

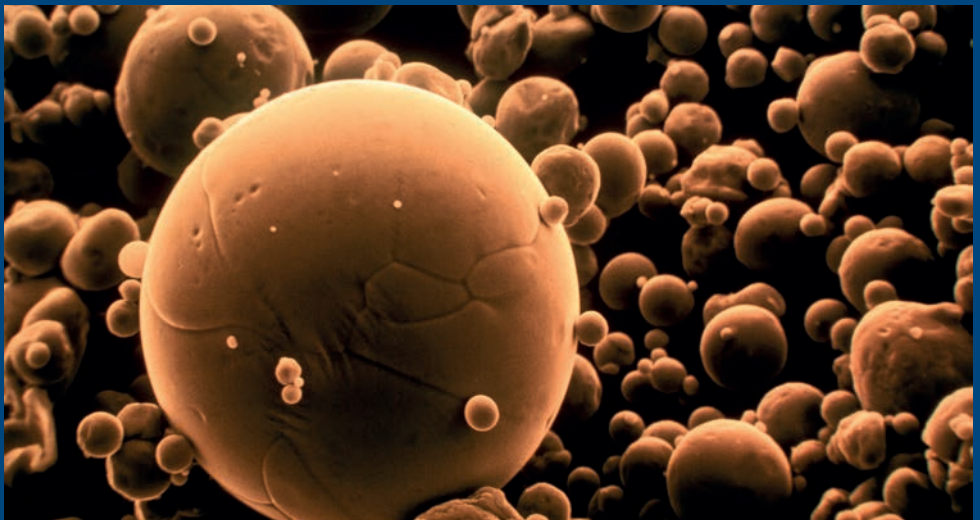
NOVA ACTA LEOPOLDINA

Neue Folge | Band 114 | Nummer 392

Nano im Körper

Chancen, Risiken und gesellschaftlicher Dialog
zur Nanotechnologie in Medizin, Ernährung
und Kosmetik

Wolfgang Heckl (Hrsg.)



Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina –
Nationale Akademie der Wissenschaften, Halle (Saale) 2012

Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Stuttgart



NOVA ACTA LEOPOLDINA

Abhandlungen der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina

Herausgegeben von Jörg HACKER, Präsident der Akademie

NEUE FOLGE

NUMMER 392

BAND 114

Nano im Körper

Chancen, Risiken und gesellschaftlicher Dialog zur Nanotechnologie in Medizin, Ernährung und Kosmetik

Akademiensymposium

Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina –
Nationale Akademie der Wissenschaften
acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften
Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften
(für die Union der deutschen Akademien der Wissenschaften)

am 9. November 2010 in München

Herausgegeben von:

Wolfgang M. HECKL (München)

Mit 26 Abbildungen



**Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina –
Nationale Akademie der Wissenschaften, Halle (Saale) 2012
Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Stuttgart**

Redaktion: Dr. Michael KAASCH und Dr. Joachim KAASCH

**Die Schriftenreihe Nova Acta Leopoldina erscheint bei der Wissenschaftlichen Verlagsgesellschaft Stuttgart, Birkenwaldstraße 44, 70191 Stuttgart, Bundesrepublik Deutschland.
Jedes Heft ist einzeln käuflich!**

Die Schriftenreihe wird gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung sowie das Ministerium für Wissenschaft und Wirtschaft des Landes Sachsen-Anhalt.

Einbandbild:
Nanopartikel (hier aus Titandioxid) in einer Falschfarbenaufnahme.
© BRAMAZ / ISM / AGENTUR FOCUS

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Die Abkürzung ML hinter dem Namen der Autoren steht für Mitglied der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina.

Alle Rechte einschließlich des Rechts zur Vervielfältigung, zur Einspeisung in elektronische Systeme sowie der Übersetzung vorbehalten. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne ausdrückliche Genehmigung der Akademie unzulässig und strafbar.

© 2012 Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina e. V. – Nationale Akademie der Wissenschaften
Postadresse: Jägerberg 1, 06108 Halle (Saale), Postfachadresse: 110543, 06019 Halle (Saale)
Hausadresse der Redaktion: Emil-Abderhalden-Straße 37, 06108 Halle (Saale)
Tel.: +49 345 47239134, Fax: +49 345 47239139,
Herausgeber: Prof. Dr. Dr. h. c. mult. Jörg HACKER, Präsident der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina – Nationale Akademie der Wissenschaften
Printed in Germany 2012
Gesamtherstellung: Druck-Zuck GmbH Halle (Saale)
ISBN: 978-3-8047-3058-8
ISSN: 0369-5034
Gedruckt auf chlorfrei gebleichtem Papier.

Inhalt

HEUBISCH, Wolfgang: Rede des Bayerischen Staatsministers für Wissenschaft, Forschung und Kunst	7
STOCK, Günter: Grußwort des Präsidenten der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften	9
GLEITER, Herbert: Grußwort des Sekretars der Klasse I der Leopoldina	13
HECKL, Wolfgang M., und WEITZE, Marc-Denis: „Nano ja, aber nicht zu nah“ – Einleitung	17
Nanotechnologie in Medizin, Ernährung und Kosmetik	
FARKAS, Robert, und SCHMITZ-RODE, Thomas: Nanotechnologie pro Gesundheit: Technologievorschau im Rückblick	25
VILGIS, Thomas: Molekulargastronomie – Geschmack – Nano im Buffet?	29
GROBE, Antje: Nanomaterialien in Lebensmitteln: Gerüchteküche, Zukunftsvisionen und reale Anwendungen	43
IDEN, Rüdiger: Nanomaterialien in der Kosmetik – Nano am Körper?	53
Beiträge zu Risiko und Kommunikation	
RENN, Ortwin, und GROBE, Antje: Zukunft braucht Dialog – Dialog schafft Zukunft: Die Debatte um Nanotechnologien	63
THIER-KUNDKE, Jürgen: Nanotechnologie: Risikobewertung, Risikowahrnehmung und Risikokommunikation aus der Sicht des gesundheitlichen Verbraucherschutzes	83
SCHMID, Gerhard: Das Risikoprofil der Nanotechnologie aus Sicht der Munich RE	93
Umgang mit Nanotechnologien	
CATENHUSEN, Wolf-Michael: Verantwortlicher Umgang mit Nanotechnologien – Ziele, Arbeitsweise und Ergebnisse der Arbeit der NanoKommission der Bundesregierung	103
HÄUSER, Sarah: Auf eigene Gefahr – Nano in Verbraucherprodukten	109

BÜNING, Monika: Nano in Verbraucherprodukten. Verbraucherpolitische Forderungen und Erwartungen	115
CATERBOW, Alexandra, und MÖLLER, Doris: Nano – das große Unbekannte	119
Dokumentation	
GRUGEL, Christan: Kommentar	131
Rapports aus den Workshops	
– BECKER, Katja: Medizin	135
– GAUB, Hermann E.: Ernährung	137
– FUCHS, Harald: Kosmetik	139
Programm	
Nano im Körper. Chancen, Risiken und gesellschaftlicher Dialog zur Nanotechnologie in Medizin, Ernährung und Kosmetik	141

Rede des Bayerischen Staatsministers für Wissenschaft, Forschung und Kunst

Wolfgang HEUBISCH (München)

Mit dem Akademie-Symposium „Nano im Körper“ widmen wir uns heute einem Thema, das in der Öffentlichkeit zunehmend diskutiert wird: Wie wirken sich Nanoteilchen im menschlichen Körper aus? Es ist wichtig, seitens der Wissenschaft *und* der Politik

- die Chancen der Nanotechnologie zu erläutern – gerade in Bereichen, die den Menschen besonders nahe liegen: Medizin, Ernährung und Kosmetik,
- frühzeitig auf **Besorgnisse und Fragen** der Bevölkerung einzugehen
- und sachlich über etwaige **Risiken** zu informieren.



Abb. 1 Grußwort von Wolfgang HEUBISCH, dem Bayerischen Staatsminister für Wissenschaft, Forschung und Kunst (Quelle: acatech / Thomas DASHUBER)

Wir brauchen in unserem Land ein forschungsfreundliches Klima sowie Interesse und **Aufgeschlossenheit** für neue Technologien. Wir brauchen ein gesellschaftliches Umfeld, in dem die **Freiheit** des Denkens und Forschens nicht durch ideologische Schranken unnötig eingengt wird. Nur überall da gut sein zu dürfen, wo wir uns auf vermeintlich sicherem Terrain befinden bzw. wo die Chancen maximal sicher und die Risiken minimal erscheinen: Diese Rechnung geht nicht auf! Wir müssen vielmehr in neuen Dimensionen denken und Entwicklungschancen nutzen.

Deshalb ist es so wichtig, gerade **junge Leute** für Forschung und neue Technologien zu **interessieren** und bei ihnen dazu eine durchaus kritische, aber **aufgeschlossene Haltung** zu bilden. Die **Wettbewerbsfähigkeit** unseres Landes und damit unser künftiger Wohlstand hängen maßgeblich davon ab, den Nachwuchs in Naturwissenschaft und Technik nachhaltig zu sichern – in der Wissenschaft und in der Wirtschaft.

Gut, dass sich bei uns verschiedene Institutionen und Initiativen um die **Nachwuchsförderung** kümmern. Es ist naheliegend, heute dabei in erster Linie an den Veranstaltungsort zu denken: das Zentrum Neue Technologien im **Deutschen Museum**. Ich weiß, sehr geehrter Herr Professor HECKL, dass Ihnen diese Aufgabe ganz besonders am Herzen liegt. Und auch der Cluster Nanotechnologie, der im Rahmen der Cluster-Offensive der Bayerischen Staatsregierung ins Leben gerufen wurde und von Herrn Professor FORCHEL von der Universität Würzburg geleitet wird, widmet sich in besonderem Maße unserem Nachwuchs. Zudem organisiert und verstärkt der Cluster den **Transfer des Know-how** von den Hochschulen und Forschungsinstituten in – vor allem kleine und mittlere – Unternehmen.

Für die Zukunftsfähigkeit Bayerns ist es entscheidend, hervorragende wissenschaftliche Kompetenzen mit den Anwendern effizient zu vernetzen. Denn wir schaffen unserer Wirtschaft damit einen **Wettbewerbsvorteil** in diesem High-Tech-Segment. Die Forschung im Bereich der Nanotechnologie ist eine besondere Stärke unserer Hochschulen und Forschungseinrichtungen. Rund 100 Lehrstühle und Institute in Bayern arbeiten an diesen Themen – häufig in regionalen oder thematischen Verbänden. Ein international herausragendes Beispiel ist das **Center for NanoScience**. Forscherinnen und Forscher der Ludwig-Maximilians-Universität München aus den Bereichen Physik, Chemie, Biophysik und Medizin haben das Netzwerk bereits im Jahr 1998 gegründet. Der Erfolg des Clusters „Nanosystems Initiative Munich“ [NIM] in der ersten Runde der Exzellenzinitiative belegt, wie wissenschaftlich herausragend hier gearbeitet wird.

Bei all den positiven Entwicklungen und Erfolgen ist klar: Damit die Nanotechnologie ihr innovatives Potenzial in neuen Produkten und Verfahren entfalten kann, braucht sie die Akzeptanz in der Bevölkerung. Gesellschaftlicher **Dialog** und kritische **Diskussion** sind dazu unerlässlich. Dies unterstreicht die Bedeutung des heutigen Symposiums. Dazu wünsche ich Ihnen interessante Vorträge und Workshops sowie gute Begegnungen und Gespräche.

Dr. Wolfgang HEUBISCH
Bayerisches Staatsministerium
für Wissenschaft, Forschung und Kunst
Salvatorstraße 2
80333 München
Bundesrepublik Deutschland

Grußwort

Günter STOCK (Berlin)

Präsident der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften

Sehr geehrter Herr Staatsminister HEUBISCH,
sehr geehrter, lieber Herr Professor HECKL,
meine sehr verehrten Damen und Herren,

ich darf Sie im Namen der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina – Nationale Akademie der Wissenschaften, der acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften und der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften für die Union der deutschen Akademien der Wissenschaften sehr herzlich zu diesem Akademiensymposium begrüßen, welches den Titel trägt: *Nano im Körper. Chancen, Risiken und gesellschaftlicher Dialog zur Nanotechnologie in Medizin, Ernährung und Kosmetik.*



Abb. 1 Begrüßung durch Günter STOCK, den Präsidenten der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften (Quelle: acatech / Thomas DASHUBER)

Dass die Nanotechnologie *die* Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts ist, ist mittlerweile – übrigens in bemerkenswert kurzer Zeit – zu einem Allgemeinplatz geworden, der den Vorzug hat, dass er stimmt. Ein Vorteil hierbei ist, dass Deutschland auf diesem Forschungsgebiet außerordentlich stark ist. Was den Bereich der nanomedizinischen Anwendung angeht, liegt Deutschland im europäischen Umfeld an der Spitze und weltweit hinter den USA auf Platz zwei.

Fünfzig Prozent aller europäischen Unternehmen, die sich mit dem Thema Nanotechnologie in der Medizin beschäftigen, haben ihren Sitz in Deutschland. Daher haben wir allen Grund, uns mit dieser Technologie gerade im Bereich der Medizin und im erweiterten Bereich der Gesundheit, zu dem auch Ernährung und Kosmetik gehören, intensiv auseinanderzusetzen.

Warum sollten alle drei großen Akademien eine derartige Veranstaltung durchführen? Nun, beim Thema ‚Nano‘ handelt es sich zunächst einmal um ein naturwissenschaftliches, ein technisches Thema und dessen verschiedene Anwendungsmöglichkeiten – wenn es um Nanomedizin geht, sind natürlich die Lebenswissenschaften in einem ganz starken Maße involviert und tangiert. Als „enabling technology“ bleibt die Nanotechnologie für ihre Nutzer zwar oft unsichtbar, schon bald aber wird sie Produkte und Verfahren fast aller Technologien entscheidend befruchten und teils revolutionieren.

Verbunden mit der Nanotechnologie gibt es zahlreiche Debatten, die eine Reihe von Disziplinen wie Recht, Ethik, Sozialwissenschaften und andere berühren. Deshalb ist die Nanotechnologie *par excellence* für eine inter- und transdisziplinäre Herangehensweise geeignet, denn nur sie gestattet es, dieses komplexe Thema in umfassender Weise auszuleuchten – eine Aufgabe, die am ehesten von Akademien der Wissenschaften ganz unterschiedlicher Prägung und unterschiedlichen Typs bewältigt werden kann.

Die Leopoldina, acatech und die Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften stellen sich dieser Herausforderung (!) – eine Herausforderung, die ihrerseits dadurch unterstrichen wird, dass auch die Bundesregierung erhebliche Mittel in diesen Bereich investiert und auch die Europäische Union im Rahmen des bis 2013 laufenden 7. Rahmenforschungsprogramms rund 100 Millionen Euro für Projekte der Nanomedizin bereitstellt.

„NanoforLife“ ist eine Initiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF), welches mit einem Fördervolumen von 24 Millionen Euro aussichtsreiche Forschungs- und Entwicklungsvorhaben für Anwendungen der Nanotechnologie im Gesundheitswesen fördert.

Die „Nano-Initiative – Aktionsplan 2010“ aus dem Jahre 2005 schuf erstmals einen einheitlichen und ressortübergreifenden Aktionsrahmen (Abstimmung des BMBF mit den Bundesministerien für Arbeit und Soziales, Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Verteidigung, Gesundheit sowie Wirtschaft und Technologie). Und in der Mitte dieses Jahres überarbeiteten Hightech-Strategie der Bundesregierung wird die Nanotechnologie als eine *der* Schlüsseltechnologien benannt, die Treiber für Innovationen und Grundlage für neue Produkte oder Verfahren sind. Die nationale und internationale Politik setzen also auf die Forschungs- und Standortförderung im Bereich Nanomedizin.

Meine Damen und Herren, all dies ist der Grund für unsere Akademien, sich dem Thema ‚Nano‘ zuzuwenden, das gleichermaßen wissenschaftliche, anwendungsbezogene, wissenschaftspolitische und förderpolitische Komponenten umfasst.

Mit Hilfe der Nanotechnologie ist es nicht nur möglich geworden, neue Testmethoden zu etablieren, sondern es werden gerade im Bereich der Medizin auch neue Produkte geschaffen,

die es in dieser Form bisher nicht gab. Wenn wir heute Arzneimittelentwicklung betreiben, dann tun wir dies in der pharmazeutischen Industrie mit minimalen Probenvolumina und in einer automatisierten, ja fast industriellen Weise sieben Tage und 24 Stunden lang: Hochdurchsatzscreening ist der Terminus technicus.

