit Andreas Troge, Präsident des Umweltbundesamtes

4 Wirkungen und Folgen für Mensch und Umwelt (Auswahl)

4.1 Gesundheitliche Wirkungen und Risiken durch Nanopartikel

Nanopartikel sind zum einen aufgrund ihrer großen Oberfläche fähig, Präparate wie Arzneimittel, Testsubstanzen und Proteine zu absorbieren, zu binden und zu einem gewünschten Ort im Körper zu transportieren (therapeutische Anwendungen). Zum anderen können Nanopartikel neben einem indirekten Eintrag über die Umweltmedien Boden, Wasser oder Luft auch als direkte Einwirkung auf den Menschen zu gesundheitlichen Wirkungen führen (erhöhte Mortalität und Morbidität), was nachfolgend angerissen werden soll. Das Besondere an Nanopartikeln ist (und dies erschwert eine einfache Bewertung), dass genau diejenigen Eigenschaften, durch die ein potenzieller Nutzen entsteht, auch diejenigen sind, durch die ein mögliches Risiko begründet wird. So sind Nanopartikel z. B. in der Lage, die von der Evolution entwickelten Schutzmechanismen der Blut-Hirn-Schranke oder auch der Plazentaschranke zu überwinden.

Vereinfachend lassen sich folgende Unterscheidungen bei Nanopartikeln treffen, die weniger als 100 Nanometer groß sind:

- Es gibt natürlich vorkommende ultrafeine Partikel (als Gemisch aus Grob-, Fein- und Ultrafeinstaub, hervorgerufen z. B. durch natürliche Verbrennungsprozesse).
- Feine und ultrafeine Partikel nicht natürlichen Ursprungs aus technischen Verbrennungs- und Verarbeitungsprozessen aller Art (z. B. aus dem Straßenverkehr, wie Dieselruß, Katalysatorausstoß, Abrieb von Reifen, Kupplungen und Bremsen), aus dem häuslichen Bereich (beim Abbrennen von Kerzen, Kochen, Braten und Grillen), Zigarettenrauch oder als Stäube beim Bergbau. Ein erster Überblick über Entstehung und Verteilung atmosphärischer Partikel zeigt die hohe Anzahl von Partikeln in Straßennähe (mit über 50.000 Partikel/cm³)⁵. Typische Konzentrationswerte im ländlichen Hintergrund dagegen liegen

zwischen 1.000 und 4.000 Partikel/cm³. Die drei großen Quellgruppen sind: anthropogen erzeugte Aerosole aus örtlichen Verbrennungsprozessen (insbesondere Kfz-Verkehr), überregional angereichertes, anthropogen beeinflusstes Aerosol großräumiger Luftmassen und durch photochemische Prozesse in der Atmosphäre neu gebildetes Aerosol.

- Industriell verwendete nanoskalige Werkstoffe in Produkten, die den Endverbrauchern seit geraumer Zeit angeboten werden. Hier unterscheidet man: anorganische Nanopartikel aus Metallen, Metalloxiden oder Kohlenstoffpartikel, organische Nanopartikel oder Nanoschichtsysteme. Die Zahl dieser Produkte erhöht sich ständig. Es wird geschätzt, dass Nanoteilchen mittlerweile in etwa 500 bis 700 Produkten zu finden sind – im August 2006 waren es in einer Internet-Datenbank bereits 276 aus fast allen Lebensbereichen⁶; die Palette reicht von Cremes, Pasten, Kosmetika über Sonnenschutz, Toner für Laserdrucker, Zusatzstoffe für Dieselkraftstoff oder Nahrungsmittel bis zu Farben, Lacken, Klebern etc.

Industriell verwendet werden die verschiedensten Nanomaterialien: Von Fullerenen (fußballförmige Partikel aus Kohlenstoff), über Kohlenstoff-Nanoröhrchen bis hin zu weniger exotischen Stoffen wie Zink- oder Titandioxid-Nanopartikeln, deren chemische und physische Eigenschaften man für neue Produkte nutzen möchte. Das Problem soll am Beispiel Titandioxid verdeutlicht werden: Dieser in großen Mengen produzierte und als Weißpigment verwendete Stoff wurde vor seinem Auftreten in dieser geringen Partikelgröße nicht als problematisch beurteilt, da entsprechende Tests, durchgeführt mit Partikeln im Makro-Format, ohne Befund blieben. Testergebnisse zu Titandioxid in Form von Nano-Partikeln zeigen nun aber, dass diese Partikel ökotoxische Wirkungen haben können⁷. Die Beobachtung, dass die Eigenschaften eines Stoffes im Nano-Format sich von denen desselben Stoffes im Nicht-Nano-Format unterscheiden, wurde auch hinsichtlich anderer Stoffe gemacht⁸.

⁵ Birmili, Wolfram (2006): Räumlich-zeitliche Verteilung, Eigenschaften und Verhalten ultrafeiner Aerosolpartikel (<100nm) in der Atmosphäre, sowie die Entwicklung von Empfehlungen zu ihrer systematischen Überwachung in Deutschland. Texte 26/06 des Umweltbundesamtes (UBA-FB 000942)

⁶ Studie des „Project on Emerging Nanotechnologies“, Washington, siehe: <http://www.nanotechproject.org/index.php?id=44>, aufgerufen am 09.08.2006

⁷ Zit. n. Führ, M. et al. 2007 (Rechtsgutachten Nano-Technologien (ReNaTe). Bestehender Rechtsrahmen, Regulierungsbedarf sowie Regulierungsmöglichkeiten auf europäischer und nationaler Ebene. Erstellt für das Umweltbundesamt): Hund-Rinke, K.; Simon, M.; Ecotoxic Effect of Photocatalytic Active Nanoparticles (TiO₂) on Algae and Daphnids. In: Environ. Sci. Pollut Res 13, 225-232 (2006), 225 ff.

⁸ Zit. n. Führ, M. et al. 2007 (Rechtsgutachten Nano-Technologien (ReNaTe). Bestehender Rechtsrahmen, Regulierungsbedarf sowie Regulierungsmöglichkeiten auf europäischer und nationaler Ebene. Erstellt für das Umweltbundesamt): Nel, A.; Xia, T.; Mädler, L.; Ning, L.; Toxic Potential of Materials at the Nanolevel. In: Science 311, 622-627 (2006), 622

Nahezu allen Produkten gemeinsam ist, dass der Nanoanteil jeweils nicht ausreichend auf seine Wirkungen getestet wurde. Toxikologische Tests sind nicht vorgeschrieben, da in der Industrie und ihren Verbänden die Auffassung vorherrscht, die zu Grunde liegenden Stoffe und Wirkungsketten seien ja im Prinzip bekannt. Allerdings können bei Nanopartikeln völlig andere toxische Wirkungen als bei den bisher eingesetzten Mikro- oder Makroformen entstehen. Dieses Phänomen ist physikalisch zu begründen: Je kleiner ein Partikel ist, desto stärker wächst seine Oberfläche im Vergleich zu seiner Masse. Dadurch können Stoffe einer gegebenen chemischen Zusammensetzung als Nanopartikel deutlich reaktiver sein als gröbere Partikel der gleichen chemischen Zusammensetzung. Möglicherweise erhöht sich auch bei Partikeln mit abnehmender Größe die Toxizität, da ihre Oberfläche katalytisch wirksam ist und unerwünschte Reaktionen auslöst. Biologische Barrieren wie die Blut-Hirn-Schranke oder die Plazenta werden offensichtlich durch Nanopartikel überwunden. Auch auf der zellulären Ebene stellt die Zellmembran offensichtlich keine Barriere dar. Zu vermuten ist, dass sich die nicht-abbaubaren Nanopartikel in Entgiftungsorganen anreichern.