Der Vorteil ist, dass kleinste Probenmengen verwendet werden können, so dass sowohl – wenn man mit gesundheitsschädigenden Lösungen arbeitet – Risiken als auch vor allem Kosten deutlich minimiert und durch die parallele Prozessierung Zeit gespart werden kann: also Technologieunterstützung.

Ein zweites Anwendungsbeispiel sind Produkte für die Diagnose, aber auch für die Therapie, die sich heute entweder schon auf dem Markt oder in Phasen der späten Entwicklung befinden. Die EMEA, die europäische Zulassungsbehörde, hat bereits 2006 (!) in einem eigens angefertigten Papier „Reflection paper on nanotechnology-based medicinal products for Human Use“ festgestellt, dass es in der Nanobiotechnologie keine speziellen Risiken gibt, die etwa mit anderen Methoden zu untersuchen wären, als dies gängigerweise heute mit Arzneimitteln geschieht. Das bedeutet, wir haben durch die entsprechende Zulassungsbehörde eine wirkliche Unterstützung erfahren, in dem diese sich bereits sehr früh mit Sicherheitsfragen der neuen Technologie auseinandergesetzt hat.

Im Bereich der Diagnose wird momentan mit nanotechnologischen / nanobiotechnologischen Methoden daran gearbeitet, Erkrankungen wie Alzheimer, Multiple Sklerose oder auch rheumatoide Arthritis mit ganz neuen Methoden zu diagnostizieren und zu therapieren: Dabei werden nanopartikelbasierte Kontrastmittel, aber auch Polymerkapseln eingesetzt, mit denen auch Chemotherapeutika in kranke Zellen bzw. direkt in den Tumor gebracht und dann mittels eines Laserimpulses freigesetzt werden. Es handelt sich also um spezifische Wirkstofftaxi, die dort, wo sie appliziert werden sollen, durch einen äußeren Impuls ihre Ladung freigeben. Wichtig ist auch, dass Nanopartikel die Blut-Hirn-Schranke überwinden können. Auf diese Weise entsteht eine wichtige Ergänzung für die Therapie von Gehirntumoren. Durch die Ummantelung von Proteinen, die wir für die Therapie benötigen, wie z. B. Insulin, können diese durch solche Applikationen in der Tat oral verabreicht werden und müssen nicht injiziert werden: All dies sind Entwicklungen, die aus der Nanomedizin und der Nanobiotechnologie nicht mehr wegzudenken sind. Schließlich möchte ich noch auf die „Gentaxis“ für die Genterapie verweisen, eine Therapieform, die ja in den letzten Jahren einen nicht mehr ganz so großen Hype ausgelöst hat wie noch vor zehn Jahren, aber die mit Sicherheit ihren Stellenwert in der Medizin finden wird. Auch hier sind natürlich spezifische Transportmechanismen erforderlich, und in diesem Zusammenhang sind Nanopartikel quasi als ‚Taxis‘ dringend gefragt.

Meine sehr verehrten Damen und Herren, mit diesen kurzen einführenden Worten habe ich – so denke ich – deutlich gemacht, welchen Stellenwert diese moderne Technologie insgesamt, aber auch gerade im Bereich der Gesundheit hat.

Wir sind deswegen als Vertreter der beteiligten Akademien der Wissenschaften außerordentlich dankbar, dass wir mit diesem Akademiensymposium zu Gast im Deutschen Museum in München sein dürfen, das ja seit über einhundert Jahren ein weltweit herausragender Ort ist, mit dem sich wissenschaftlicher und technologischer Fortschritt und dessen Kommunikation in hervorragender Weise verbinden.

Dankbar sind wir vor allem aber auch den Referentinnen und Referenten dieser Tagung, die unserer Einladung gefolgt sind, um im Kontext dieses interdisziplinären Akademiensymposiums dazu beizutragen, dass die Nanotechnologie bekannter wird und dass wir durch

Günter Stock

öffentliche Dialoge, klare Informationsübermittlung und Offenlegung dessen, was wir tun – Stichwort Transparenz –, Vertrauen in diese Technologie insbesondere dort schaffen, wo dieses zur Zeit noch nicht gegeben ist.

Prof. Dr. Günter Stock
Präsident
Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften
Jägerstraße 22/23
10117 Berlin
Bundesrepublik Deutschland

Grußwort

Herbert GLEITER ML (Karlsruhe)

Sekretar der Klasse I der Leopoldina

Die Geschichte der Technik und der Naturwissenschaften lehrt, dass bei vielen Entwicklungen zwei aufeinanderfolgende Phasen unterscheidbar sind: Eine erste Phase, die durch eine nicht vorhersehbare Beobachtung oder Erfindung charakterisierbar ist. Diese Beobachtung/Erfindung wurde dann in einer darauf folgenden zweiten Phase durch (meist zahlreiche) Einzelbeiträge soweit erforscht und verfeinert, dass sie sich zu einem neuen Gebiet der Technik und/oder der Naturwissenschaften entwickelte.

Die Erfindungen des Transistors und die darauf aufbauende Halbleitertechnologie, die Entdeckung der elektromagnetischen Wellen und die sich daran anschließend entwickelnde drahtlose Telekommunikation, die Erfindung des Benzin- bzw. Dieselmotors und die daraus resultierenden Auto-, Flug- und Schifffahrtentwicklungen sind Beispiele aus der neueren Zeit. Jedoch sind auch schon in der frühen Geschichte der Menschheit derartige „Entwicklungsschübe“ erkennbar: Die Entdeckung der Metalle und die sich daran anschließenden Entwicklungen, die Entdeckung der Navigation mit Hilfe der Gestirne und ihre Bedeutung für die Seefahrt. Vergleichbares gilt für den Straßenbau, den Ackerbau, die Kartographie, die Geschichtsschreibung und andere Gebiete.

Auch bei den bisherigen Entwicklungen im noch jungen Bereich der Nanowissenschaften/Nanotechnologie ist der oben genannte zweiphasige Verlauf schon heute erkennbar. Das wohl bekannteste Beispiel dafür ist die Entdeckung und die technische Verwertung des „Giant Magneto Resistance (GMR)“-Effekts. In der ersten Entwicklungsphase des GMR-Effekts konzentrierten sich die Arbeiten auf rein grundlagenorientierte Untersuchungen zur Frage der Transportvorgänge in ferromagnetischen/nicht-ferromagnetischen Schichtenstrukturen, deren Schichtdicke im Bereich weniger Nanometer lag. Selbst als die Beobachtungen und das grundsätzliche physikalische Verständnis des GMR-Effekts erarbeitet waren, ja sogar noch, als die Grundlagenpatente zu diesem Effekt bereits erteilt waren, schien für mehrere Industriefirmen, denen der Effekt zur technischen Nutzung angeboten worden war, das technische Potenzial dieses Effekts noch nicht erkennbar. Es war letztlich die Weitsicht von wenigen Persönlichkeiten aus der Industrieforschung in den USA, die dieses Potenzial einschätzen konnten. Diese Einschätzung war dann der entscheidende Schritt, der dazu führte, dass durch die Nutzung des Effekts die Technologie der Datenspeicherung auf ein neues Niveau gehoben werden konnte.

Vergleichbare Entwicklungsverläufe lassen sich in anderen Feldern der Nanowissenschaften/Nanotechnologie erkennen: Entdeckung, Erforschung und Prüfung der technischen

Verwendbarkeit von Stoffen mit nanometerskaliger Struktur, z. B. von Nanoröhrchen, Fullerenen, nanokristallinen Metallen und Keramiken, nanostrukturierten Oberflächenbeschichtungen, Stoffen mit selbstorganisierten Nanostrukturen usw.

Darüber hinaus ist heute auch schon eine weitere Entwicklung erkennbar, die zumindest eine ihrer Wurzeln in den Nanowissenschaften hat: Diese Entwicklung ist charakterisiert durch die Anwendung von Methoden und/oder von Verfahren, die in den Nanowissenschaften benötigt und erarbeitet wurden und die sich neuerdings für andere Wissenschaftsgebiete als sehr nützlich erwiesen haben. Beispiele dafür sind die modernen Rastersondenmethoden zur Oberflächenuntersuchung, der Einsatz von Nanoteilchen als Sonden und/oder Träger chemischer Substanzen zur lokalen Diagnose und/oder Therapie in der Medizin und Molekularbiologie oder die Verwendung von Nanoteilchen zur Prüfung der Gültigkeitsgrenzen der Quantenphysik in großen Systemen. Auch diese Übertragung von Methoden aus den Nanowissenschaften auf andere Felder der Wissenschaft und Technik hat ihre historischen Analogien in anderen Bereichen von Wissenschaft und Technik. Beispielsweise ist die Kernspinresonanz eine Entwicklung der Kernphysik. Sie hat jedoch heute ihre Hauptanwendungen in der Medizin. Die Entdeckung der Röntgenstrahlung ist ein „Produkt“ der Gasentladungsphysik und wurde später z. B. für die Kristallographie ein unentbehrliches Werkzeug. Ähnliches gilt für die Radioaktivität, die Quantenphysik, die Polymerchemie etc.

Die beiden Folgerungen, die sich unserer Ansicht nach daraus für die Nanowissenschaft und die Nanotechnologie zu ergeben scheinen, sind folgende:

- Die derzeit bereits existierenden, zahlreichen Initiativen und Aktivitäten in der Bundesrepublik im Gebiet der Nanowissenschaften/Nanotechnologie (z. B. Nationale NanoKommission, Bürger-Dialog Nano-Care, Bürger-Dialog in Kooperation mit dem Deutschen Hygiene Museum, Verbraucher-Konferenz, Hessen Dialog: „nano“, Nanotechnologie für Verbraucher, Nanotechnologie im Lebensmittelbereich des Spitzenverbands der Lebensmittelindustrie, OECD-Datenbasis: „Safety of Manufactured Nanomaterials“, Sammelband: Nanoelektronik von acatech, Aktionsplan Nanotechnologie 2015 – Drucksache 17/44 85 des Deutschen Bundestags, EASAC-JRC Reference Policy Report March 2011: Nanomaterials and Health etc.) lassen es nicht empfehlenswert erscheinen, weitere zusammenfassende Betrachtungen zu offenen Sachfragen aus dem Gebiet der Nanowissenschaften/Nanotechnologie zu erstellen.
- Viele der eben genannten Initiativen kommen zu dem Schluss, dass die Nanowissenschaft und die Nanotechnologie bei der langfristigen Entwicklung in vielen Bereichen, wie beispielsweise in der Energieversorgung, in der Medizin, in der Kommunikationstechnik, in der Entwicklung neuer Materialien usw., eine wichtige Rolle spielen werden. Die wichtigste Voraussetzung dafür, dass Deutschland im Gebiet der Nanowissenschaften und der Nanotechnologie weiterhin eine weltweit führende Rolle behält, scheint zu sein, dass man sich sowohl im Bereich der Grundlagenforschung (z. B. dokumentiert durch viel zitierte Publikationen, die Neuentwicklungen angeregt haben) als auch im Gebiet der technischen Anwendung (z. B. dokumentiert durch Patente und Patenterträge) nicht allein darauf konzentriert, das heute vorhandene Wissen auszubauen und zu fragen, welche Produkte damit herstellbar/verbesserbar sind und welche potenziellen Gefahren damit verbunden sein könnten. Im Gegenteil: Die Geschichte scheint zu lehren, dass langfristig nur jene Länder in den Nanowissenschaften und in der Nanotechnologie führend sein werden, die es schaffen, ein intellektuelles und ausstattungsmaßiges Umfeld zu schaffen, in dem heute

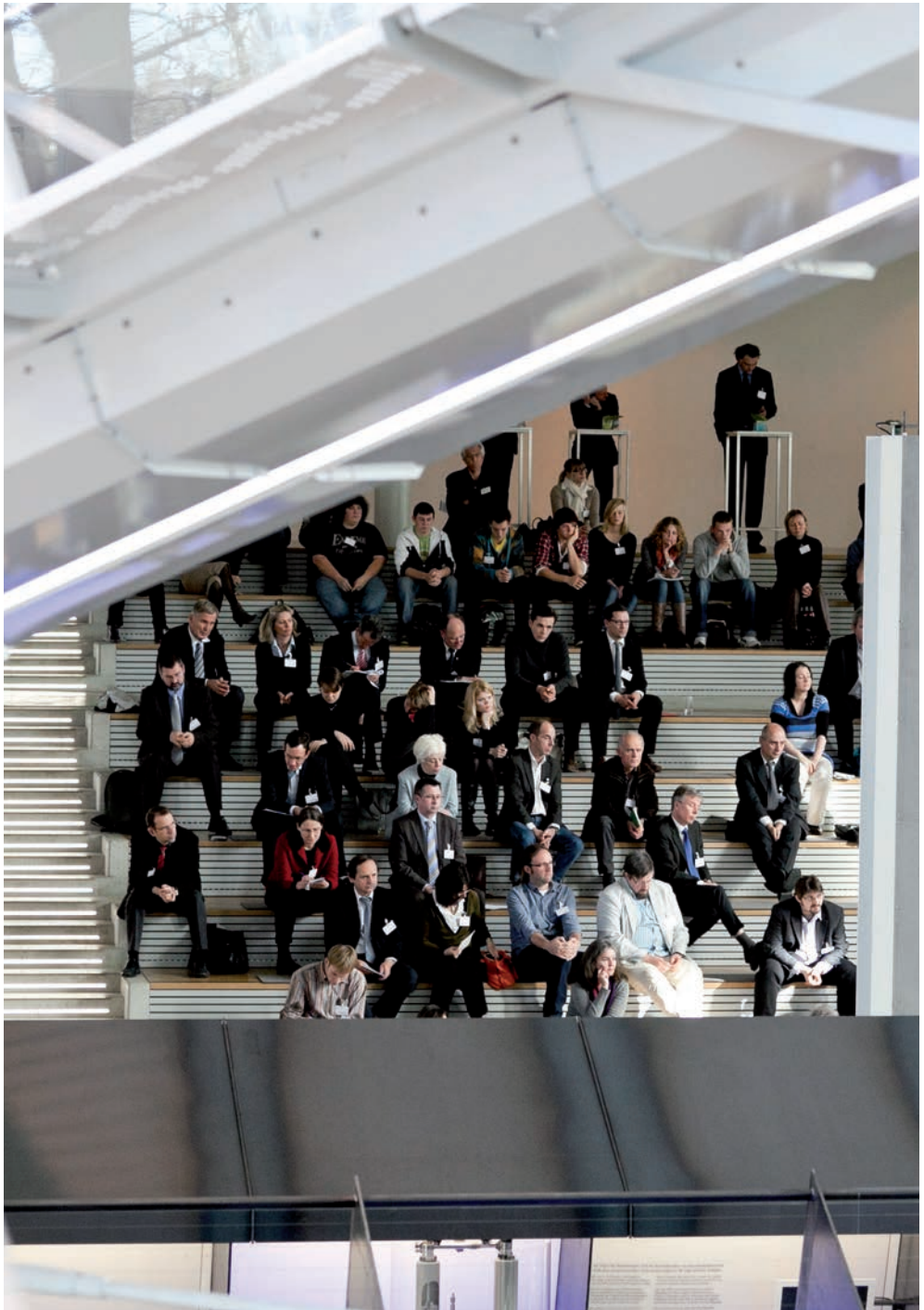
noch nicht erkennbare Ideen und Entwicklungen angeregt werden und in dem das technologische Potenzial derartiger Ideen/Entwicklungen rasch erkannt und zur Anwendungsreife geführt wird.

Die Tagung „Nano im Körper“ ist in ihrer Fragestellung und in ihrem Format so konzipiert, dass sie einen wichtigen Beitrag für die Schaffung eines solchen Umfeldes zu leisten vermag. Ähnlich wie in den meisten anderen relativ jungen Wissensgebieten (Gentechnik, Kerntechnik, Informationstechnik) gibt es auch in den Nanowissenschaften/Nanotechnologie Bedenken und Ängste in der Öffentlichkeit, die nicht dadurch abbaubar sind, dass man sie verdrängt oder nicht ernst nimmt. Die Geschichte lehrt, dass auf lange Sicht der einzige Weg, der bei neuen Technologien zu einer breiten Akzeptanz führt, der Weg der Aufklärung und des offenen Dialogs ist.