Die Gefahren steigen, je mehr nanoskalierte Materialien auf den Markt kommen. Die größten Risiken gehen von Nanopartikeln aus, die als freie Partikel emittiert werden oder ungebunden in Produkten enthalten sind, so dass es zu einer Exposition von Mensch und Umwelt kommen kann. Bei den fest in Materialien eingebundenen Partikeln scheint eine Gefährdung deutlich geringer zu sein. Die Wirkungen der in den letzten Jahren künstlich hergestellten Nanoteilchen auf Organismen, vor allem die langfristigen Auswirkungen, sind bisher so wenig erforscht, dass der Grad ihrer Gefährlichkeit kaum zu beurteilen ist^{9, 10, 11}. Während bekannt ist, dass bei den kleinsten Partikeln in der Atemluft Wirkungen auf das Herz-Kreislauf-System und das autonome Nervensystem bestehen und „die Exposition gegenüber höheren Konzen-

trationen zu einer Verkürzung der Lebenserwartung bis zu zwei Jahren führen kann“¹², sind solche Daten bei der Anwendung von Produkten, die künstlich erzeugte Nanopartikel enthalten, bisher epidemiologisch nicht erfasst. Die Exposition über die Lunge durch inhalierbare Stäube kann jedoch als maßgeblicher Weg für die meisten gesundheitlich relevanten Wirkungen¹³ und somit auch für technisch erzeugte Nanoteilchen angesehen werden. In den Aufnahmeorganen des Magen-Darm-Trakts, der Haut und der Lunge kommt es dann zu lokalen Effekten in der Gewebekinetik und nach der Absorption und Verteilung in alle Organe entstehen systemische Effekte bis zu deren Ausschaltung.

Eine entscheidende Frage ist, wo die Nanopartikel schließlich hingelangen, wenn sie in den Körper eingedrungen sind und welche Wirkungen sie dort auslösen können. Bekannt ist, dass die Inhalation von feinen und ultrafeinen Partikeln das Lungengewebe schädigt, so dass die Fähigkeit zur Abwehr von Krankheitserregern beeinträchtigt wird und entzündliche Reaktionen ausgelöst werden. Die besonderen zellschädigenden Wirkungen von Nanopartikeln werden mit ihren spezifischen Oberflächeneigenschaften und dem elektrokinetischen Potential von metallischen Partikeln in Verbindung gebracht. Inhalierbare Nanopartikel gelangen über die Lungenbläschen (Alveolen) in den Blutkreislauf, da die Fresszellen (Makrophagen) die winzigen Partikel nur unzureichend entfernen. Nachgewiesen werden konnten z. B. folgende Effekte:

- Verschiedene Arten von Kohlenstoff-Nanopartikeln zwischen 30 und 35 Nanometern Durchmesser können durch den Geruchsnerv von Nagetieren bis ins Gehirn gelangen. „Es besteht die Möglichkeit, dass Nanopartikel auf Grund ihrer geringen Größe Bereiche des Körpers erreichen, zu denen große Partikel nicht gelangen können. Sie können Barrieren (wie die Blut-Hirn-Schranke) überwinden und dann letztlich reagieren“¹⁴. Bei Inhalationsversuchen an Ratten wurde festgestellt, dass inhalierbare Kohlenstoffpartikel be-

⁹ Umfassend hierzu: Oberdörster, G.; Oberdörster, E.; Oberdörster, J. (2005): *Nanotoxicology: An Emerging Discipline Evolving from Studies of Ultrafine Particles*, *Environmental Health Perspectives* 113 (7), 823–839, 2005

¹⁰ Hoet, P.H.M.; Brüske-Hohlfeld, I.; Salata, O.V.: *Nanoparticles – known and unknown health risks*, *Journal of Nanobiotechnology* 2004, 2–12

¹¹ Borm, P.J.A. et al. (2006): *The potential risks of nanomaterials: a review carried out for ECETOC*, *Particle and Fibre Toxicology* 2006, 3–11

¹² Eikmann, T., Seitz, H. (2002): *Klein, aber oho! Von der zunehmenden Bedeutung der Feinstäube*. *Umwelt-med. Forsch. Prax.* 7, 63–64

¹³ Oberdörster, G. (2001): *Pulmonary effects of inhaled ultrafine particles*. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 74, 1–8

¹⁴ Oberdörster, G. (*Toxikologie an der University of Rochester*), zit. Ross, Philip E.: *Angst vor den Nanogiften*. <http://www.heise.de/tr/artikel/73533.v.25.05.2006.aufgerufen.am.09.08.2006>

trächtliche Lungenschäden verursachen können und dass das toxische Potential mit kleiner werdender Partikelgröße und größer werdender Partikeloberfläche steigt.

- Fullerene wirkten in aquatischen Systemen auf Fische toxisch und führten dabei vor allem in den Gehirnen zu Lipidperoxidation¹⁵. Vor diesem Hintergrund ist als kritisch zu bewerten, wenn heute bereits in Kosmetika Fullerene als „antioxidatives“ Prinzip Verwendung finden¹⁶.
- Nanoröhrchen aus Kohlenstoff sind wegen ihrer herausragenden mechanischen, elektrischen und magnetischen Eigenschaften von großer Bedeutung. Sie können eine Länge von mehreren Mikrometern haben und durchaus von Zellen aufgenommen werden. Forscher am NASA Johnson Space Center in Houston konnten zeigen, dass sie Schäden in den Lungen von Mäusen hervorrufen können, die sich über einen längeren Zeitraum verschlimmerten. Es zeigte sich, dass die Kohlenstoff-Nanoröhrchen toxischer als Ruß waren, manchmal sogar toxischer als Quarz, der im Arbeitsschutz als gesundheitsgefährdend gilt.