Die Tagung „Nano im Körper“ stellt einen wichtigen Beitrag in dieser Richtung dar, indem sie offen den vorhandenen und absehbaren Nutzen der Nanowissenschaften/Nanotechnologie darstellt, ohne die bei jedem menschlichen Handeln vorhandenen Gefahren und ihre Beherrschbarkeit zu verschweigen.

Angesichts des extrem breiten fachlichen Spektrums der Nanotechnologie erscheint die Konzentration der heutigen Tagung auf ein spezielles Gebiet der Nanotechnologie als notwendig und zweckmäßig.

Prof. Dr. Herbert GLEITER
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Institut für Nanotechnologie Karlsruhe
Postfach 6340
76021 Karlsruhe
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 721 608 26351
Fax: +49 721 608 26368
E-Mail: herbert.gleiter@kit.edu
Bundesrepublik Deutschland



Blick in das Auditorium (Quelle: acatech / Thomas DASHUBER)

„Nano ja, aber nicht zu nah“ –

Einleitung

Wolfgang M. HECKL und Marc-Denis WEITZE (München)

Nach Jahren intensiver und – zumal in Deutschland – äußerst erfolgreicher Forschung befinden wir uns nun in einer Phase, in der „Nano“-Produkte auf den Markt kommen: Tatsächlich gibt es bereits mehrere hundert Produkte, die synthetische Nanopartikel enthalten, also Teilchen mit Abmessungen im Bereich von Millionstel Millimetern. Tennis- und Golfschläger werden durch Nanozusätze im Kunststoff stabiler, Sonnencremes bieten mit Nanopartikeln aus Titandioxid einen besonders guten Schutz vor UV-Strahlung, Textilien wirken mit Silber-Nanoteilchen antimikrobiell, Lebensmittelverpackungen bleiben dank Nano länger frisch.

So hoch die Potenziale, so groß die Unsicherheiten. Nanoteilchen haben spezifische Stärken, bringen aber auch neue Risiken mit sich. Beispiel Nanomedizin: Hier stehen Visionen von winzigen Transportkapseln, die Medikamente zielgenau im Körper absetzen sollen, Fragen gegenüber, was mit den Nanopartikeln nach getaner Arbeit geschieht. Die winzigen Partikel können Zellmembranen durchdringen, sich möglicherweise in Organen anreichern oder im Atemtrakt Entzündungen hervorrufen.

Während etwa gentechnisch veränderte Lebensmittel als solche gekennzeichnet werden müssen, ist es für den Verbraucher derzeit nicht ersichtlich, ob er ein Produkt mit Nanozusätzen kauft. Könnte die Einführung eines Nanolabels hier Transparenz schaffen? Diese und andere Fragen der Nanoregulierung werden seit Jahren von Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Verbraucherverbänden diskutiert. Es fehlt aber schon an einer allgemein anerkannten Definition von „Nano“: Sollen Nanopartikel allein durch ihre Abmessungen definiert werden, oder ist – beispielsweise für eine toxikologische Bewertung – eher deren Funktion und Reaktivität relevant? Reichen die üblichen mengenbezogenen Definitionen von Schwellenwerten nach dem Grundsatz, dass die Dosis das Gift macht, bei „Nano“ aus? Oder muss man neben der Gewichtsmenge auch die Zahl und die Oberfläche der Teilchen als neue relevante Maßstäbe anlegen, da diese Maße die Reaktivität bestimmen?

„Nano“ diene im Forschungsraum als probater förderpolitischer Begriff, doch hinsichtlich Fragen der Produkteinordnung und des Verbraucherschutzes braucht es genauere Definitionen. Das stellt sich als schwierig heraus. Im Oktober 2011 hat die EU-Kommission einen Definitionsvorschlag für „Nanomaterial“ gemacht: „Nanomaterial“ means a natural, incidental or manufactured material containing particles, in an unbound state or as an aggregate or as an agglomerate and where, for 50% or more of the particles in the number size distribution, one or more external dimensions is in the size range 1 nm–100 nm. [...] By derogation [...], fullerenes, graphene flakes and single wall carbon nanotubes with one or more external

dimensions below 1 nm should be considered as nanomaterials.“¹ Das klingt zunächst plausibel, bietet jedoch verschiedene Ansatzpunkte für Kritik: Auch wenn in einer begleitenden Erläuterung betont wird „There is no consistent causal link between nano size alone and hazards“,² stellt diese Definition Partikel einer bestimmten Längenskala unter Generalverdacht. Eine scharfe Grenze wie 100 nm ist willkürlich. Wieso nicht 30 nm oder 500 nm? Wäre es nicht sinnvoller, einen Katalog risikorelevanter Materialeigenschaften zu entwickeln?

Wellen medialer Aufmerksamkeit

Tatsächlich hat es schon mehrere Wellen medialer Aufmerksamkeit gegeben, deren Ausgangspunkt weniger konkrete Gefahren waren als Stellungnahmen und Positionspapiere, in denen diese beschworen wurden: So wurde ein Hintergrundpapier „Nanotechnik für Mensch und Umwelt“ des Umweltbundesamtes, das im Oktober 2009 erschienen ist,³ von vielen Medien als Warnung vor der Nanotechnologie interpretiert: So hieß es am 21. Oktober 2009 „Riskanter Schokoriegel“ auf Seite 1 der *Süddeutschen Zeitung*, und auf *Spiegel online*: „Umweltbundesamt warnt vor Nanotechnologie.“ Nach ein paar Stunden der Recherche konnte dieses Online-Portal die Sache realistischer einschätzen: „Umweltamt relativiert Nano-Warnungen.“ In der *tageszeitung* vom 23. Oktober 2009 brachte es dann ein Bericht von Niels BOEING auf den Punkt: „Die Nanotechnik birgt einige Risiken. Das allerdings ist seit langem bekannt und nur die halbe Geschichte.“

Das Sondergutachten „Vorsorgestrategien für Nanomaterialien“ des Sachverständigenrats für Umweltfragen las sich zwei Jahr später ähnlich: Anlass für die Anwendung des Vorsorgeprinzips müsse bereits die vorliegende „abstrakte Besorgnis“ sein.⁴ Es wundert da kaum, wenn Öko-Verbände nicht nur mehr Transparenz fordern, sondern erstmal Nanomaterialien aus Lebensmitteln und Kosmetik ganz verbannen wollen, bis deren Ungefährlichkeit nachgewiesen ist. So ist die Verwendung von Nanoteilchen in vom Öko-Verband Naturland zertifizierten Lebensmitteln und Kosmetika verboten.

Das Akademiensymposium

Das acatech-Themennetzwerk Nanotechnologie beobachtet seit längerer Zeit die Diskussion um Chancen und Risiken der Nanotechnologie sowie die merkwürdige Situation, dass durch immer weitere Studien die Situation eher unübersichtlicher wird. Daher haben wir uns entschlossen, gemeinsam mit Leopoldina und Akademienunion, die Anwendungen in den Blick zu nehmen, die uns Menschen unmittelbar betreffen: In Medizin, Kosmetik und Ernährung rücken Nanotechnologien den Konsumenten buchstäblich zu Leibe. Es stellen sich viele Fra-

1 <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:275:0038:0040:EN:PDF>.

2 <http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=MEMO/11/704>.

3 <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/3765.html>.

4 „Das Vorsorgeprinzip ist insbesondere dann anwendbar, wenn wissenschaftliche Beweise nicht ausreichen, keine eindeutigen Schlüsse zulassen oder im Expertenstreit stehen, jedoch aufgrund einer vorläufigen und objektiven wissenschaftlichen Risikobewertung begründeter Anlass zur Besorgnis besteht, dass von einem Stoff, einem Produktionsverfahren oder einem Produkt möglicherweise gefährliche Folgen für die menschliche Gesundheit oder die Umwelt ausgehen.“ Sachverständigenrat für Umweltfragen: Vorsorgestrategien für Nanomaterialien (Sondergutachten), 2011, S. 32.



Abb. 1 (A) Moderation durch Wolfgang M. HECKL, Sprecher des acatech-Themennetzwerks Nanotechnologie und Generaldirektor des Deutschen Museums. (B) Blick in das Auditorium (Quelle: acatech / Thomas DASHUBER)

gen zu Chancen, Risiken und Problemlösungen: Was können wir uns von der Nanomedizin erhoffen? Wie wirken Nanomaterialien in Kosmetik? Wie schmeckt Nano – und ist es gesund? Müssen wir auch bei Verbraucherprodukten künftig den Beipackzettel lesen?

Als Ort für diese Themen erscheint das Zentrum Neue Technologien des Deutschen Museums besonders geeignet: Die im Jahr 2009 eröffnete Ausstellung zur Nano- und Biotechnologie vermittelt einen breiten Überblick über dieses Feld. An bestimmten Stellen finden sich fachlich tiefer gehende Exkurse zu besonders interessanten Themen. Zu gesellschaftspolitischen Fragen zeigen Medienstationen verschiedene Sichtweisen auf und sollen den Besuchern Argumente für ihre eigenen Antworten liefern. Um den Forschungsprozess unmittelbar zu vermitteln, gibt es in der Ausstellung verschiedene Labore: u. a. ein Mitmachlabor, in dem jeder selbst einmal (nano-)biologische Experimente mit DNA machen kann. Erstmals wurde ein neues Format im Deutschen Museum eingerichtet: das Gläserne Forscherlabor. Hier wird gezeigt, wie die aktuelle Forschung selbst geschieht. Wissenschaftler der Münchner Universitäten und des Deutschen Museums forschen dort buchstäblich unter den Augen der Öffentlichkeit (nämlich der Museumsbesucher) an aktuellen Fragestellungen der Nanotechnologie. Das sind dann „Wissenschaftler zum Anfassen“ – bereit zum Dialog zur eigenen Motivation und über die eigene Arbeit.

Übersicht der Beiträge in diesem Band

Auf dem Akademiensymposium wurden die Themenfelder Medizin, Ernährung und Kosmetik zunächst durch Vorträge im Plenum entwickelt. In weiteren Panels standen Aspekte der Risikokommunikation im Blickfeld und – nach einem molekulargastronomischen Mittagessen – Fragen des Umgangs mit der Nanotechnologie. Drei parallele Workshops vertieften dann – anhand weiterer Impulsvorträge – die Themen. In diesem Tagungsband sind die Beiträge thematisch gegliedert.

Nanotechnologie in Medizin, Ernährung und Kosmetik

Thomas SCHMITZ-RODE und Robert FARKAS werfen für eine Analyse des Verhältnisses von Nanotechnologie und Gesundheit zunächst den Blick auf eine Innovationsstudie aus dem Jahr 2002. Die Technologievorausschau im Rückblick benennt bereits wesentliche Aspekte von Forschung, Innovation und ethischen Implikationen.

Thomas VILGIS, der aus dem Symposium mit einem Experimentalvortrag zum molekulargastronomischen Buffet übergeleitet hat, hebt in seinem Beitrag die Bedeutung der Nanoskaligkeit für den Geschmack hervor und schlägt damit eine Brücke zwischen Materialphysik und Genuss. Antje GROBE verortet in ihrem Beitrag Nano-Anwendungen im Lebensmittelbereich zwischen Gerüchteküche, Zukunftsvisionen und Realität.

Nanomaterialien in der Kosmetik sind das Thema des Beitrags von Rüdiger IDEN, der Chancen und Herausforderungen in diesem Feld benennt. Tatsächlich finden sich in diesem Anwendungsfeld der Nanotechnologie die wesentlichen Kontroversen, welche die Nanotechnologie insgesamt betreffen.

Beiträge zu Risiko und Kommunikation

Es schließen sich drei Beiträge zu Risiko und Kommunikation an. Ortwin RENN und Antje GROBE betonen, dass bei den durchaus bereits weit fortgeschrittenen Debatten um Anwendungen der Nanotechnologie die Einschätzungen der Experten verschiedener Interessengrup-



Abb. 2 Thomas VILGIS (Max-Planck-Institut für Polymerforschung, Mainz, im Hintergrund) erläutert gemeinsam mit einem Koch die Prinzipien der Molekulargastronomie. (Quelle: acatech / Thomas DASHUBER)

pen stark divergieren. Für die Wahrnehmung der Nanotechnologie durch die Verbraucher bedeutet das: Der Verbraucher fühlt sich wenig informiert und ist verunsichert. Vertrauen in Akteure und Prozesse wird so zu einem zentralen Faktor. Eine Diskussion um Chancen und Risiken der Nanotechnologie tut gerade jetzt Not, so das Fazit von RENN und GROBE.

Jürgen THIER-KUNDKE beschreibt aus Sicht des Bundesinstituts für Risikobewertung Fragen der Nanotoxizität und der Risikokommunikation. Günther SCHMID entwickelt ein Risiko-profil aus Sicht eines Rückversicherers und plädiert für eine differenzierte Betrachtung, insbesondere hinsichtlich der Aktivität (also Beweglichkeit in der Umwelt) bzw. der Exposition für den Menschen und hinsichtlich der Produktionsmengen.

Umgang mit Nanotechnologien

Diese Beiträge spiegeln die Diskussion von Interessengruppen untereinander sowie von Verbraucher- und Umweltorganisationen. Zunächst fasst Wolf-Michael CATENHUSEN die Ergebnisse der NanoKommission zusammen, die als Dialog von Stakeholdern angelegt war.

Sarah HÄUSER fordert angesichts der herrschenden Unsicherheit eine nano-spezifische Regulierung mit dem Ziel der besseren Information der Verbraucher. Auch Monika BÜNING plädiert für eine Kennzeichnung von Nano in Verbraucherprodukten und für ein öffentliches Produktregister. Alexandra CATERBOW und Doris MÖLLER heben in ihrem Beitrag die Unwägbarkeiten und Risiken hervor und gehen noch weiter: Sie fordern u. a., dass alle Produkte für Kinder und Schwangere „nanofrei“ sein müssen, solange deren Gesundheitsrisiko nicht ausgeräumt sei.

Der abschließende dokumentierende Teil dieses Bandes umfasst einen Kommentar von Christian GRUGEL aus der Sicht des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz sowie die Berichte aus den Workshops.

Fazit

Es kann in dieser Debatte – so wie bei der Kommunikation neuer Technologien insgesamt – nicht einfach darum gehen, Verbraucher von den Segnungen der Nanoprodukte zu überzeugen. Vielmehr haben die Hersteller die Bedenken und Wünsche der Verbraucher zu beherzigen. Sonst könnte ein ähnliches Akzeptanzproblem wie bei der Grünen Gentechnik drohen. Die Akademien können solch einen Dialog um Innovationen begleiten und gestalten im Sinne einer Beratung von Politik und Gesellschaft.

Prof. Dr. Wolfgang M. HECKL
Generaldirektor
Deutsches Museum
Museumsinsel 1
80538 München
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 89 2179313
Fax: +49 89 2179425
E-Mail: generaldirektor@deutsches-museum.de

Dr. Marc-Denis WEITZE
Wiss. Referent
Bereich Projektzentrum
acatech – DEUTSCHE AKADEMIE
DER TECHNIKWISSENSCHAFTEN
Geschäftsstelle
Residenz München
Hofgartenstraße 2
80539 München
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 89 189574850
Fax: +49 89 5203099
E-Mail: weitze@acatech.de

Nanotechnologie in Medizin, Ernährung und Kosmetik

Nanotechnologie pro Gesundheit: Technologievorschau im Rückblick

Robert FARKAS und Thomas SCHMITZ-RODE (Aachen)

Zusammenfassung

Neben zahlreichen anderen Anwendungsfeldern wird gerade medizinischen Applikationen der Nanotechnologie oft ein großes Potenzial vorausgesagt. Die dazu vom Bundesforschungsministerium beauftragte Innovationsanalyse (2003) ergibt zahlreiche Prognosen und Einschätzungen. Die mit der Delphi-Methode befragten Experten erwarten den größten Innovationsschub zwischen 2005 und 2015, insbesondere in der Diagnostik/Analytik, dem *Drug Delivery* sowie beim Einsatz nanostrukturierter Oberflächen. Diagnose und Therapie der bedeutendsten Krankheitsbilder können davon profitieren. Wissenschaftliche Publikationen und Patente zum medizinischen Einsatz nanoskaliger Innovationen stammen überwiegend aus den USA und Europa, wobei auf dem Kontinent Deutschland eine führende Rolle einnimmt. Besonders große / technologiespezifische Risiken, die über das in der Spitzenmedizin stets gegebene Maß hinausgehen, sind weder gesundheitsökonomisch noch ethisch absehbar.

Abstract

Nanotechnology is supposed to have a substantial impact on future applications in diagnosis and therapy. The German Federal Ministry of Research and Education initiated a comprehensive analysis yielding a lot of predictions and evaluations for this field of innovation. Using a Delphi-survey the experts assumed the decade from 2005 to 2015 generating a lot of nanotechnological applications especially in diagnosis (analytics), drug delivery and nanostructured surfaces. They all have the potential to improve the medical care of the most widespread diseases. The analysis of scientific literature and patenting activities identified US and EU dominating worldwide while Germany takes the lead within Europe. Engaging nanoscale functions in medical devices no specific or particularly large risks neither economically nor ethically were assumed compared to high-tech medicine in general.

1. Einleitende Fragen

Im Rahmen einer breit angelegten Zukunftsorientierung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) stand 2002 neben ökonomischen und ökologischen Aspekten das Verhältnis der Nanotechnologie zur Gesundheit im Fokus des Interesses. In der dazu erarbeiteten Innovationsanalyse (FARKAS et al. 2003) ging es dabei nicht nur um eine Standortbestimmung zu den damals vorhandenen Anwendungen der Nanotechnologie in Diagnose, Therapie und Prävention, sondern auch um den Blick in die Zukunft. Welche nanoskaligen Wirkmechanismen werden wir uns in 5, 10 oder auch 15 Jahren in der Behandlung von Krankheiten und Einschränkungen zunutze machen können? Welche Rolle nimmt die deutsche Forschung und Entwicklung im internationalen Wettbewerb ein? Welche gesundheitsökonomischen Rahmenbedingungen werden die Umsetzungschancen medizinischer „Nano-Innovationen“

beeinflussen? Welche ethisch-sozialen Aspekte gilt es spezifisch dann zu berücksichtigen, wenn z. B. selbstorganisierende Partikel unter 100 nm am und im Körper appliziert werden?

Mithilfe von Patent-, Literatur-, Delphi- und gesundheitsökonomischen Analysen wurden diese Fragen bearbeitet und – nach Verdichtung der Resultate – einer Expertenrunde präsentiert, die sich den ethischen Implikationen widmete.

Die kurz gefassten Ergebnisse dieser Analysephasen dienen nun als thesenartige Impulse für die weiterführende Diskussion im „Medizin-Workshop“ des Akademiesymposiums 2010.

2. Thesen

2.1 Hauptanwendungsfelder einer „Nanotechnologie pro Gesundheit“

Übereinstimmend mit den globalen Forschungstrends werden die bedeutendsten Entwicklungspotenziale in der Diagnostik, insbesondere bei den Chip-basierten Systemen, im „Drug Delivery“ sowie den nanotechnologisch modifizierten Oberflächen bzw. den Nanomaterialien prognostiziert. Zukunftsentwicklungen in diesen Technologiesegmenten korrespondieren zudem mit volkswirtschaftlich ausgesprochen bedeutenden Feldern des Gesundheitswesens: Diagnose und Therapie von Infektionskrankheiten, Behandlung von Störungen des Herzkreislaufsystems sowie Krebsbekämpfung.

In der Delphi-Befragung erwarten die Experten den größten Innovationsschub in der Zeit zwischen 2005 und 2015, der in vielen Fällen bis 2020 zu einer allgemeinen Verbreitung der Technologien in der Versorgung führen könnte.

Diagnostik/Analytik. Vor allem spezifische Rezeptor-Ligand-Interaktionen auf allen Ebenen biologischer Makromoleküle, die zu dem noch mit innovativer Chip-Technologie kombiniert werden, charakterisieren das Potenzial der Nanotechnologie für die Diagnostik und Analytik. Damit eröffnen sich neue Möglichkeiten bei den bildgebenden Verfahren (z. B. durch spezifische Kontrastmittel), bei den multiparametrischen Hochdurchsatzanalysen oder auch bei neuartigen Signalgebern, z. B. den *Quantum Dots*.

Drug Delivery. Nanopartikel können als Träger von Wirkstoffen konfiguriert werden, die ihre Ladung nur am Wirkort freisetzen. Unerwünschte Nebenwirkungen ließen sich so erheblich reduzieren, z. B. bei der Krebsbehandlung mit Zytostatika oder auch bei der Bekämpfung von Infektionskrankheiten mit Antibiotika. Die Überwindung der Blut-Hirn-Schranke, die Anreicherung und Hyperthermie von Nanopartikeln in Tumoren, die nanoskalige Transportfunktion zur Übertragung von genetischem Material sowie komplexe organisch-anorganische Hybridsysteme sind weitere Beispiele für Zukunftsanwendungen in diesem Feld.

Nanostrukturierte Oberflächen/Nanomaterialien. Oberflächen, beispielsweise von Implantaten, die im Nanometerbereich strukturiert sind, zeigen spezifische Eigenschaften, mit denen die Gewebereaktion zielgerichtet moduliert werden kann. Dies kann z. B. die Standzeit einer Prothese oder auch die Degradation eines koronaren Stents beeinflussen. Die Anreicherung und Hyperthermie von Nanopartikeln in Zellen und Geweben stellt ein weiteres Beispiel für neuartige Materialien dar. Ein weiteres Beispiel sind innovative Dentalfüllstoffe.

2.2 Position von Forschung und Entwicklung in Deutschland

Im Jahr 2003 sahen unsere europäischen Nachbarn Deutschland im Themenfeld Nanotechnologie sehr aussichtsreich positioniert, wenn auch die Märkte in Europa im Vergleich zu Nordamerika sich noch kaum entwickelt hatten. Die Publikationsleistung als Maßstab der wissenschaftlichen Auseinandersetzung ist in Deutschland und Großbritannien besonders hoch und in Europa auf einem insgesamt vergleichbaren Niveau mit den USA. In der Anzahl der Patente übertrafen die USA jedoch den europäischen Raum um den Faktor zwei. Innerhalb Europas stammen die meisten nanotechnologischen Patente aus Deutschland.

2.3 Ethische Implikationen und Risiken

Entgegen der literarischen Perzeption sehen die Experten kaum Risiken in absehbaren Anwendungen nanoskaliger Innovationen im Gesundheitssektor. Gleiches gilt für mögliche Auswirkungen auf die Umwelt. Am ehesten sieht man Folgen von Frühdiagnosen und Zugangsbeschränkungen bei Versorgungsleistung als Problemfeld an. Diese Probleme sind allerdings weniger durch die Nanoskaligkeit bedingt als auf die Entwicklung einer hochtechnisierten Spitzenmedizin insgesamt zurückzuführen. Insofern nimmt eine „Nanomedizin“ im ethischen Diskurs keine Sonderstellung ein.

2.4 Kostenentwicklung und Nanotechnologie

Wird der Einzug nanotechnologischer Therapie- und die Diagnoseverfahren bezahlbar sein? Ähnlich wie bei den ethischen Implikationen reiht sich auch hier die Nanomedizin in die hochtechnisierte Medizin insgesamt ein. Für diese gilt allgemein: Kostenfolgen technologischer Innovationen sind insgesamt gering verglichen zu dem mit Personaleinsatz und Infrastruktur verbundenen Aufwand. Insofern können Einsparpotenziale erst und insbesondere dann erwartet werden, wenn neue Technologien auch zu einer Veränderung der Behandlungspfade führen. Gerade hier hat die Nanotechnologie nicht zuletzt auch über ihre Innovationen in der Datenverarbeitung ein erhebliches Potenzial.

3. Generelle Auswirkung auf das Innovationssystem

In der grundlegenden Auseinandersetzung mit nanoskaligen Strukturen und Funktionen, also auf molekularer und atomarer Ebene, verblässen die Grenzen wissenschaftlicher Fachdisziplinen zusehends. Dieser Trend zur Kooperation über Fachgrenzen hinweg muss sich auch in der Erforschung und Entwicklung konkreter medizinischer Anwendungen fortsetzen. Denn hier liegt ein Schlüssel zum Erfolg nanotechnologischer Innovationstätigkeit im Gesundheitssektor – in praktizierter und konstruktiver Interdisziplinarität entlang der gesamten Wertschöpfungskette.

Literatur

- AKM & DGMBT (FARKAS, R., BECKS, T., SCHMITZ-RODE, T., DÖSSEL, O., et al.): Situation der Medizintechnik in Deutschland im internationalen Vergleich. Studie im Auftrag des BMBF, 2005
- FARKAS, R.: Situation der Medizintechnik im internationalen Vergleich. Venture Capital – TechGuide. S. 50–51. Wolfratshausen 2005
- FARKAS, R., und MONFELD, C.: Ergebnisse der Technologievorschau ‚Nanotechnologie pro Gesundheit‘ 2003. Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis 13/2, 42–51 (2004)
- FARKAS, R., und SCHMITZ-RODE, T.: Impact of MST as a key technology on the future of medical devices. mst-Journal 1 (2006)
- FARKAS, R., SCHELHAAS, U., MONFELD, C., ZAHN, J. VON, GOTHE, H., BARTH, S., KLOCKENBRINCK, T., GILLNER, A., BREMUS-KÖBBERLING, E., SCHMITZ-RODE, T., APPELBE, V., STEINBUSCH, U., et al.: Nanotechnologie pro Gesundheit: Chancen und Risiken. Innovations- und Technikanalyse im Auftrag des BMBF. Aachen 2003

Dr. Robert FARKAS
Science Management
AME – Institut für Angewandte Medizintechnik
Helmholtz-Institut
RWTH Aachen
Pauwelstraße 20
52074 Aachen
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 241 8080740
Fax: +49 241 8082026
E-Mail: farkas@hia.rwth-aachen.de

Prof. Dr. med. Dipl.-Ing. Thomas SCHMITZ-RODE
AME – Institut für Angewandte Medizintechnik
Helmholtz-Institut
RWTH Aachen
Pauwelstraße 20
52074 Aachen
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 241 80807111
Fax: +49 241 8082026
E-Mail: smiro@hia.rwth-aachen.de

Molekulargastronomie – Geschmack – Nano im Buffet?

Thomas VILGIS (Mainz)

Zusammenfassung

Textur, Aromen, Geschmack sind die wichtigsten Eindrücke, die mit Essen und Genuss verbunden werden. Hinter diesen allgemein bekannten Begriffen verbirgt sich schon die Tatsache, dass die ganze Breite der Längenskalen, vom makroskopischen Bereich, etwa beim Beißen und Kauen, bis hin zu Molekülabmessungen im Nanobereich beim Freisetzen der Aromen, eine große Rolle spielen. Genuss ist daher „multiskalig“. Dabei spielt der Bereich zwischen 100 und 1000 nm eine ganz besondere Rolle, denn dies ist die typische Skala vieler strukturgebender Eigenschaften, die Mundgefühl und Geschmacksfreigabe definieren. Tröpfchengröße in Emulsionen oder die molekularen Bruch-eigenschaften von Lebensmitteln tragen zur Cremigkeit oder zur Knusprigkeit bei. Die Wechselbeziehung zwischen molekularen Eigenschaften und Geschmack definiert dabei eine Struktur-Prozess-Eigenschafts-Geschmacksbeziehung, die Materialwissenschaften, Nanowissenschaften und Sensorik verbindet.

Abstract

Texture, aroma release and taste belong to the most important issues while eating. Indeed many physical and chemical properties are hidden behind these well-known and daily used expressions. The behavior of the food in the mouth can be considered as a physical and chemical process, which is ruled by all length scales, ranging from molecular dimension of aroma compounds to macroscopic values, the dimension of the foods themselves. The range between 100 and 1000 nm is dominating, since most of the structural properties of the foods, relevant for the mouth feel and aroma release are determined on such mesoscales, for example the creaminess of emulsions and the fracture behavior of the foods. The structure process property taste relationship thus combines materials and nano sciences with sensorics.

1. Einleitung

„Nano“ im Essen, diese Aussage löst oft Unbehagen aus, da sofort an Nanopartikel in Speisen und Getränken gedacht wird, die dort nichts zu suchen haben und schlimmstenfalls allerlei Schaden im Körper anrichten können, sogar die Blut-Hirn-Schranke passieren können. Derartige Szenarien sind nicht ausgeschlossen, und die Wissenschaft ist sich über den Nutzen uneins. Allerdings müssen nicht unbedingt Nanopartikel zugeführt werden, um den Speisen wohl definierte Eigenschaften zu geben, etwa wenn es um deren „Struktur und Textur“ geht. Tatsächlich wird eine ganze Reihe von physikalischen Zuständen der Lebensmittel auf diesen Längenskalen durch herkömmliche Koch- und Zubereitungstechniken eingestellt. Die Vielschichtigkeit der physikalischen Eigenschaften von Lebensmitteln in verschiedenen Formen und Zubereitungszuständen lässt sich vor allem auf deren „Multiskaligkeit“ zurückführen. Dies bedeutet letztlich vor allem: „Nano“ ist einer der wichtigsten Längenskalenbereiche und somit schon lange ein Thema im Essen. In diesem Beitrag werden einige wenige dieser

Zusammenhänge beschrieben, denn ohne „Manipulation“ von Lebensmitteln, die den Mikro- und Nanobereich anspricht, wäre das Essen nicht so, wie wir es schätzen.

In der Tat erscheint die Alltagstätigkeit „Essen“ bei genauerer Betrachtungsweise eher komplizierter zu sein, als es sich auf den ersten Blick darstellt, schließlich ist diese Notwendigkeit simpel: Zunächst wird das Essen betrachtet, daran gerochen, im Mund gekaut, zerdrückt, geschmeckt, verflüssigt und geschluckt. Soweit so gut. Was dabei tatsächlich vonstattengeht, ist aber durch einfache, physikalisch-chemische Prozesse nicht mehr zu beschreiben.

2. Essen: Nur Geschmack?

Beim Essen geht es natürlich vorwiegend um Geschmack (PLATTIG 1995, HATT 2005, CHAUDHARI 2010). Die Geschmackssensoren auf der Zunge können nur ein paar wenige Grundgeschmacksrichtungen erkennen (Abb. 1). Dazu gehören „süß“, „sauer“, „salzig“, „bitter“, „umami“, „fett“ (LINDEMANN 2001, FUKAWATARI 1995, LAUGERETTE et al. 2005), vermutlich auch „wässrig“ (CAMERON et al. 2010). Auf der Zunge befindet sich eine Vielzahl von Rezeptoren, die für unsere Geschmacksempfindungen verantwortlich sind.

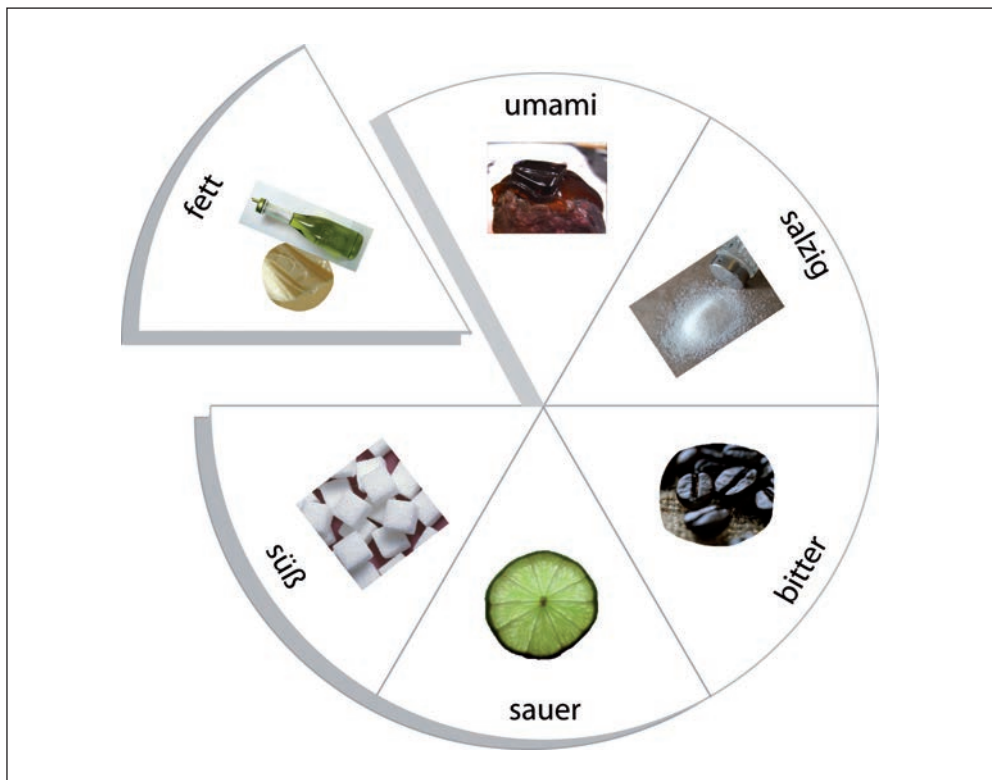


Abb. 1 Fünf Grundgeschmacksqualitäten sind gesichert: süß, sauer, bitter, salzig, umami. Es gibt allerdings Anzeichen, dass es auch eine gustatorische Wahrnehmung für Fett gibt.