Diese und andere Beispiele (Tabelle 1) zeigen, dass ein Risiko für Menschen am Arbeitsplatz, in der Umgebung emittierender Anlagen und für die Nutzer der Produkte dringend weiter konkretisiert und über funktionsfähige rechtliche Bestimmungen weitestgehend ausgeschlossen werden muss. Große Wissenslücken in der Toxikologie machen es notwendig, systematische Untersuchungen im Hinblick auf verlässliche und vergleichbare Methoden, Referenzmaterial, Expositionsszenarien sowie human- und ökotoxikologische Aspekte durchzuführen. Außerdem muss darauf hingewiesen werden, dass kausale Zusammenhänge möglicherweise niemals zweifelsfrei zu ermitteln sind. Auch fehlen neben geeigneten Messverfahren und Überwachungsmethoden wichtige Informationen zur Toxikokinetik (zeitliche und quantitative Konzentration eines Giftstoffes im Organismus), Deposition und Akkumulation.

¹⁵ Oberdörster, E. (2004): *Manufactured nanomaterials (fullerenes, C60) induce oxidative stress in the brain of juvenile largemouth bass. Environ. Health Perspect.* 112:1058-1062

¹⁶ Krug, H. F. (2006): *Gibt es Gefährdungen oder Risiken durch Nanopartikel? In: Nanotechnologien nachhaltig gestalten – Konzepte und Praxis für eine verantwortliche Entwicklung und Anwendung. Hrsg. von Markus, P.; Kühling, W.; Henn, S., Tagungsprotokolle des Instituts für Kirche und Gesellschaft, Iserlohn 2006, S. 67–77*

Orale Exposition

Die orale Exposition ist noch weit weniger untersucht, so dass eine aussagefähige toxikologische Bewertung kaum vorgenommen werden kann. Eine Absorption und Verteilung von Nanopartikeln im Körper ist prinzipiell dadurch gegeben, dass der Darm unlösliche Partikel aufnehmen kann und diese so ins Lymphsystem gelangen. Von dort können die Partikel ins Blut übertreten und werden im Körper verteilt. Eine Toxizität der unlöslichen Partikel hängt von der lokalen und systemischen Verteilung ab. Der Einsatz von Nanoteilchen in Nahrungs- und Futtermitteln erfordert daher eine Maßnahmendiskussion, die von einer Kennzeichnungspflicht (was den bewussten Verzicht auf solche Produkte ermöglicht) bis zum Verbot des Einsatzes solcher Stoffe reicht.

Im Bereich Lebensmittel arbeitet Kraft Foods beispielsweise an sog. Nanocontainern-Transportmolekülen, die zwischen zehn und hundert Nanometer klein sind und meist aus Fettmolekülen bestehen. Man will die winzigen Container mit Farb- und Geschmacksstoffen beladen und so präparieren, dass sie ihre Inhalte erst dann entlassen, wenn sie bestimmten Reizen – Schütteln oder Mikrowellen – ausgesetzt sind. Auch bei den bereits als „Functional Food“ bekannten angereicherten Lebensmitteln will man die gesundheitsfördernden Zusätze in Nanocontainer einpacken, die diese an den richtigen Ort im Körper (Magen oder Darm) bringen. Die ersten derartigen Produkte sind bereits auf dem Markt: Rapsöl mit Phytosterolen (pflanzliche Stoffe, die im Darm die Aufnahme von Cholesterin hemmen, Fa. Shemen, Israel) oder ein Brot mit Thunfischöl, welches die gesunden Omega-3-Fettsäuren erst im Magen entlässt und verhindert, dass das Brot nach Fisch schmeckt (George Weston Food, Australien). Hier stellt sich in Deutschland die Frage, ob bei einer solchen Anwendung nicht bereits die Grenze zu einem medikamentenähnlichen Einsatz überschritten und damit eine Zulassung nach dem Arzneimittelgesetz notwendig wird. Auch in der Verpackungsindustrie

Mixed Findings on Toxicity

Group	Key findings	Caveat	Reference
David Warheit, DuPont Haskell Laboratory (2004)	Instilling nanotubes in the lungs of rats can cause adverse reactions.	Not a realistic model of exposure: the study had no findings on the effects of rats' inhaling nanoparticles.	„Comparative Pulmonary Toxicity Assessment of Single-Wall Carbon Nanotubes in Rats," <i>Toxicological Sciences</i> 77: 117–125
Günter Oberdörster, University of Rochester (2004)	Inhaled nanoscale particles can get into rats' brains via the olfactory nerve.	Results might not apply to humans. The study did not demonstrate toxicity or study common manufactured nanoparticles.	„Translocation of Inhaled Ultrafine Particles to the Brain," <i>Inhalation Toxicology</i> 16 (6–7): 437–445
Eva Oberdörster, Duke University (2004)	Fullerenes can damage cells in the brains of fish by increasing peroxidation.	Cells in the gills and liver showed decreased peroxidation after exposure to fullerenes, for undetermined reasons.	„Manufactured Nanomaterials (Fullerenes, C ₆₀) Induce Oxidative Stress in the Brain of Juvenile Largemouth Bass," <i>Environmental Health Perspectives</i> 112: 1058–1062
Daniel Watts, New Jersey Institute of Technology (2005)	Nanoscale alumina can stand root growth in corn, soybeans, and other plants, suggesting nanoparticles can be toxic to plants as well as animals.	Chemically altering the surfaces of the particles dramatically reduced their toxicity.	„Particle Surface Characteristics May Play an Important Role in Phytotoxicity of Alumina Nanoparticles," <i>Toxicology Letters</i> 158: 122–132
Joseph Hughes, Georgia Institute of Technology (2005)	Fullerenes can damage microbes. (This study and the next elucidate the mechanisms of toxicity and may help scientists predict the effects of a range of nanoparticles.)	The study models just one aspect of how nanoparticles will interact with the environment.	„C ₆₀ in Water: Nanocrystal Formation and Microbial Response," <i>Environmental Science and Technology</i> 39: 4307–4316
Jennifer West and Vicki Colvin, Rice University (2005)	In human cells, fullerenes can cause damage like that seen in the brain cells of fish.	Particles may behave differently in the body than they do in cell cultures.	„Nano-C ₆₀ Cytotoxicity Is Due to Lipid Peroxidation," <i>Biomaterials</i> 26: 7587–7595
Kevin Ausman and Vicki Colvin, Rice University (2006)	Modifying the surfaces of carbon nanotubes with functional molecules can increase their toxicity.	Functionalizing nanoparticles can negate the very properties that make them useful for some applications.	„Functionalization Density Dependence of Single-Walled Carbon Nanotubes Cytotoxicity in Vitro," <i>Toxicology Letters</i> 161: 135–142

Tabelle 1: Ausschnitt aus dem Spektrum wissenschaftlicher Untersuchungen zu den gesundheitlichen Gefahren der Nanotechnologie (Quelle: Ross 2006)

werden bereits Materialien mit Nanopartikeln aus Silber eingesetzt, um Lebensmittel vor Bakterien zu schützen.