Die Geschmacksempfindungen werden über Geschmacksknospen und Rezeptoren wahrgenommen (LINDEMANN 2001, CHANDRASEKHAR et al. 2006, HOLZER 2004, INOSHITA und TANIMURA 2006). Sie befinden sich in den Papillen, von denen es mehrere unterschiedlich geformte Typen gibt (Abb. 2). Diese sitzen an verschiedenen Stellen. Verschieden geformte Papillen in der Zunge unterscheiden sich durch drei grundlegende Formen:

- Pilzpapillen (vorwiegend auf der Zungenoberfläche),
- Blätterpapillen (vorwiegend am Zungengrund) und
- Wallpapillen (in der Nähe der Zungenwurzel).

Die ganze Zunge ist darüber hinaus mit Fadenpapillen besetzt. Diese sind für die taktile Wahrnehmung verantwortlich. Sie erkennen physikalische Eigenschaften der Lebensmittel, wie Oberflächenbeschaffenheit, Fließverhalten oder andere tastbare Eigenschaften, sofort und sehr feinfühlig.

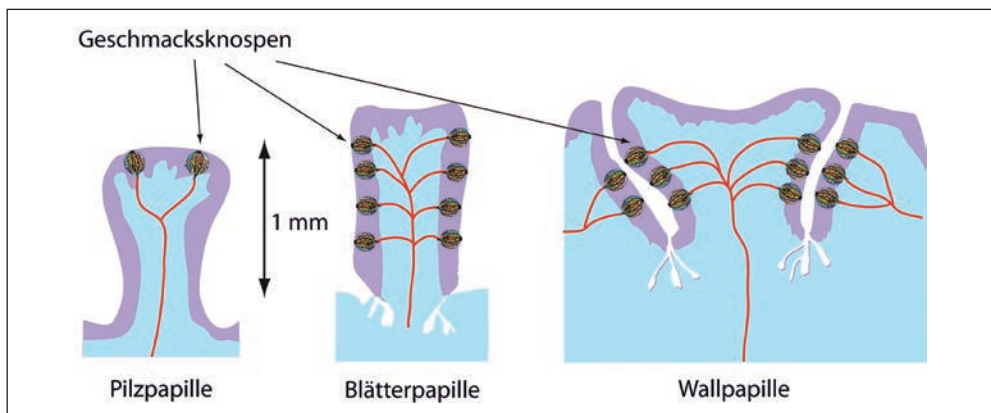


Abb. 2 Verschiedene Papillenformen (schematische Darstellung) gestatten eine detaillierte Erfassung des Geschmacks. Die Speichel- und Spüldrüsen sind weiß dargestellt.

Die zerfurchte und zerklüftete Oberfläche der Zunge mit einer daraus resultierenden heterogenen Geschmacksknospenbelegung ist von Vorteil. Für die Geschmackswahrnehmung sind auch die Abmessungen von Bedeutung (SCHULTE und HOLL 1971). Die Geschmacksknospen liegen in den Tälern und Furchen der Zunge, deren Tiefe mit etwa 30–70 μm bemessen wird. Zusammen mit den Längenabmessungen der Papillen von 25–40 μm erlaubt die Zunge daher allein aus geometrischen Gründen ein sehr feinfühliges Schmecken. Die Geschmacksreize können damit auf den unterschiedlichsten Längen- und Zeitskalen sofort detektiert werden, die Reize werden dadurch rasch erkennbar, aber gleichzeitig für eine gewisse Zeit wahrnehmbar.

Auch beim Zerkleinern, Kauen und „Schmatzen“ werden „flüchtige“ Aromen freigelegt, die im Nasenrachenraum wahrgenommen werden. Dieses retronasale Riechen (BÜTTNER 2004), gepaart mit dem Geschmack auf der Zunge und in der Mundhöhle, lässt uns die Speise entsprechend würdigen – oder auch nicht. Allerdings hängt diese Beurteilung nicht nur von Präsentation, Geschmack, Würzung oder Zubereitung ab, sondern auch von der kulturellen Prägung der Genießer (HIRSCHFELDER 2001, WUKETITS 2010).

Die „Geschmackserkennung“ beim Essen ist daher eine auf vielen verschiedenen Längenskalen verteilte Angelegenheit. Diese Längenabmessungen reichen von Zentimetern, etwa typischen Lebensmitteldimensionen, die durch Kauen zerkleinert werden, so dass der Speisebrei über den Speichel die Zerklüftungen von 40 bis 70 mm benetzen kann, und schließlich die darin enthaltenen Moleküle, die Rezeptoren in den Membranen auf Abmessungen von 10 nm reizen können (CHAUDHARI und ROPER 2010).

3. Die Textur von Lebensmitteln

Natürlich greift diese Betrachtung zu kurz, denn Geschmack ist nicht alles. Das Empfinden einer Speise wird vor allem über deren Beschaffenheit, die durch den Begriff Textur umschrieben wird, wahrgenommen. Darunter fallen Beschreibungen wie etwa knusprig, hart, weich, flüssig usw., Begriffe also, die viele „mechanische“ Eigenschaften beschreiben. Tatsächlich sind diese Materialeigenschaften für den Geschmack und das Mundgefühl mehr als entscheidend. Sie prägen nicht nur das „Mundgefühl“, sondern definieren auch wie der Geschmack und die Aromen des Lebensmittels frei gegeben werden. Zum Beispiel bei Kartoffelchips. „Gute“ Kartoffelchips dürfen nicht überwürzt sein, so dass deutliche Kartoffelaromen wahrnehmbar sind. Ebenso wichtig ist aber deren Trocknungsgrad, der die Knusprigkeit und das damit verbundene Geräusch bestimmt. Kartoffelchips, die eine Zeit lang in einer geöffneten und schlecht verschlossenen Tüte verbleiben, verlieren diese geschätzten Eigenschaften schnell, da die Feuchtigkeit der Umgebungsluft von den Proteinen und Stärken der trockenen Chips aufgenommen wird. Diese wenigen Wassermoleküle reichen aus, um sich zwischen Proteine und Stärken als Abstandhalter zu stemmen und diesen somit mehr Raum für Bewegung zu geben. Ein höheres Maß an Molekülbewegung bedeutet aber auch weniger Festigkeit. Die Chips werden weich und „soggy“. Offenbar hat sich durch das Einlagern des Wassers die Molekularstruktur verändert, und damit ihre Textur. Dieses sehr einfache Beispiel zeigt, wie die molekulare Struktur die Textur eines Lebensmittels bestimmt. In welcher komplizierten Weise dies überhaupt erfolgen kann, zeigt Abbildung 3.

Die Hierarchie der „Materialeigenschaften“, die sich hinter dem Begriff der „Textur“ verbirgt, reicht von chemischen Eigenschaften, wie Aromen, Geschmack und Farbe, bis hin zu den physikalischen Aspekten und den Aggregatzuständen. Alle zusammen sind aber für die Wahrnehmung entscheidend und werden durch das molekulare Zusammenwirken der Moleküle und Aggregate im Mikro- und Nanoskalenbereich bestimmt. Die „Textur“ ist damit sowohl durch die Längen- und Zeitskalen vorgegeben, und somit durch die physikalische Struktur des Lebensmittels bestimmt, und zwar auf vielen Längenskalen. Da wäre zunächst die äußere Form. Ist das Lebensmittel rund oder kantig, ist die Oberfläche weich, glatt oder rau, fühlt es sich klebrig, schaumig oder mehlig an. Natürlich ist die Frage des Aggregatzustandes – fest, flüssig, gasförmig – mit entscheidend. Dabei gilt natürlich zu berücksichtigen, dass viele Lebensmittel und Speisen nicht nur aus einer Phase oder Komponente bestehen, sondern dass sie aus vielen verschiedenen Komponenten und Phasen aufgebaut sind, die alle unterschiedliche Eigenschaften haben. Dabei kommt es für das Mundgefühl sehr genau darauf an, wie das Lebensmittel mikroskopisch strukturiert ist, also wie feste, flüssige oder gasförmige Phasen in eine Matrix „eingebaut“ sind. Dies lässt sich bereits an einem sehr einfach konstruierten Beispiel zeigen, wie es in Abbildung 4 schematisch dargestellt ist.

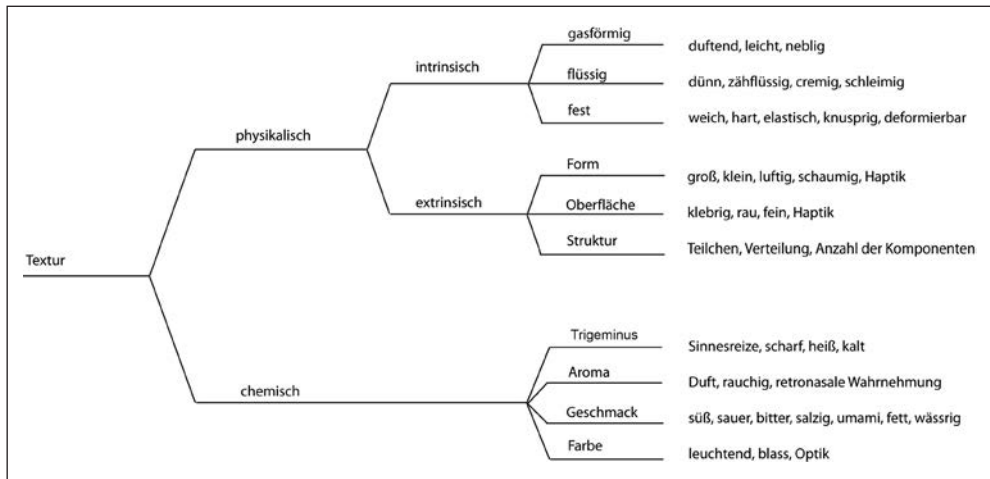


Abb. 3 Der Begriff Textur wird durch eine ganze Reihe physikalisch-chemischer Eigenschaften bestimmt, die letztlich „geschmacksbestimmend“ sind.

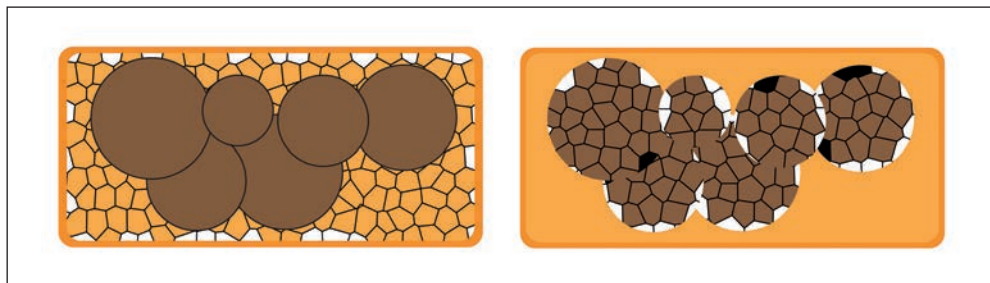


Abb. 4 Schematische Darstellung eines Lebensmittels, das *links* aus einer festen, knusprigen Hülle, einer porös-schaumigen Struktur und flüssigen Tröpfchen (braun) besteht. *Rechts* liegt quasi die gleiche Komposition vor, lediglich sind die „Phasen“ umgedreht. Unter der festen knusprigen Hülle liegt dann die flüssige Phase vor, während die vormals flüssigen Tröpfchen jetzt porös-schaumig sind. Trotz der gleichen Komposition der Geschmackskomponenten ist die geschmackliche Wahrnehmung aufgrund der unterschiedlichen Anordnungen der einzelnen Strukturelemente vollkommen verschieden.

4. Relevante Längenskalen in Lebensmitteln

Wie „multiskalig“ Lebensmittel und die damit empfundenen Geschmacksempfindungen wirklich sind, lässt sich erahnen, wenn man sich die relevanten Längenskalen vergegenwärtigt.

Dabei sind die Bereiche zwischen Nano- und Mikrometern entscheidend, auch wenn Teilchengrößen mit diesen Abmessungen nicht unmittelbar über Tastsensoren wahrnehmbar sind. Das Zusammenwirken der Moleküle und Molekülverbände bestimmen allerdings wohl spürbare makroskopische Eigenschaften. Vor allem definieren sie die Textur der Lebensmittel und Speisen und sind somit am Wohlempfinden für Speisen beteiligt. Gerade am Beispiel von Emulsionen wird dies evident. Emulsionen zeichnen sich durch fein verteilte Tröpfchen zweier nicht

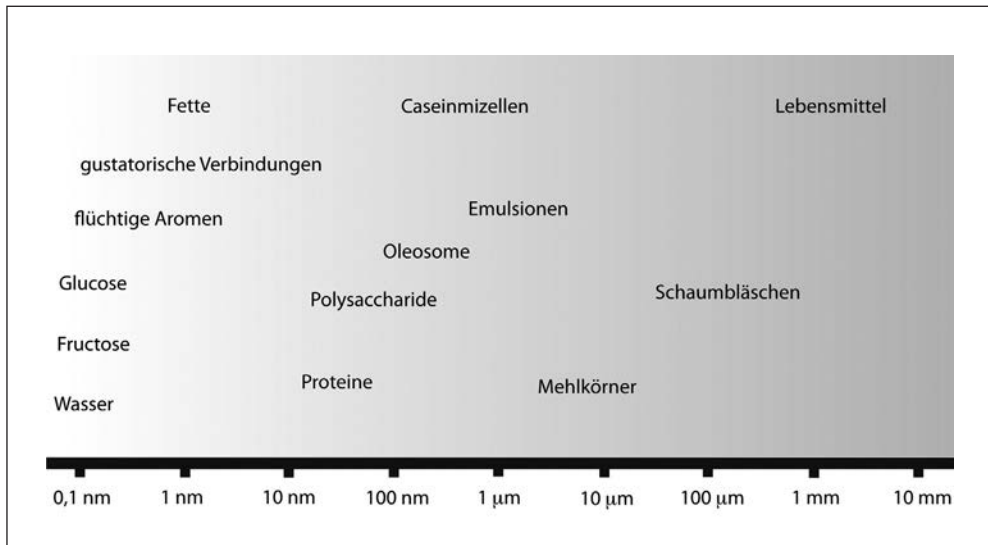


Abb. 5 Relevante Längenskalen in Lebensmitteln. Geschmack und Aromen werden durch Moleküle ausgelöst. Die Abmessungen liegen daher im Bereich von einigen Ångström bis 10 nm. Die Viskosität von Emulsionen wird durch Abmessungen im Mikro- bis Nanometerbereich bestimmt. Die Nanoskala ist daher die Schnittstelle von strukturellen Parametern zu Moleküldimensionen.

mischbarer Phasen aus, etwa Wasser und Öl. Natürlich sind beide Komponenten aromatisiert, das banalste Beispiel wäre eine Vinaigrette aus feinen Essigen und aromatisierten Ölen. In die Klasse der kulinarischen Emulsionen fallen natürlich auch Mayonnaisen, Remouladen, aber auch komplexe mit Butter oder Ölen montierte Saucen. Die Erfahrung zeigt bereits bei diesen Beispielen, wie deren Cremigkeit von der Verteilung der Phasen abhängt. Je kleiner und vielzähliger die Öltröpfchen während des Emulgierens werden, desto dickflüssiger und fester wird die Mayonnaise. Die Stabilität allerdings wird nur durch Emulgatoren gewährleistet. Emulgatoren sind grenzflächenaktive Moleküle, d. h., sie besitzen einen wasserliebenden (hydrophilen) und einen wasserabweisenden (hydrophoben) Teil. Die hydrophoben Teile sind dann aber mehr oder weniger „fettliebend“, lipophil. Mit dieser Molekularstruktur sind Emulgatoren daher in der Lage sich an die Grenzflächen zwischen den Phasen zu setzen und dort mit einer großen (thermodynamischen) Wahrscheinlichkeit zu verharren. Sie setzen dabei die Grenzflächenspannung herab, die Öltröpfchen bleiben stabil und werden von der Emulgatorschicht geschützt. Sie können sich somit nicht zu großen Tropfen vereinigen. In Lebensmitteln ist Lecithin, etwa aus Eigelb oder Sojabohnen gewonnen, der Standardemulgator, der sich zumindest für viele, wenngleich begrenzte Anwendungen problemlos einsetzen lässt.