Dermale Exposition

Weder bei der intakten noch bei einer vorgeschädigten Haut bestehen ausreichende Kenntnisse darüber, ob Nanopartikel über Zwischenräume der oberen Hautschicht oder über die Haarwurzeln in die Haut gelangen. Bei einer dermalen Exposition (z. B. mit Titandioxid-Nanopartikeln, die bereits als UV-Schutz und in Kosmetika auf dem Markt sind) scheint im Falle gesunder und unverletzter Haut keine Penetration von Partikeln vorzuliegen, wenn die Partikel größer als 20 Nanometer sind¹⁷. Allerdings sind einige Fragen noch ungeklärt. So fand Butz¹⁸ in tieferen Hautschichten minimale Reste von Titandioxid, die nur beim Einreiben durch kleine Hautrisse dorthin gelangt sein können. Studien mit verletzten Hautzellen gibt es jedoch nicht. Dabei führt Sonnenbrand oft zu nässender Haut, was den Titandioxid-Partikeln den Weg in den Körper erleichtern könnte. Auch sind die Ergebnisse nur für Partikel über 20 Nanometer gültig. Befürchtet werden muss, dass Teilchen unter 2 Nanometer ohne Schwierigkeiten die Haut durchdringen können¹⁹. Auch stehen Titandioxid-Nanopartikel im Verdacht, Nervenzellen zu schädigen, wenn sie direkt mit Zellen aus Mäusegehirnen vermischt werden²⁰. Solange noch offene Fragen mit solch großer Tragweite bestehen, ist ein Verbot solcher Produkte zumindest so lange angezeigt, bis das Gegenteil der Befürchtungen belegt ist.

4.2 Wirkungen auf die Umwelt

Wegen ihrer besonderen Eigenschaften können Nanopartikel auch Wirkungen auf die Umwelt entfalten. Für die Einschätzung des Risikos durch Nanomaterialien ist es entscheidend, in welcher Form diese Materialien mit der Umwelt in Kontakt

kommen. Zu klären ist, ob und in welcher Form Nanomaterialien während des Herstellungsprozesses, beim Gebrauch eines Produkts, durch Alterung und Abbau sowie bei der Entsorgung und bei einer Wiederverwertung in die Umwelt gelangen können. Die Betrachtung des gesamten Lebensweges ist Voraussetzung für eine Bewertung der Umweltgefährdung.

Nanopartikel können in lebende Zellen gelangen. Sie haben daher das Potenzial, sich in Organismen anzusammeln und sich über die Nahrungskette anzureichern. Aus den wenigen Untersuchungen an Organismen ist bekannt, dass Wasserflöhe je nach Art der Verabreichung bereits bei relativ niedrigen Konzentrationen von C₆₀-Molekülen („Buckminster-Fullerenen“) und nanoskaligem Titandioxid im Wasser sterben. C₆₀-Partikel werden bei jungen Forellen über die Kiemen aufgenommen, überwinden die Blut-Hirn-Schranke und schädigen das Gehirn bereits bei geringen Konzentrationen. Auch die Bakterien abtötende Wirkung einiger Nanomaterialien könnte negative Effekte im aquatischen System hervorrufen.

Im Boden sind ebenfalls unerwünschte Wirkungen durch Nanopartikel zu erwarten. Allerdings gibt es im Bereich des Erd-Ökosystems kaum Untersuchungen hierzu. Beispielsweise erzeugen Aluminium-Nanopartikel ein reduziertes Wurzelwachstum bei verschiedenen Nutzpflanzen, während bei größeren Aluminium-Partikeln dieser Effekt nicht auftrat. Der im aquatischen System befürchtete negative Effekte einer Bakterien abtötenden Wirkung einiger Nanomaterialien ist auch hier anzunehmen. Zunehmend wird auch über die toxische Wirkung von Nanotubes (Kohlenstoff-Nanoröhrchen) und Buckyballs (Art von Fullerenen) in Böden und Gewässern diskutiert²¹.

Es kommen zunehmend Silber-Nanopartikel auf den Markt, die dosiert antibakteriell wirkende Silberionen freisetzen und beispielsweise dem Waschwasser in Waschmaschinen zugefügt werden, damit die Wäsche gegen Bakterien und Geruchsentwicklung imprägniert wird. Schließlich geraten die-

¹⁷ Wiench, K. (2006): Nanotechnologie – Produktsicherheit. In: Nanotechnologien nachhaltig gestalten – Konzepte und Praxis für eine verantwortliche Entwicklung und Anwendung. Hrsg. von Markus, P.; Kühling, W.; Henn, S., Tagungsprotokolle des Instituts für Kirche und Gesellschaft, Iserlohn 2006, S. 79-85

¹⁸ Tilman Butz, Leiter des EU-Forschungsprojekts „NanoDerm“ in der taz vom 11.07.2006 (WOLFGANG LÖHR)

¹⁹ Ebda

²⁰ Thomas C. Long, Navid Saleh, Robert D. Tilton, Gregory V. Lowry, Bellina Veronesi: "Titanium Dioxide (P25) Produces Reactive Oxygen Species in Immortalized Brain Microglia (BV2): Implications for Nanoparticle Neurotoxicity." In: Environmental Science & Technology, Bd. 40(2006), Nr. 14, 15.07.2006, S. 4346-4352

²¹ Hoon Hyung et al. (2007): „Natural Organic Matter Stabilizes Carbon Nanotubes in the Aqueous Phase“ Environ. Sci. Technol., 41 (1), S. 179-184

se Partikel in die Kanalisation und damit in die Kläranlage. Die daraus resultierenden Folgen sind unbekannt. Auch Titandioxid-Nanopartikel von Fassaden-, Dächer- oder Fensterbeschichtungen können möglicherweise in Boden oder Gewässer gelangen, ohne dass etwas über die dort entfaltenen Wirkungen bekannt ist.

5 BUND-Überlegungen zur nachhaltigen Entwicklung der Nanotechnologie

Während die „traditionelle“ Technik auf Stoffumwandlung und -verarbeitung mit mehr oder weniger hohem Energieeinsatz und einer „unvermeidlichen“ Abfallproduktion beruht, werden in den „Nanofabriken“ der Natur Stoffwechselprozesse unter einem minimierten Einsatz von (Sonnen-)Energie mit einer minimierten, im gesamten Stoffkreislauf aber wieder aufgearbeiteten Abfallproduktion geführt. Könnte es nicht möglich sein, diese Funktionsweisen biologischer Systeme nachzuahmen bzw. nachzubauen? Dies wäre eine Erweiterung der Bionik. Das Ziel eines neuen Technikleitbildes müsste darin bestehen, den linearen Ablauf zwischen Ressourcenverbrauch und Abfallproduktion zu durchbrechen, und eine auf einem Kreislaufprozess basierende Produktionsform sicher zu stellen.