5. Emulsionen – von Nano bis Mikro

Die Cremigkeit von Emulsionen, etwa Vinaigrettes, Mayonnaisen oder Remouladen, also mehr oder weniger stabile Gemische von Öltröpfchen in einer kontinuierlichen Wasserphase, wird im Wesentlichen durch zwei Parameter bestimmt. Natürlich ist dabei das Verhältnis der

Mengen beider Komponenten wichtig. Wesentlicher ist allerdings die Größe der Öltröpfchen in der wässrigen Phase. Dies lässt sich sehr einfach verstehen. Das Volumenverhältnis der Öl- zu der Wassermenge ist natürlich fest durch die Zutaten vorgegeben, wie etwa bei der klassischen Mayonnaise durch Eigelb und Öl. Allerdings sorgt die Verteilung der beiden Phasen für die entsprechende Viskosität, das Verhalten unter Scherkräften, wie sie bei „Schmatzbewegungen“ im Mund zwischen Zunge und Gaumen erzeugt werden, und damit für die Cremigkeit.

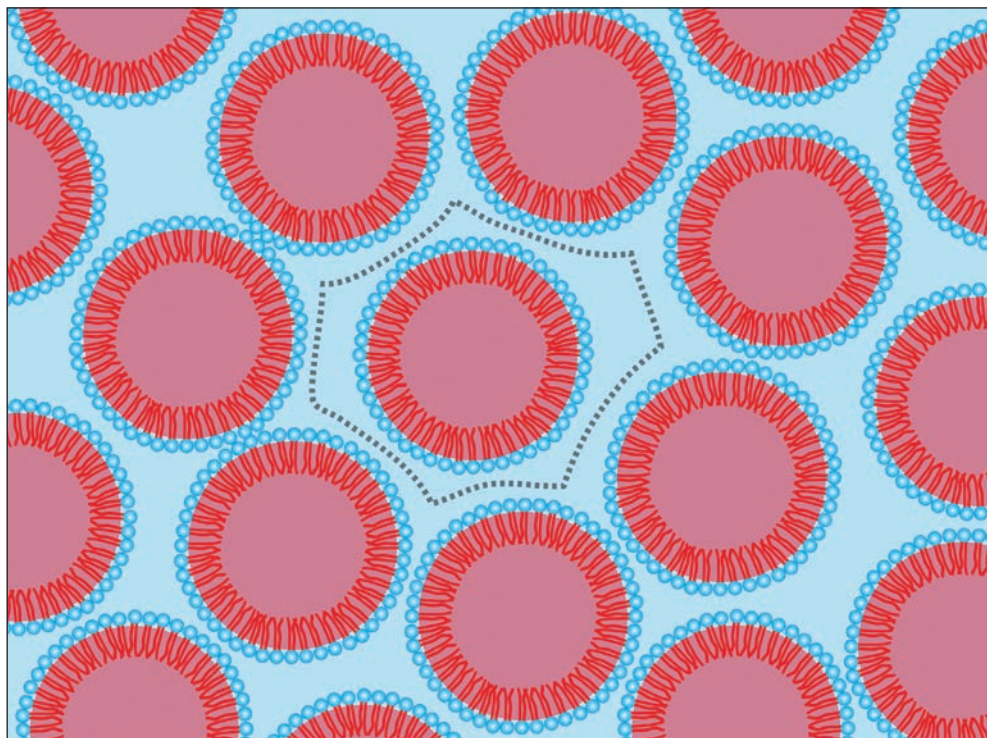


Abb. 6 Einfaches Modell einer Emulsion aus vielen Tröpfchen. Je nach Emulgatorotyp und Art der Herstellung kann die Tröpfchengröße vom Mikrometerbereich bis in die Nanoskala hineinreichen. Die gestrichelte Linie symbolisiert den Käfig, indem das mittlere Tröpfchen eingesperrt ist, sofern sich die Nachbartröpfchen nicht bewegen (können).

Die Cremigkeit von Emulsionen (Abb. 6) wird durch die Ölmenge und vor allem durch die Anzahl der Tröpfchen der diskontinuierlichen Phase bestimmt. Das Wasser (blauer Hintergrund) beschreibt die kontinuierliche Phase, ein Wassermolekül kann praktisch den ganzen Raum „durchschwimmen“. Der zur Verfügung stehende Raum der Fettmoleküle (Triacylglyceride) in der Ölphase (rötlich) bleibt auf ein Tröpfchen beschränkt. Die grenzflächenaktiven Moleküle weisen einen hydrophilen Kopf und Fettsäurechwänze auf. Der Kopf ragt in die wässrige Phase, die Fettsäuren ins Öl. Kleine Ölmenngen haben daher nur wenig Effekt, sie erhöhen die Viskosität der Emulsion nur geringfügig. Größere Ölmenngen hingegen schon, besonders wenn es gelingt, die Tröpfchengrößen während des Emulgierens zu verkleinern. Viele kleine Tröpfchen behindern sich gegenseitig, jedes einzelne wird in einen engen „Käfig“ der

umgebenden gesperrt, aus dem ein Entkommen sehr schwierig ist. Gleichzeitig stoßen sich die Tröpfchen wegen der Abstoßungskräfte der hydrophilen, polaren Kopfgruppen ab, so dass sich die Emulsion weiter versteift, d. h. cremiger wird.

Mit modernen Techniken (z. B. mit Ultraschallbeschallung) ist es kein Problem mehr, die Tröpfchengröße in den Mikrometerbereich (Mikroemulsionen) und sogar in den Nanobereich (Nanoemulsionen) zu drücken. Derartige Emulsionen haben aus physikalischer Sicht mehrere Vorteile. Die kleinen Tröpfchen sind aufgrund der (stochastischen) Wechselwirkung mit den vielen umgebenden Tröpfchen und ihren extrem geringen Massen weit stabiler gegenüber einer Entmischung unter der Schwerkraft. Des Weiteren lassen sich auch transparentere Emulsionen herstellen. Eine weitere spannende Frage ist es, inwieweit die Wirkung von nachgewiesenen positiven Pflanzenwirkstoffen durch deren Verkapselung in Nanotröpfchen potenziert werden kann.

Wichtig ist jedoch die Erkenntnis: Zwar können große Moleküle, Molekülverbände oder Partikel auf Nanoskalen von der Zunge nicht direkt wahrgenommen werden, allerdings bewirken deren physikalische Eigenschaften auf vielen Ebenen die Struktur der Lebensmittel. Aber genau darauf kommt es wiederum an. Somit bewirken die Physik und Chemie auf Nanoskalen einen großen Teil der fühl- und tastbaren Eigenschaften für den „Geschmack“.

6. Hierarchie beim „Schmecken“

Genuss spielt sich daher auf vollkommen verschiedenen Ebenen ab, die sich physikalisch-chemisch vor allem in den verschiedenen Längsskalen ausdrücken. In Abbildung 7 sind diese Aspekte nochmals zusammengefasst.

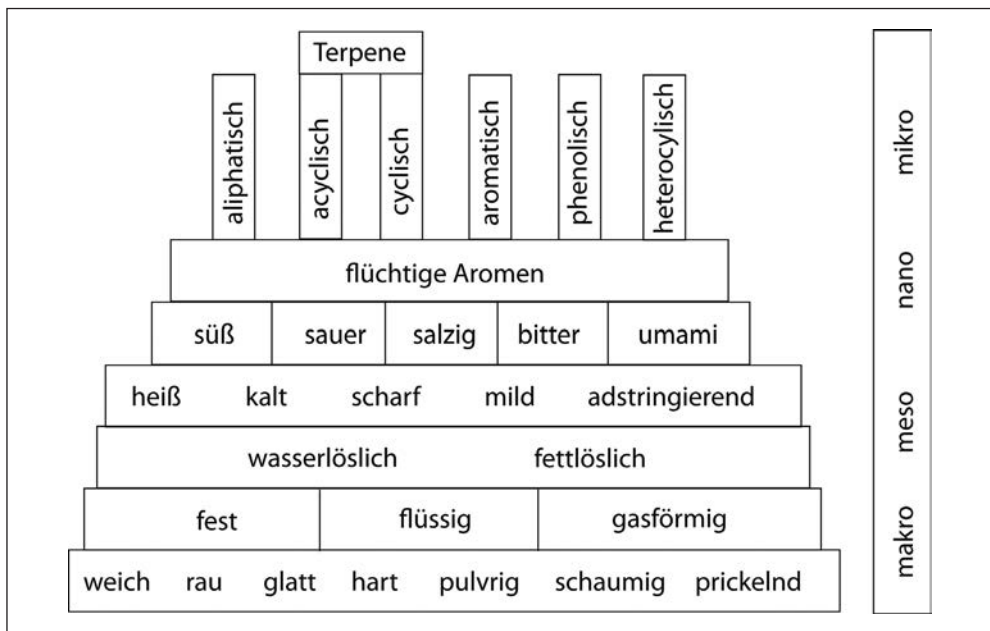


Abb. 7 Aromagramme, die den Geschmack von Lebensmitteln nach einer Vielzahl von Kriterien erfassen

Auf der Grundlage (Basissockel) der strukturellen Beschaffenheit eines Lebensmittels und seiner Aggregatzustände lassen sich alle geschmacksrelevanten Moleküle nach ihrer Löslichkeit erfassen, also Wasser- bzw. Fett- oder Alkohollöslichkeit (VILGIS 2009). Erst darauf definieren sich die Grundgeschmacksqualitäten süß, sauer, salzig, bitter und umami, wie sie von der Zunge erfasst werden. Flüchtige Aromen werden über die Nase, sowohl beim Essen, Kauen und „Schmatzen“ retronasal als auch beim direkten Riechen nasal von den Riechzellen, erfasst. Grob lassen sich die Aromen in sechs Klassen einteilen: aliphatische Kohlenwasserstoffe, die Terpene, in aromatische Kohlenwasserstoffe, phenolische Aromen und heterocyclische Verbindungen. Kleine Unterschiede in der Molekularstruktur der Aromen bedingen oft vollkommen verschiedene Düfte und Wahrnehmungen. Das macht das Spiel mit Aromen spannend, aber auch kompliziert. Derartige Aromagramme zeigen auch die „Multiskaligkeit“ des Wahrnehmens. Alle Längen (und Zeitskalen) von sichtbaren, makroskopischen Abmessungen bis hinunter zu den Ausdehnungen der Moleküle und Ionen sind am „Schmecken“ und Genuss beteiligt. „Aromagramme“ dieser Art wurden bereits von K. H. HEY (1987) vorgeschlagen. Diese hier verwendete Form versucht, neuere Erkenntnisse der Sensorik zu erfassen.

7. Essen und „Materialeigenschaften“

Wie sehr die Struktur und die Form eines Gerichts Geschmack und Wahrnehmung beeinflussen, lässt sich an vielen Beispielen erkennen: Ein Zuckerwürfel im Mund erscheint wenig attraktiv, Zuckerwatte hingegen schon eher (SACKMANN 2009). Am einfachsten lässt sich dies an einem klassischen Alltagsdessert, einer Panna Cotta oder anderen gelartigen Konstruktionen, demonstrieren. Wird an einem Stück einer Panna Cotta lediglich mit der Zunge geleck, wirkt das an und für sich schmackhafte Gebilde sehr langweilig. Es schmeckt nicht, der darin eingefangene Geschmack gelangt nicht auf die Zunge. Jedenfalls nicht in einem ausreichenden Maße, um Geschmackssensationen auszulösen. Das Gel muss zerdrückt, zerbissen oder zerstört werden, damit ein Geschmackserlebnis möglich ist. Erst wenn die Panna Cotta in kleine Stücke zerbissen oder zerdrückt ist, kann Geschmack freigegeben werden. Wie schnell und effektiv diese „Geschmacksexplosionen“ erfolgen können, ist wiederum eine Frage der Rissbildung und der „mechanischen“ Eigenschaften des Puddings (Abb. 8). Geschmack ist daher auch gewissermaßen etwas Materialphysik (VILGIS 2008).

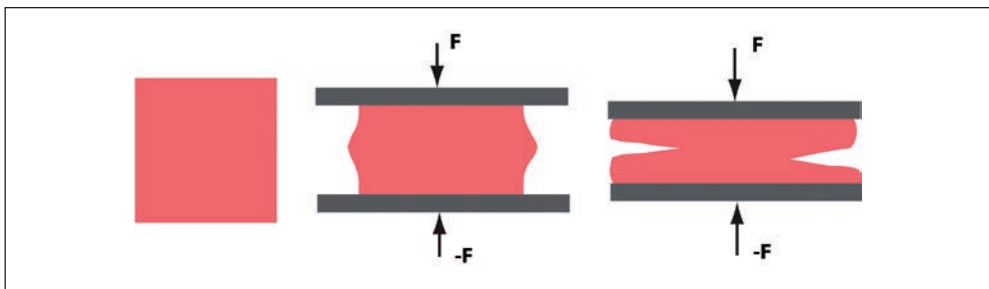


Abb. 8 Schematische Darstellung der elastischen Eigenschaften eines Gels (Pudding) zwischen „Zunge und Gaumen“. Auf äußere Kräfte reagiert das „Material“ zunächst elastisch, bei höheren Kräften und weiterer Deformation bricht es. Es bilden sich Risse, der Geschmack kann freigegeben werden.

Das „Essgefühl“ im Mund wird durch das Brechen der Gele verdeutlicht (Abb. 8–10). Zum einen bestimmt die Menge des eingesetzten Geliermittels die Bruch Eigenschaften, aber auch Zucker und Salz. Diese wasserbindenden Moleküle tragen somit nicht nur zum elementaren Geschmack bei, sondern übernehmen in Mundgefühl und Wasserfreigabe die Funktion von Konsistenzveränderern.

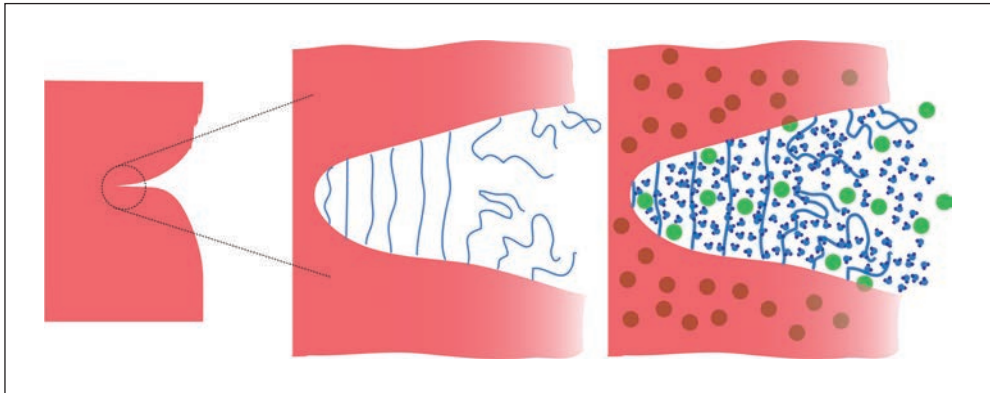


Abb. 9 Stark vereinfachtes Modell der Rissausbreitung in weichen Hydrogelen. Risse sind für die Freigabe der Aromen wichtig. Das Reißen des Gels ist auf Skala der Molekülketten (Biopolymere wie Agar) von Geliermitteln von entscheidender Bedeutung. Die wasserlöslichen Molekülketten scharen Wassermoleküle in einer Hydrathülle um sich, ebenso wie die darin eingeschlossenen Aromen (grün dargestellt).

Damit der Geschmack der Gele freigesetzt wird, müssen sie zerstört werden, denn die für den Geschmack verantwortlichen Moleküle und die Aromen sind in dem Gel eingeschlossen und müssen erst frei gelegt werden. Das Brechen der Gele erfolgt stets über eine Rissbildung, wie in Abbildung 9 dargestellt. In der Risspitze ist daher das Reißen und Brechen der hoch orientierten Ketten dominant. Sobald die Molekülketten reißen und das Gel bricht, wird Geschmack und Aroma freigegeben. Das Reißen und die hohe Orientierung der Ketten verändern somit die Wasserbindung, so dass Aromen (als grüne Kreise dargestellt) über das freiwerdende Wasser und die dadurch verbundene erhöhte Flüchtigkeit intensiviert werden. Aromen können jetzt retronasal und Geschmacksstoffe auf den Rezeptoren der Geschmacksknospen auf der Zunge wahrgenommen werden.

Tatsächlich sind in vielen Lebensmitteln Brechen und Zerbeißen für das Mundgefühl entscheidend, das letztlich durch die „mechanischen Eigenschaften“ des Essens bestimmt wird. Physikalische Eigenschaften bestimmen daher einen großen Teil der Akzeptanz. Daher wird stets auf das „Mundgefühl“ großen Wert gelegt. Dies wird allerdings durch die molekularen Eigenschaften der Rissbildung und Rissausbreitung auf Nanoskalen vermittelt.

8. Geschmack und Temperatur

Natürlich beeinflussen auch weitere physikalische Größen, etwa die Temperatur, das Geschmacksempfinden, wie es auch aus der Alltagserfahrung bekannt ist. Eine im heißen Zustand kräftig abgeschmeckte Tomatensuppe wirkt beim Versuch, dieselbe als eiskalte Gazpacho zu

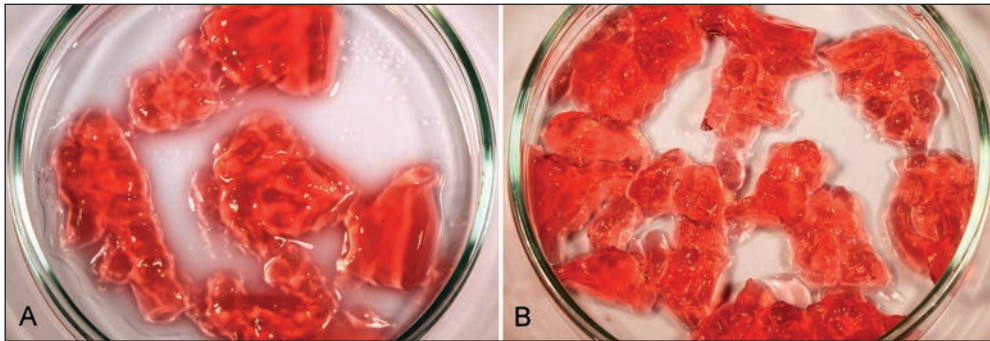


Abb. 10 Konsistenz, Textur und Essbarkeit von mit einem pflanzlichen Geliertmittel, Agar, gelierten Gelen: (A) ein Agargel (0,4%), (B) Agargel 1% Agar. Der Unterschied in Bruchverhalten und Mundgefühl lässt sich bereits durch die unterschiedliche Wasserbindung und Bruchstückgröße erkennen.

servieren, eher fade und wenig aufregend. Daher muss in diesem Fall kräftig nachgewürzt werden. Was allerdings negativ klingt, wird gastronomisch gern genutzt: Kräftige Warm-Kalt-Kontraste auf einem Teller heben den Genuss um einen weiteren physikalischen und psychophysikalischen Parameter. Als Beispiel dafür können Dessertklassiker aus vergangenen Tagen dienen: Vanilleeis mit heißen Himbeeren oder heißes Schokoladenmousse, das neben einem kalten Granité aus Orangenlikör serviert wird. Diese kulinarischen Ideen sind allerdings nicht auf Desserts beschränkt. Werden die Kreationen von Spitzenköchen betrachtet, so finden sich gegrillte Jakobsmuscheln neben geräuchertem Ziegenkäse und Tomatensorbet bzw. allerlei andere pikante Eiskreationen neben heißen Teller-elementen. Dies wirft die Frage auf, wie sich die Grundgeschmacksqualitäten mit der Temperatur verhalten (Abb. 11).

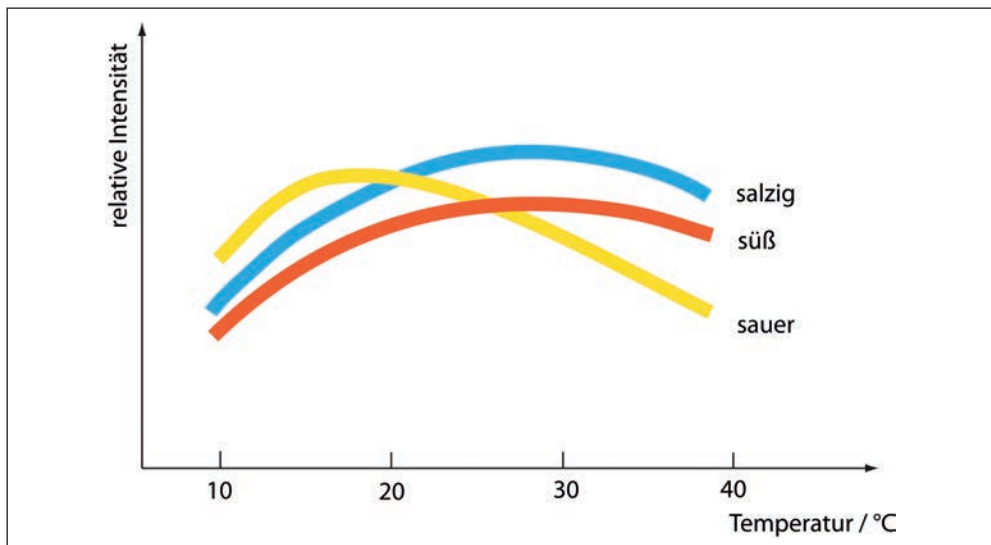


Abb. 11 Schematische Darstellung der Temperaturabhängigkeit einiger Basisgeschmacksqualitäten

Salzig und süß verstärken sich eher unter Temperaturerhöhung, sauer nimmt eher ab (NAKAMURA und KUHIHARA 1991). Bei allzu hohen Temperaturen wird die Geschmackswahrnehmung durch den Einfluss der Wärmerezeptoren überdeckt. Diese physiologischen Effekte bestimmen somit das Würzen, die Zubereitung und das Tellerarrangement, also wie die Elemente unterschiedlicher Temperatur auf den Tellern angeordnet werden. Für gute alte Hausmannskost ist dies nicht unbedingt ein großes Problem, aber im Bereich der Sternegastronomie müssen diese Effekte, vor allem beim Tellerdesign, besonders berücksichtigt sein. Auch dieses Beispiel zeigt klar, wie physiologisch-chemische Eigenschaften zusammen mit physikalischen Parametern Sinneseindrücke und Geschmack bestimmen.

So ist es kein Wunder, dass z. B. stickstoffgekühlte Baisers einen ganz besonderen Reiz bekommen. Die Temperaturänderung im Mund, das damit verbundene Schmelzen und der sich damit vielschichtig ändernde Geschmacksreiz zeigen das feine Zusammenspiel von vielen physikalischen Einflüssen auf die Wahrnehmung.

9. Zusammenfassung

Geschmack und Genuss sind offenbar vielschichtige Angelegenheiten. Aber was nützen diese, zugegeben theoretisch anmutenden, vielleicht sogar abgehobenen Betrachtungen wirklich? Sie helfen sicher, Essen, Riechen, Schmecken und Genießen besser zu verstehen. Ein besseres Verständnis für Geschmack und die Sinnlichkeit des Essens sind für die Nahrungsmittelzubereitung, auch beim alltäglichen Kochen, nützlich. Einfache „Kochtricks“ verbessern nicht nur den Geschmack, sondern darüber hinaus z. B. auch die Textur, die wiederum zum Geschmackserlebnis beiträgt. Guter „Geschmack“ ist daher viel physikalischer, als man denkt (VILGIS 2010).

Dank

Der Autor dankt Frau N. RUSS für die Durchführung der Bruchexperimente (Abb. 10) sowie Herrn G. WASCHATKO für hilfreiche Diskussionen zu Emulsionen.

Literatur

- BÜTTNER, A.: Spaß an Essen und Trinken – Retronasale Geruchswahrnehmung. *Nachrichten aus der Chemie* 52, 540 (2004)
- CAMERON, P., HIROI, M., NGAI, J., and SCOTT, K.: The molecular basis for water taste in *Drosophila*. *Nature* 465, 91 (2010)
- CHANDRASEKHAR, J., HOON, M. A., RYBA, N. J. P., and ZUKER, C.: The receptors and cells for mammalian taste. *Nature* 444, 288 (2006)
- CHAUDHARI, N., and ROPER, S. D.: The cell biology of taste. *J. Cell Biol.* 190, 285 (2010)
- FUKUWATARI, T.: Expression of the putative membrane fatty acid transporter (FAT) in taste buds of the circumvallate papillae in rats. *FEBS Lett.* 414, 461 (1997)
- HATT, H.: Geschmack und Geruch. In: SCHMIDT, R. F., und LANG, F. (Hrsg.): *Die Physiologie des Menschen*. S. 421–436. Heidelberg, Wien: Springer 2005
- HEY, K. H.: *Lebensmittelaromen*. Hamburg: Behr's Verlag 1987
- HIRSCHFELDER, G.: *Europäische Esskultur – Eine Geschichte der Ernährung von der Steinzeit bis heute*. Berlin: Campus Verlag 2001
- LAUGERETTE, F., PASSILLY-DEGRACE, P., PATRIS, O., NIOT, I., FEBDRAIO, H., MONTMAYEUR, J. P., and BESNARD, P.: CD36 involvement in orosensory detection of dietary lipids, spontaneous fat preference, and digestive secretions. *The Journal of Clinical Investigation* 115, 3177 (2005)

- LINDEMANN, B.: Receptors and transduction in taste. *Nature* 413, 219 (2001)
- NAKAMURA, M., and KURIHARA, K.: Differential temperature dependence of taste nerve responses to various taste stimuli in dogs and rats. *Amer. J. Physiol. Regulatory Integrative Comp. Physiol.* 261, 1402 (1991)
- PLATTIG, K. H.: Spürnasen und Feinschmecker – die chemischen Sinne des Menschen. Heidelberg: Springer 1995
- SACKMANN, J.: Aromen. Wiesbaden: Tre Torri Verlag 2008
- SCHULTE, E., und HOLL, A.: Untersuchungen an den Geschmacksknospen der Barteln von *Corydoras paleatus*. Jennings, I. Feinstruktur der Geschmacksknospen. *Z. Zellforsch.* 120, 450 (1971)
- VILGIS, T.: Molekularküche – das Kochbuch. Wiesbaden: Tre Torri Verlag 2008
- VILGIS T.: Molekularküche – Geschmack, Aromen, Flavour. Wiesbaden: Tre Torri Verlag 2009
- VILGIS, T.: Das Molekül-Menü – molekulares Wissen für kreative Köche. Stuttgart: S. Hirzel 2010
- WUKETITS, F. M.: Wie der Mensch wurde, was er isst – Die Evolution menschlicher Nahrung. Stuttgart: S. Hirzel 2010

Prof. Dr. Thomas A. VILGIS
Max-Planck-Institut für Polymerforschung
Ackermannweg 10
55128 Mainz
Bundesrepublik Deutschland
Tel: +49 6131 379143
Fax: +49 6131 379100
E-Mail: vilgis@mpip-mainz.mpg.de

Nanomaterialien in Lebensmitteln: Gerüchteküche, Zukunftsvisionen und reale Anwendungen

Antje GROBE (Stuttgart)

Zusammenfassung

Nanotechnologien in Lebensmitteln: bei diesem Thema werden in den Medien häufig geschmackswechselnde Pizzen, Schokoladenüberzüge oder sich selbst produzierende Schnitzel angeführt – und auch der Bezug zu genveränderten Produkten ist nicht weit. Kein Wunder also, dass Verbraucherinnen und Verbraucher nach Orientierung suchen. Dieser Artikel geht den Gerüchten um Nano in unserem Essen auf den Grund. Was ist Fiktion, was Realität? Wo liegen Risiken, was ist der Nutzen? Wie sieht die konkrete Gesetzes- und Regulierungslage aus? Und wie kann ein konstruktiver Dialog zwischen Unternehmen, Gesetzgeber und den Verbrauchern geschaffen werden?

Abstract

Nanotechnologies in food: Talking about this issue, taste-changing pizzas or self-producing schnitzel are coming up in the media reports – mostly added by a comparison with GMO food. It is no surprise that consumers therefore are looking for orientation. This article sheds light on the rumors about nano in our food. What is fiction, what is reality? Where are the risks, what are the benefits? What is the current regulatory background? And how could we design a constructive dialogue between companies, regulators and consumers?

1. Einführung

Anwendungsbereiche von Nanotechnologien oder Nanomaterialien in Lebensmitteln beflügelten die Phantasie seit Beginn der Nanodebatte in den späten 1990er Jahren. In den letzten Jahren kursieren in den Medien vor allem Meldungen über Produkte wie etwa Schokoladenüberzüge aus Nanotitandioxid, geschmackswechselnde Pizzen und Getränke oder das häufig angeführte Nanoketchup (MEILI et al. 2005, BOROWSKI 2010, BOGGAN 2008, KUPFERSCHMIDT 2010), die alle eher aus der Gerüchteküche entstammen, als dass sie auf realen Produkten am Markt beruhen. Auch wenn verschiedene Publikationen darauf hingewiesen haben, dass diese viel diskutierten Beispiele nicht am Markt zu finden sind (IRGC 2008, MÖLLER et al. 2009), werden sie vor allem dann kolportiert, wenn in den Medien über Risikothemen in Zusammenhang mit Nanotechnologien berichtet wird.

Der Vergleich mit der Gentechnologie ist dann nicht mehr weit (*The Economist* 2004). Im deutschsprachigen Raum verursachte das berühmte „Nanoschnitzel“, bei dem sich die Moleküle vor den Augen des Betrachters in einer Art „Nanowelle“ selbst zu einem veritablen Schnitzel zusammensetzen, große Aufregung in der Industrie, bei Verbraucherorganisationen und den Bürgern selbst. Den geneigten Betrachtern blieb häufig die feine Ironie verborgen,

die die Autoren um Wolfgang HECKL in ihren Film eingebaut hatten – das „Schnitzel“ erschien paniert mit Salatgarnitur – und hielten das gut inszenierte Beispiel für real. Das Ziel aber, eine Diskussion über reale und zukünftige Anwendungen von Nanomaterialien in Lebensmitteln anzustoßen, gelang in verschiedenen Dialogveranstaltungen gut. In der Folge verschwammen allerdings Fiktion und Wirklichkeit. Das Nanoschnitzel gehört zu einem der Gerüchte, von denen einige Verbraucher überzeugt sind, dass sie existieren.¹ Die einen reagieren amüsiert und neugierig, die anderen eher besorgt und vergleichen einmal mehr die fiktiven Nanoprodukte mit gentechnisch veränderten Lebensmitteln, die sie ablehnen. Wie so häufig beruhen viele Gerüchte auf einem wahren Kern. Der folgende Beitrag möchte einigen Gerüchten auf den Grund gehen.

Kapitel 2 stellt verschiedene Anwendungsbereiche vor, die drei dieser Gerüchte zugrunde liegen, und gibt den Stand der Diskussionen über die sogenannten *Food-Contact-Materials*, also Materialien für Verpackungen oder für den Einsatz in Anlagen der Lebensmittelherstellung, wieder. Kapitel 3 befasst sich mit Fragen der Regulierung, und Kapitel 4 widmet sich in der Schlussbetrachtung den Konsequenzen für einen konstruktiven Dialog zwischen Unternehmen, Regulatoren, Umwelt- und Verbraucherverbänden sowie den Verbrauchern selbst.