Ausgehend von den Problemen einer ausreichenden Prognose bei der Technikfolgenabschätzung und dem Umgang mit Nichtwissen wird es darüber hinaus erforderlich, eine rationale Technikbewertung vorzunehmen, die bereits vorsorglich von dem eher bekannten Eingriff bzw. der Technologie ausgeht und nicht erst bei den unbekanntem Wirkungen oder am Endpunkt (Mensch/Umwelt) ansetzt²². Technologien entstehen nicht naturgesetzlich, sie werden von handelnden Menschen mit

den ihnen zur Verfügung stehenden Mitteln in verstehbaren Konstellationen hervorgebracht; sie werden also „gestaltet“. Nicht vergessen werden sollte auch, dass die überwiegende Zahl der nanotechnologisch entwickelten Einsatzfelder in Hinblick auf die Eroberung zukünftiger Märkte entwickelt und mit der Notwendigkeit der Zukunfts- und Konkurrenzfähigkeit der Wirtschaft begründet wird, und daher eher angebots- („Molekül sucht Markt“) als bedarfs- bzw. nachfragegesteuert ist. Dieses führt zu einer tendenziellen Überbewertung der Chancen und einem Herunterspielen der Risiken. Für eine aktive Technikentwicklung spielen daher Leitbilder eine wichtige Rolle, die dem Ziel einer zukunftsfähigen und nachhaltigen Entwicklung tatsächlich folgen (Tabelle 2)²³.

Zukunftsfähigkeit lässt sich in diesem Zusammenhang auf drei Wegen erreichen: Effizienz, Konsistenz und Suffizienz. Effizienz richtet sich auf die ergiebigere Nutzung von Materie und Energie, also auf Ressourcenproduktivität. Konsistenz sucht nach naturverträglichen Technologien, die Stoffe und Leistungen der Ökosysteme nutzen ohne sie zu zerstören. Suffizienz strebt einen geringeren Verbrauch von Materie und Energie an durch eine geringere Nachfrage nach Gütern und Dienstleistungen mit hohem Ressourcenanteil (mit einem

Abbildung 1: Natürliche Lebensgrundlagen übernehmen die Funktion eines Tragwerks für die Gesellschaft, auf der wiederum die Wirtschaft basiert (Quelle: nach Hildmann 2003, S. 30)



²² Gleich, Arnim von (2004): Mit Nanotechnologie zur Nachhaltigkeit? „Charakterisierung der Technologie“ und „leitbildorientierte Gestaltung“ als Auswege aus dem Prognose-dilemma der Technikbewertung (Manusk.)

²³ Ebd.

Leitbild	Thema/Motto	Fokus	Beispiele
Ressourcen-effiziente Nanotechnologie	Umwententlastung, Umwelttechnik Geringer Ressourceneinsatz mit: - hohem Nutzen - geringem Verbrauch - geringem Schaden	Quantität der Energie- und Stoffströme (Lebenszyklusbezogen) im Verhältnis zum gesellschaftlichen Nutzen	Verschleiß- und reibungsarme Oberflächen (Maschinenbau), hochspezifische Membranen (Biotechnologie, Brennstoffzellen)
Konsistente und eigensichere Nanotechnologie	Gesundheitsverträglichkeit und Eingepasstheit in die Stoffwechselprinzipien und -kapazitäten der Natur Eigensicherheit, geringe Eingriffstiefe, hohe Fehlerfreundlichkeit	Qualität (und Quantität) der Stoff- und Energieströme im Hinblick auf Umwelt, Gesundheit und technische Risiken	Schnelle Abbaubarkeit oder geschlossene Anwendungen Recyclierbare Nanotubes im Leichtbau Spinnenseide
Nanobionik	Technik nach dem Vorbild der Natur, Leben unterstützend, mit den Selbstorganisationsprinzipien der Natur kooperierend	Die Qualität der Technik (als Form des Umgangs mit Natur)	(Bio)Katalysatoren, Enzymtechnik in der Stoffumsetzung Biomimetische Materialsynthese

Tabelle 2: Leitbilder einer nachhaltigen Nanotechnologie mit unterschiedlicher Reichweite (Quelle: Gleich 2004)

entsprechend geringeren Angebot). Zukunftsfähig können die Nanotechnologien dann werden, wenn sie Verfahren zur Herstellung von Produkten ermöglichen, die eine ökologische Führung (Effizienz, Konsistenz) beinhalten und zu Produkten führen, deren Nutzung ebenfalls nach ökologischen Kriterien erfolgt (Effizienz, Konsistenz, Suffizienz).

Die genannten Leitvorstellungen benötigen einen verlässlichen inhaltlichen Rahmen, den möglichst alle Beteiligten akzeptieren können. Dieser Rahmen könnte daher auf das Leitbild der „Nachhaltigen Entwicklung“²⁴ 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. Eine nachhaltige Entwicklung erhält allerdings

erst dann eine verlässliche Chance, wenn die Gesellschaft als Teil des Mensch-Umwelt-Systems die wirtschaftlichen Betätigungen regelt und steuert (und nicht umgekehrt). Dieses folgt nicht zuletzt aus einer naturwissenschaftlichen Betrachtung: Im Zusammenspiel der drei häufig in einem Dreieck zueinander betrachteten Bereiche Ökonomie, Ökologie und Soziales 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. 1)²⁵. 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.

²⁴ Bezeichnung für eine Entwicklung, in der die Bedürfnisse heutiger Generationen befriedigt werden sollen, ohne die Bedürfnisse kommender Generationen zu gefährden. Vgl. z. B.: Wuppertal-Institut: "Zukunftsfähiges Deutschland", hrsg. v. BUND/ Misereor, Jan. 1996

²⁵ Hildmann, C.: Mängel und Perspektiven einer umweltbezogenen Raumplanung: eine ökologische Sicht. In: Kühling, W.; Hildmann, C. (Hrsg.): Der integrative Umweltplan – Chance für eine nachhaltigere Entwicklung? Dortmund: Dortmunder Vertrieb für Bau- und Planungsliteratur 2003, S. 29f.

6 BUND-Forderungen zum verantwortungsvollen Umgang mit den Nanotechnologien

6.1 Allgemeine Forderungen

1. Die in Ansätzen bereits sichtbaren Gefahren für Mensch und Umwelt in Verbindung mit der großen Tragweite von sozialen, wirtschaftlichen und ethischen Aspekten machen dringend eine strikte Anwendung des *Vorsorgeprinzips* beim Umgang mit Nanotechnologien erforderlich. Ebenso unabdingbar ist die öffentliche *Transparenz* zu Erkenntnissen, Daten, Entwicklungen, Anwendungen etc.
2. Wie aus den grundsätzlichen Überlegungen abgeleitet werden kann, dürfen sich das Design der Produkte und die angestrebten Anwendungen nicht vorwiegend nach deren potenziellem Marktwert richten (siehe Kapitel 5). Die Nanotechnologie bedarf daher umgehend einer klaren, strikten Regelung unter gesellschaftlicher Aufsicht. Dabei verlangen die Bedeutung und der Umfang von Erfassung, Analyse, Bewertung und Regulierung nanotechnologischer Risiken und Gefahren nach einer *institutionellen Lösung*. Eine solche verantwortliche, unabhängige Stelle muss ein *integriertes Konzept* zum Umgang mit der Nanotechnologie (in Forschung, Herstellung, Verwendung und Entsorgung) entwickeln, welches Risikoanalyse, Risikobewertung und Risikomanagement, das Leitbild der Nachhaltigkeit und die ethischen Implikationen sowie Kommunikation und Transparenz berücksichtigt (Übertragung und Anwendung der Vorschläge der Risikokommission²⁶). Hierzu zählen auch frühzeitig angestellte Energie- und Ökobilanzen von Entwicklungen oder Abschätzungen sozialer und ökonomischer Folgen.
3. Solange Gefährdungen und Risiken durch Nanotechnologien für Mensch und Umwelt nicht ausgeschlossen werden können, sollten zumindest für umweltoffene Anwendungen Produktverbote greifen. Der BUND ist sich darüber im Klaren, dass dies eine sehr weitgehende Forderung ist. Bereits eingetretene Entwicklungen und Entscheidungen, deren Risikopotenzial als

zu hoch eingeschätzt wird, sollen offen und transparent problematisiert und über gesetzliche Regelungen umkehrbar gemacht werden. Es geht daher bei der Aufstellung der weiteren Forderungen insbesondere darum aufzuzeigen, welche Kontroll- und Steuerungsmechanismen eingeführt werden müssen, damit Rückhol- oder Reparaturstrategien von Entwicklungen im Sinne eines verantwortungsvollen Umgangs mit den Risiken möglich werden.

4. Bei allen Entwicklungen, Anwendungen etc. muss die *Rückholbarkeit* von Nanotechnologien sichergestellt werden. Entwicklungen, die eine Selbstreproduktion ermöglichen, werden daher prinzipiell vom BUND abgelehnt.
5. Es bedarf neuer *Methoden zur Feststellung* der Toxizität von Nanostoffen (die eindeutig als „Neustoffe“ bezeichnet werden müssen), um die qualitativen Wirkungsunterschiede zwischen Nanostoffen und den ursprünglichen Makrostoffen angemessen beachten zu können. Hierbei ist die Umkehr der Beweislast anzusetzen, wonach die Produzenten bzw. Formulierer die erforderlichen Daten beibringen müssen.
6. Die Ermittlung der *Exposition* von Mensch, Tier und Pflanze sowie Identifizierung und Bewertung der Risiken wird unter folgenden Gesichtspunkten erforderlich:
 - Aufstellung von Expositionsszenarien über den *gesamten Lebenszyklus* (Herstellung, Gebrauch, Entsorgung) von Nanopartikeln.
 - Berücksichtigung der Wirkungen bei *Risikogruppen*, vorgeschädigten Personen oder Organen (z. B. entzündete Schleimhäute, beschädigte Haut) etc. Dabei sind insbesondere auch Langzeitbeobachtungen erforderlich.
 - Insbesondere Betrachtung von Persistenz und Bioakkumulation.
7. Anwendung des *Vorsorgeprinzips* bei Nanotechnologien auf verschiedenen Ebenen:
 - Einführung ausreichender *Sicherheitsabschlüsse/Sicherheitsfaktoren* bei unsicherer Datenlage.

²⁶ Risikokommission (2003): Abschlussbericht der Risikokommission (ad hoc-Kommission „Neuordnung der Verfahren und Strukturen zur Risikobewertung und Standardsetzung im gesundheitlichen Umweltschutz der Bundesrepublik Deutschland“, Hrsg.: Geschäftsstelle der Risikokommission, Bundesamt für Strahlenschutz

- Ausdehnung der *Betreiberpflichten* für genehmigungspflichtige und nicht genehmigungspflichtige Anlagen zum Ausschluss von Risiken, auch wenn diese nicht ausreichend quantifizierbar sind, aber Hinweise auf mögliche Gefährdungen bestehen.
- Festlegung von *Produktnormen*, welche einen vorsorglichen Schutz vor Risiken beinhalten.
- Solange Hinweise auf Risiken von Stoffen, Produkten etc. bestehen, sind Emissionen und Immissionen zu minimieren (Anwendung des umweltrechtlichen *Risikominimierungsprinzips* analog der Bestimmungen zu Krebs erzeugenden Emissionen gemäß TA Luft).
- Neben Öko- oder Energiebilanzen sind umfassendere *Nachhaltigkeitsbilanzen/Nachhaltigkeitsprüfungen* erforderlich, die auch den gesellschaftlichen Umgang und ethische Fragen beinhalten.

6.2 Forderungen zum normativen Regelungsumfang

1. Ein *EU-weit (und international)* abgestimmtes Vorgehen ist erforderlich.
2. Bei der Einführung neuer Produkte unter Einsatz von Nanotechnologien ist die *Umkehr der Beweislast* notwendig, da häufig aufgrund von Nichtwissen ein im Sinne der Gesetzgebung zweifelsfreier Beweis der Gefährdung nicht geführt werden kann. Es muss der Grundsatz „no data – no market“ geltend gemacht werden. Die Anforderungen an eine Produkt- und Umwelthaftung sind entsprechend zu gestalten.
3. Aufnahme der Substanzklasse „Nanochemikalien“ und Einstufung zumindest als „umweltgefährlich“ nach Chemikaliengesetz und Gefahrstoffverordnung.
4. Auch die Schaffung von Informations-/Transparenz- bzw. *Meldepflichten* (Registrierung) über Einsatz und Anwendung von Nanomaterialien ist neben *Kennzeichnungspflichten* für

Nanoprodukte unabdingbar, um der unsicheren Kenntnislage Rechnung zutragen. Dies betrifft sowohl Forschung als auch Herstellung, Verwendung und Entsorgung.

5. Regelungsdefizite sowohl im Wasser- und Abfallrecht als auch im Industrieanlagen-Recht etc. müssen dringend abgebaut werden²⁷. Am Beispiel des Immissionsschutzrechts soll dies aufgezeigt werden:

- Wenn man die Betreiberpflichten nach BImSchG als ausreichend ansieht, sind bei den zurzeit angestellten Überlegungen zur Einführung einer integrierten Anlagengenehmigung im neuen *Umweltgesetzbuch* zusätzliche Regelungen und Genehmigungspflichten einzuführen, die spezifisch die Risiken von Nanomaterialien berücksichtigen. Die Definition einer neuen Substanzklasse ist unabdingbar.
- Insbesondere im immissionsschutzrechtlichen Regelwerk ist eine *neue Grenzwertkategorie* erforderlich, bei der z.B. die Oberfläche von Partikeln einbezogen wird (z.B. physikalische Größe der Oberflächenspannung δ).
- Die TA Luft ist um entsprechende emissions- und immissionsseitige Anforderungen und um den Einsatz geeigneter Messverfahren zur Überwachung zu ergänzen.
- Der Zugang zu Messergebnissen von Emissionen bei Betrieben mit Nanotechnologie muss nach UIG offen sein.
- In die Referenzdokumente zu den besten verfügbaren Techniken (BVT-Merkblätter) sind Ausführungen zu Nanopartikeln aufzunehmen.
- Alle Anlagen mit nanoskaligen Stoffen (auch nicht genehmigungsbedürftige Anlagen) sollen einem Genehmigungsverfahren unterworfen werden.
- Darüber hinaus sollten Versuchsanlagen mit der Produktion von Nanomaterialien nicht im vereinfachten Verfahren ohne Öffentlichkeitsbeteiligung genehmigt werden.
- Anlagen zur Herstellung von Nanopartikel bedürfen einer sicherheitstechnischen Auslegung

²⁷ Zur vollständigeren Übersicht siehe: Führ, M. et al. 2006: Rechtsgutachten Nano-Technologien. Abschlussbericht Entwurfsfassung Stand: 04.09.2006, Fachgespräch Nanotechnik am 28. September 2006 im Umweltbundesamt

nach Störfallverordnung. Dazu ist die Aufnahme der Substanzklasse „Nanochemikalien“ als Einzelstoff mit geringem Schwellenwert in die Stoffliste nach Anhang 1 der Störfall-Verordnung notwendig.

- Bei den §§ 22 f BImSchG muss unter dem Gesichtspunkt nanoskaliger Einsatzstoffe, Herstellungsverfahren etc. eine erweiterte Regelung gefunden werden.
- Die Öffentlichkeit (und insbesondere Nachbarn von Anlagen) benötigen einen Rechtsanspruch auf Minimierung von Risiken.

6.3 Forderungen zum gesellschaftlichen Dialog und zu Informationspflichten

1. Daten und Informationen zu nanoskaligen Stoffen müssen transparent und öffentlich frei zugänglich sein. Hierzu zählen auch Protokolle wissenschaftlicher Beratungsgremien etc.:
 - Dies gilt insbesondere bei der möglichen Freisetzung von Nanopartikeln und für Sicherheitsprüfungen.
 - Jeder Einsatz und jede Anwendung von nanoskaligen Stoffen ist zu dokumentieren und der Öffentlichkeit zugänglich zu machen.
 - Betriebsgeheimnisse sind eng auszulegen.
 - Zur Sicherung der Zugänglichkeit zu Informationen und zur öffentlichen begleiteten Risikobewertung und -kommunikation sind entsprechende Stellen einzurichten (Institutionalisierung).
2. Damit Nutzer eigenverantwortlich handeln können, ist eine umfassende Information notwendig.
3. Erforderlich ist ein Dialogkonzept, welches alle wichtigen Partner einbezieht, deren Ziele transparent macht und stetig fortgeschrieben wird.
4. Die Bemühungen um einen zielgerichteten und klar strukturierten Dialog müssen verfahrensmäßig und institutionell gebündelt werden. Der

Dialog muss auch Fragestellungen eines „Otto Normalverbraucher“ aufgreifen (Wo setzt der Dialog ein? Wie sieht eine geordnete, klare Dialogstruktur aus? Auf welchen Ebenen, wie hierarchisch gegliedert? Kernfrage: wer strukturiert und inszeniert, wer führt den Dialog durch?).

5. Die Diskussion um die Sinnhaftigkeit von Produkten und Materialien ist ein Teil der Dialoge.
6. Die Bündelung, Aufbereitung und gezielte Zurverfügungstellung von Daten- und Informationen fällt als Aufgabe der Administration zu und muss zügig erfüllt werden. Hierzu zählt insbesondere eine umfassende Produkt-Kennzeichnung (Labeling) über Art und Größe der eingesetzten Stoffe, deren mögliche Wirkungen etc. Denkbar ist der Aufbau einer Datenbank, die nach dem Wikipedia-Prinzip arbeitet und die volle Bandbreite von Haltungen/Untersuchungen repräsentiert.

6.4 Forderungen zur Forschung

1. Die Datenlage im Hinblick auf potentielle Risiken für Gesundheit, Sicherheit, Umwelt- und Verbraucherschutz etc. bedarf dringend der Verbesserung.
2. Die Forschungsanstrengungen zu ökologischen und gesundheitlichen Wirkungen, aber auch zu den gesellschaftlichen und ethischen, sozialen Aspekten der Nanotechnologie müssen erheblich verstärkt werden (10–15 % der Forschungsmittel). Erforderliche Mittel sind auch von Seiten der Wirtschaft bereitzustellen.
3. Zur Sicherstellung dieser Forschungen ist eine wissenschaftliche Infrastruktur unter Mitwirkung gesellschaftlicher Gruppen aufzubauen,
4. Bei der Vergabe öffentlicher Mittel zur Forschungsförderung sind Kriterien zur Beteiligung gesellschaftlich relevanter Gruppen einzuführen. Auch bei nicht öffentlich geförderten Forschungsprojekten sind Pflichten wie Anzeige- oder Genehmigungspflichten einzuführen.

5. Die Planung und Durchführung öffentlicher und privater Forschung ist transparent zu machen, d.h. Informationen über Art, Zielsetzung und Ergebnis der Forschung, beteiligte Personen und Institutionen müssen veröffentlicht werden.
6. Integration von Folgenforschung in die allgemeine Forschung, Lehre und Entwicklung auf dem Gebiet der Nanotechnologie.
7. Einbeziehung von Anregungen und Positionen aus der Öffentlichkeit durch regelmäßige öffentliche Diskurse.

6.5 Institutionalisierung erforderlich

Aus den vorhergehenden Punkten ergibt sich die Notwendigkeit der Einrichtung einer „zuständigen Stelle“, die die genannten Forderungen gezielt und verbindlich aufarbeitet. Konkret könnte es sich dabei um eine Stelle handeln, die Daten und Informationen transparent zusammenführt sowie eine umfassende Beteiligung der gesellschaftlichen Akteure (insbesondere NROs) im Hinblick auf einen verantwortlichen Umgang mit der Nanotechnologie gestaltet. Hierzu erscheinen drei Schritte erforderlich:

1. Einrichtung einer pluralistisch zusammengesetzten Nano-Kommission (einschließlich NROs), welche Empfehlungen entwickelt und abgibt. Experten aus Institutionen und Gremien im Bereich Nanotechnologien (unter Einbeziehung aller wesentlichen gesellschaftlichen Gruppen) werden in einer zeitlich begrenzten Nano-Kommission vom Parlament berufen. Diese Kommission hätte zum einen die Aufgabe, eine integrierte Nano-Strategie zu entwickeln, welche die wissenschaftlichen und technologischen Kompetenzen auf dem Gebiet der Nanotechnologie zusammenführt sowie ökologische, gesundheitliche, soziale, rechtliche und ethische Fragen der Nanotechnologie in einer interdisziplinären Aufarbeitung der Forschungsförderung umfassend einbezieht. Zum anderen müsste diese Kommission Kriterien für einen verantwortungsvollen Umgang mit der Nanotechnologie erarbeiten und geeignete Prüfverfahren zur Beurteilung der Risikopotenziale und zur Organisation der Kommunikation entwickeln (analog den Erfahrungen und Ergebnissen der Risikokommission 2003):
 - zu den Schwerpunkten staatlicher Förderung auf den Feldern Technologieentwicklung, Folgenabschätzung (Umwelt, Gesundheit), Vorsorgeforschung, Risiko- und Begleitforschung;
 - zu gesellschaftlichen Bedarfsfeldern, auf denen Nanotechnologie einen wichtigen Beitrag leisten kann (Arbeitsplätze, Umwelt, Gesundheit u.a.);
 - zu Kriterien für einen verantwortungsvollen Umgang mit der Nanotechnologie;
 - zu geeigneten Prüfverfahren zur Beurteilung der Risikopotenziale;
 - zu notwendigen Maßnahmen auf dem Gebiet der Standardisierung, Regulierung, Gesetzgebung u.ä.;
 - zur Organisation der Risikokommunikation, zu Maßnahmen zur Stärkung von Transparenz und Zugang zu Informationen, zu Stand und Ergebnissen der Forschung auf dem Gebiet der Nanotechnologie;
 - zu Koordination von Maßnahmen auf dem Gebiet der Bürgerinformation, des Bürgerdialogs und von Maßnahmen auf dem Feld von Bildung und Qualifizierung.
2. Einrichtung einer dauernden unabhängigen Nano-Institution (Nano-Rat) mit ausreichenden finanziellen und personellen Ressourcen (Geschäftsstelle) zur Umsetzung der Empfehlungen der Nano-Kommission. Hier können weitere Kriterien für den zukünftig verantwortungsvollen Umgang mit der neuen Technologie entwickelt werden, z. B. Strategien für einen angemessenen Umgang mit dem Nicht-Wissen und Unsicherheiten oder die Entwicklung einer Nano-Verträglichkeitsprüfung.

7 Weitere Informationen, Adressen

Zivilgesellschaft

- Auf unserer Internetseite <http://www.bund.net> finden Sie weitere Informationen über die Nanotechnologie und können diese und andere Publikationen des BUND zum Thema kostenlos bestellen.
- Unser Partnerverband Friends of the Earth Australia informiert umfassend über das Thema Nanotechnologie (engl.): <http://nano.foe.org.au/>
- Verbraucherzentrale Bundesverband: Der Verbraucherzentrale Bundesverband e.V. (vzbv) ist die Dachorganisation der 16 Verbraucherzentralen der Länder. Der VzBv beteiligt sich am NanoDialog der Bundesregierung und hat verschiedene Publikationen zum Thema Nanotechnologie veröffentlicht: <http://www.vzbv.de/>
- Die Umweltbeauftragten der Evangelischen Kirche haben sich mit den ethischen Aspekten der Nanotechnologie beschäftigt und dazu eine eigene Stellungnahme herausgegeben: <http://www.ekd.de/akzente14.pdf>
- Die Umwelt- und Frauenorganisation Women in Europe for a Common Future hat ein Positionspapier zum Thema Nanotechnologie erarbeitet (engl.): http://www.wecf.eu/download/2008/WECF_Nano_Position_Paper1.pdf

Produktübersicht

Obwohl es noch keine gesetzlichen Regulierungen zur Kontrolle der Nanotechnologie gibt, steigt die Zahl der Alltagsprodukte, die Nanomaterialien enthalten, rasant. Die Datenbank des Woodrow Wilson Center gibt einen Überblick über die Bandbreite der Anwendungen (engl.):

<http://www.nanotechproject.org/inventories/consumer/>

Wissenschaft

- Die Britische Royal Commission on Environmental Pollution hat kürzlich einen umfassenden Bericht veröffentlicht, der auf die großen Wissenslücken zu den Umwelt- und Gesundheitswirkungen von Nanomaterialien hinweist (engl.): <http://www.rcep.org.uk/novelmaterials.htm>
- Die Britische Royal Academy gehörte zu den ersten großen wissenschaftlichen Institutionen, die vor den Gefahren von Nanomaterialien gewarnt haben (engl.): <http://www.nanotec.org.uk/index.htm>
- Die Website <http://www.nanopartikel.info/> informiert über Vorgehensweise und Ergebnisse des deutschen NanoCare Forschungsprogramms.

Politik und Behörden

- Das Bundesumweltministerium informiert auf seiner Internetseite über Chancen und Risiken der Nanotechnologie: http://www.bmu.de/gesundheit_und_umwelt/nanotechnologie/aktuell/37643.php
- Die Ergebnisse der NanoKommission der Bundesregierung, an der sich auch der BUND beteiligt hat, finden Sie unter: http://www.bmu.de/gesundheit_und_umwelt/nanotechnologie/nanodialog/doc/42655.php

Die Erde braucht Freundinnen und Freunde

Der BUND ist ein Angebot: an alle, die unsere Natur schützen und den kommenden Generationen die natürlichen Lebensgrundlagen erhalten wollen. Zukunft mitgestalten - beim Schutz von Tieren und Pflanzen, Flüssen und Bächen vor Ort oder national und international für mehr Verbraucherschutz, gesunde Lebensmittel und natürlich den Schutz unseres Klimas.

Der BUND ist dafür eine gute Adresse. Wir laden Sie ein, dabei zu sein.

Ich will mehr Natur- und Umweltschutz

Bitte (kopieren und) senden an:

**Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V.,
Friends of the Earth Germany, Am Köllnischen Park 1, 10179 Berlin**

Ich möchte

- ... mehr Informationen über den BUND
 ... Ihren E-Mail-Newsletter _____

Ich will den BUND unterstützen

Ich werde BUNDmitglied

Jahresbeitrag:

- Einzelmitglied (ab 50 €)
 Familie (ab 65 €)
 SchülerIn, Azubi,
StudentIn (ab 16 €)
 Erwerbslose, Alleinerziehende,
KleinrentnerIn (ab 16 €)
 Lebenszeitmitglied (ab 1.500 €)

Wenn Sie sich für eine Familienmitgliedschaft entschieden haben, tragen Sie bitte die Namen Ihrer Familienmitglieder hier ein. Familienmitglieder unter 25 Jahren sind automatisch auch Mitglieder der BUNDjugend.

Name, Geburtsdatum

Name, Geburtsdatum

Ich unterstütze den BUND
mit einer Spende

- Spendenbetrag €
 einmalig
 jährlich

Um Papier- und Verwaltungskosten zu sparen, ermächtige ich den BUND, den Mitgliedsbeitrag/die Spende von meinem Konto abzubuchen. Diese Ermächtigung erlischt durch Widerruf bzw. Austritt.

Name

Vorname

Straße, Hausnummer

PLZ, Ort

Kreditinstitut

Bankleitzahl

Kontonummer

E-Mail, Telefon

Datum, Unterschrift

Ihre persönlichen Daten werden ausschl. für Vereinszwecke elektronisch erfasst und - ggf. durch Beauftragte des BUND e.V. - auch zu vereinsbezogenen Informations- und Werbezwecken verarbeitet und genutzt. [ABA106]