2. Anwendungsbereiche

2.1 Titandioxid

Eines der in den Medien am häufigsten zitierten Beispiele für den Einsatz von Nanomaterialien in Lebensmitteln sind Überzüge aus Titandioxid für Schokolade. Dabei handelt es sich vermutlich um ein allzu gern wiederholtes Missverständnis (*IRGC* 2008, REIFFERT 2009), da es eine hohe Aufmerksamkeit garantiert und vom Verbraucher gut behalten wird. Wahrer Hintergrund dieses fiktiven Beispiels ist, dass ein Patent von Mars vorliegt, bei dem Titandioxid in Nanogröße eingesetzt werden könnte, um Schokolade vor Sonneneinstrahlung zu schützen. Bisher ist aber keine Verwendung von nanoskaligem Titandioxid in Überzügen für Schokoladenriegel belegt. Das Patent wurde also gar nicht angewendet – und das mit gutem Grund. Es besteht derzeit keine Zulassung für die Anwendung im Lebensmittelbereich. Bislang darf also nanoskaliges Titandioxid gar nicht in diesem Bereich angewendet werden (MÖLLER et al. 2009). Angesichts der hochkochenden Risikodebatte bestehen derzeit auch keine Absichten, ein Zulassungsverfahren anzustreben – so die Aussagen der Industrie. Der Ansatz der recherchierenden Journalisten beruht vermutlich darauf, dass Titandioxid als Lebensmittelzusatzstoff (E 171) zugelassen ist – aber nur in sehr viel größeren Darreichungsformen. E 171 in der Mikrometer-Form ist ein weißer Farbstoff, der sich in seinen Eigenschaften deutlich von der nanoskaligen, transparenten Form, die z. B. in Sonnencremes vorkommt, unterscheidet. Mikroskaliges Titandioxid wird genutzt, um Schokolade mit einer (weißen) Umhüllung zu versehen, damit darüber aufgetragener, farbiger Zuckerguss eine bessere Farbqualität erhält und besser haftet (*IRGC* 2008). Als zugelassener Lebensmittelzusatzstoff hat er die von der EU vorgesehenen Testverfahren durchlaufen und wurde für den Einsatz in Lebensmitteln als tauglich befunden. Sollte zukünftig das Patent Anwendung finden oder eine andere nanoskalige Form genutzt werden, müsste eine Neuzulassung nach der *Novel-Food-Verordnung*

¹ GROBE et al. 2008, S. 26.

(Verordnung EG Nr. 258/97²; siehe Kapitel 3) erfolgen. Ein wahrer Kern bleibt aber dennoch, denn auch für das jetzt vorliegende E 171 haben Forscher herausgefunden, dass Teile des Materials aus nanogroßen Teilchen bestehen (WEIR et al. 2012). Nach neuen Erkenntnissen ist eine trennscharfe Abgrenzung, was genau als Nanoprodukt gelten kann und was nicht, nicht ganz so unproblematisch, wie im Folgenden erläutert wird.

2.2 *Enkapsulierte Systeme*

Hartnäckig hält sich auch das Gerücht der geschmackswechselnden Pizza, das Journalisten bereits veranlasste, bei deutschen Traditionsunternehmen anzufragen, ob sie für ihre Tiefkühlpizzen eine solche Anwendung planen. In diesem Fall handelt es sich um ein einprägsames Beispiel für theoretisch vorstellbare Anwendungen von enkapsulierten Systemen, die einer der Akteure der Schweizer Risikodebatte mediengerecht anführte (MEILI et al. 2005, BOROWSKI 2010) und das seitdem die Gemüter erhitzt. Die herstellenden Unternehmen der Lebensmittelindustrie standen einige Zeit unter Rechtfertigungsdruck. Auch wenn das Medieninteresse zu diesem Beispiel nachgelassen hat, ist es durchaus lohnenswert, den realen Kern des Beispiels genauer anzuschauen. Wie bereits in der Studie des *International Risk Governance Councils (IRGC 2008)* festgestellt, sind enkapsulierte Systeme eines der wichtigen Anwendungsfelder im Bereich Lebensmittel, die bereits heute im Einsatz sind. In der Regel handelt es sich um Fetttröpfchen, Protein-, Stärke- oder Zuckerverbindungen, die eine Art schützende Hülle um eine Substanz bilden. Ihre Einsatzgebiete sind vielseitig. So können Lipidhüllen um Vitamine für eine bessere Aufnahme im Verdauungstrakt sorgen (END et al. 2007). Ähnlich aufgebaute Systeme können auch in der Diät Ernährung eingesetzt werden wie z. B. für Diätmayonnaisen oder Eiscremes. Hier ersetzt eine Lipidhülle mit nanometergroßen Einzeltröpfchen und einer Wasserfüllung im Inneren einen großen Fetttropfen – ohne eine Veränderung von Haptik oder Geschmack auf der Zunge (KAMPERS 2007). Enkapsulierte Systeme können außerdem für eine gezielte Freisetzung der Substanzen im Inneren eingesetzt werden. Es ließe sich also durchaus bestimmen, ob bei einer spezifischen Temperatur bestimmte Geschmacks- oder Farbstoffe freigesetzt würden. Insofern basieren die Visionen von geschmackswechselnden Pizzen oder farbwechselnden Getränken auf aktuellen Forschungen, auch wenn sie nicht auf dem Markt sind. Da enkapsulierte Systeme in der Medizin für pharmazeutische Substanzen eingesetzt werden können, liegen hier schon einige Risikobewertungen vor. Zusammenfassend gelten abbaubare Systeme in der Mehrzahl der Studien als unproblematisch (CONANO 2007, IRGC 2008, JRC 2008, SCENIHR 2009, EFSA 2009). Die entscheidende Frage, die sich in Zusammenhang mit der Risikobewertung von enkapsulierten Systemen stellt, ist aber weniger das nanoskalige Material der Umhüllung, sondern vielmehr die Frage, inwiefern sich die Aufnahmeeigenschaften und die Bioverfügbarkeit der umhüllten Substanzen (z. B. von Vitaminen) verändern und welche Effekte dies haben könnte (z. B. Hypervitaminosen). Der Einsatz von solchen Anwendungen z. B. mit einer besseren Bioverfügbarkeit von fettlöslichen Vitaminen wird vor allem deshalb von einigen Umwelt- und Verbrauchergruppen (*Friends of the Earth 2008, ANEC & BEUC 2009*) kritisch gesehen, weil die Verbraucher ganz verschiedenen Quellen ausgesetzt sein könnten, ohne einen Überblick der aufgenommenen Mengen zu behalten.

2 Vgl zum aktuellen Stand der Debatte um die Novel-Food-Verordnung:
http://ec.europa.eu/food/food/biotechnology/novelfood/initiatives_en.htm

2.3 Siliziumdioxid

Ebenfalls ein häufig wiederholtes Beispiel für den Einsatz von Nanomaterialien in Lebensmitteln ist das Nanoketchup (BOROWSKI 2010, MEYER-RADTKE 2010). Sogar in der Mannheimer Ausstellung des Museums für Arbeit und Technik hatte das Ketchup einen prominenten Platz.³ Seit den Debatten auf der EU-Konferenz „Safety for Success“ in 2007 (*European Commission* 2007) wehren sich die Hersteller gegen das hartnäckige Gerücht, im Ketchup wären Nanomaterialien enthalten (SEIDLER 2008) – wirklich ausräumen konnten sie es, wie man an der Mannheimer Ausstellung sieht, nicht. Hintergrund sind zwei sich verändernde Argumentationen im Verlauf der letzten vier Jahre: In den Jahren bis 2010 wurde in der Nanodebatte in sehr vielen Veröffentlichungen Siliziumdioxid als eines der wichtigsten Nanomaterialien genannt (z. B. *BMBF* 2009). Bei der Recherche, welche Nanomaterialien im Lebensmittelbereich vorkommen, stieß man vermutlich schnell auf amorphes Siliziumdioxid (SiO_2) – auch pyrogene Kieselsäure genannt – die bereits seit den 1960er Jahren als Fließmittel (Zusatzstoff, der Verklumpungen verhindert) in Lebensmitteln zugelassen ist. Die Argumentation der Hersteller bis etwa 2010 war, dass es sich aber keinesfalls um ein Nanomaterial handle, da der Stoff deutlich größer sei. Zudem wurde betont, dass wenn Siliziumdioxid im Ketchup verwendet würde, dass dieses dann vorschriftsmäßig zu deklarieren sei und als Lebensmittelzusatzstoff mit seiner Zulassungsnummer (E551) in der Angabe der Inhaltsstoffe aufzuführen sei. Stehe also auf einer Ketchupflasche keine solche Angabe, so könne davon ausgegangen werden, dass auch kein E 551 enthalten sei, so die Aussagen verschiedener Hersteller im Rahmen der IRGC-Studie (*IRGC* 2008). Tatsächlich stehen auf den im deutschen Handel verfügbaren Ketchupflaschen keine Inhaltsangaben mit Hinweisen auf E 551.

Ein wahrer Kern könnte aber dennoch dahinter stecken. Siliziumdioxid wird unbestrittener Weise für Tomaten- oder Paprikapulver, für Speisesalz oder in Gewürzen eingesetzt, damit diese nicht klumpen und rieselfähig bleiben. Hier finden sich Hinweise auf den Verpackungen. Wird nun ein solches Gewürzpulver oder eine Mischung davon in einem Gewürzketchup verwendet, so müssen nicht mehr die einzelnen Bestandteile, sondern nur noch die Gewürzmischung als Ganzes angegeben werden. Es könnte also doch E551 im Gewürzketchup enthalten sein. Die Frage ist, ob man in diesem Zusammenhang von einem Nanoketchup sprechen kann.

Ein Blick auf die Art der Produktion hilft hier weiter. Bei der Herstellung von amorphem Siliziumdioxid im Flammhydrolyse-Verfahren entstehen zunächst nanometergroße Primärteilchen, die zu Aggregaten und Agglomeraten in einem Größenbereich bis 250 μm fest verklumpen. Bis etwa 2010 waren sich die Hersteller einig, dass diese aufgrund ihrer Größe nicht als Nanomaterialien zu bezeichnen sind. Man spricht hier allerdings heute von „nanostrukturierten Materialien“, die im Verbund größer als 100 nm sind, deren Primärteilchen jedoch kleiner sind (MAIER 2010). Kein Wunder also, dass es schwierig bleibt, sich begrifflich zu orientieren (KUPFERSCHMIDT 2010). Die Kernfrage aber, was denn die Tatsache aussagen würde, wenn das bekannte und zugelassene E551 nach der heute gültigen Empfehlung für eine Definition (*EU Commission* 2011) zu den Nanomaterialien zu zählen wäre, wird selten geklärt. In einer 2006 durchgeführten Prüfung (*ECETOC* 2006) wurden verschiedene Toxizitätstests für SiO_2 ohne negative Befunde durchgeführt. Auch die Europäische Behörde für

3 Ausstellung: Nano! Nutzen und Visionen einer neuen Technologie, 18. März bis 14. November 2010, Technosium, Mannheim.

Lebensmittelsicherheit (EFSA) schloss sich diesem Ergebnis 2009 an (EFSA 2009). Wie für diese Materialien typisch, verbleiben allerdings in einer Art Normalverteilung an den „Rändern“ Reste von nanometerkleinen Materialien (IRGC 2008), während der Großteil in der Mitte der Verteilungskurve agglomeriert vorliegt. Bei den Zulassungen von SiO₂ wurde diese Partikelgrößenverteilung des Stoffes nicht explizit berücksichtigt (NanoKommission 2008). Die NanoKommission der deutschen Bundesregierung bemängelte deshalb die zu geringe Anzahl von gut vergleichbaren Fütterungsstudien. Weiter empfahl die NanoKommission, dass neue Studien zum Verhalten des Nanomaterials und zum Beleg der gesundheitlichen Unbedenklichkeit erforderlich werden, wenn neue Produktionsverfahren angewendet werden sollten, die sich deutlich von den bisher bewerteten unterscheiden und zu einer wesentlichen Veränderung der Materialien führen. Besonders die Umwelt- und Verbraucherorganisationen forderten schon 2008 eine Aktualisierung der Sicherheitsbewertung von SiO₂ mit spezifischem Fokus auf die Nanomaterialien. Im Frühjahr 2010 präsentierte ein Hersteller erste Ergebnisse dieser geforderten neuen Studien, bei denen Einzelgaben von nanoskaligem Siliziumdioxid gemäß der *OECD Guideline No. 417* (OECD 2010) gefüttert wurden – ohne negative Befunde (MAIER 2010). Bis 2016 wird die EFSA Siliziumdioxid noch einmal bewerten und hier die Nanopartikel besonders berücksichtigen (SRU 2011).

2.4 Food-Contact-Materials: Lebensmittelverpackungen, PET-Flaschen und Einsatz bei der Lebensmittelherstellung

Neben Nanomaterialien in Lebensmitteln werden Nanomaterialien in Verpackungen verwendet, die mit dem Lebensmittel in Kontakt kommen. Hierzu zählen antimikrobielle oder leicht zu reinigende Beschichtungen für Verpackungen, Folien oder mehrschichtige Verbundsysteme bis hin zu Aufbewahrungshilfen (Vorratsboxen) oder Kühlschränken. Zu nennen sind ebenfalls Nanotone, die z. B. zwischen Polymerschichten eine Gasfestigkeit erzeugen können, die für PET-Flaschen ein wichtiges Anwendungsfeld für kohlenensäurehaltige Getränke sein könnte. Titandioxid könnte ähnlich wie im Einsatzbereich der Sonnencremes innerhalb von Polymerschichten so eingearbeitet werden, dass ein effektiver Sonnenschutz der Lebensmittel entstände, der für eine längere Haltbarkeit bei UV-empfindlichen Nahrungsmitteln oder Getränken sorgen könnte. Problematisch für eine Bewertung könnte hier vor allem die notwendige Flexibilität und extreme Belastbarkeit des Materials werden.

Noch ein wichtiger Anwendungsbereich von Nanomaterialien oder Nanotechnologien ist das *Food-Processing*, also die Herstellungsprozesse selbst. Auch hier sind die Beispiele vielfältig. Antimikrobielle oder leicht zu reinigende Oberflächenbeschichtungen sind für Förderbänder, Rühr- und Knetmaschinen ebenso interessant wie für die Ausrüstung von Öfen oder Backblechen – im privaten wie im Profi-Anwender-Bereich. Hinzu kommen verschiedene Filterverfahren, die z. B. nanometergroße Viren filtern könnten.

Karla PFAFF und Jutta TENSCHERT fassten anlässlich des 6. BfR-Verbraucherforums im November 2008 die Anwendungsbereiche in Lebensmittelverpackungen zusammen. Es finden sich dabei detaillierte Angaben zu antimikrobiellen Beschichtungen mit Nanosilber, zu Nanotonen in Polymeranwendungen (PET-Flaschen) sowie zu Titandioxid als UV-Schutz. Die Expertinnen kommen zu dem Urteil, dass die Datenbasis jeweils zu gering ist, um abschließende Bewertungen vorzunehmen (PFAFF und TENSCHERT 2008). Zu einem ähnlichen Urteil kommt auch eine Studie des Öko-Institut e. V, die im Auftrag der TA-Swiss durchge-

führt wurde. Die Autoren skizzieren hier die verschiedenen Anwendungsbereiche und adressieren kritisch den offenen Forschungsbedarf (MÖLLER et al. 2009).

In einer im Dezember 2009 veröffentlichten Stellungnahme des Bundesinstituts für Risikobewertung in Berlin (BfR) wird von Nanosilber in Lebensmitteln und Produkten des täglichen Bedarfs sogar explizit abgeraten. Aus Sicht des BfR sei eine Bewertung der mit einer breiten Anwendung von Nanosilber verbundenen gesundheitlichen Risiken derzeit noch nicht abschließend möglich (BfR 2009). Bereits 2008 hatte das Berliner Institut eine Verbesserung der Datenlage zu Nanomaterialien im Bereich Lebensmittel und Verpackungen angemahnt (BfR 2008). Der Sachverständigenrat für Umweltfragen führt die Datenlücken in seinem jüngsten Bericht ebenfalls detailliert aus und sieht Defizite vor allem im Bereich der Ökotoxizität und des Wissens über das Verhalten von Silbernanopartikeln im Abfallpfad (SRU 2011). Die adressierten Lücken scheinen sich demnach noch nicht geschlossen zu haben.

3. Regulation

Zunächst einmal gelten für Lebensmittel, die Nanomaterialien als Zutaten enthalten, allgemeine lebensmittelrechtliche Vorschriften (Verordnung [EG] Nr. 178/2002/35) sowie das Lebensmittel- und Futtermittelgesetzbuch ([LFGB]36), wonach nur sichere Lebensmittel in den Verkehr gebracht werden dürfen (*NanoKommission* 2010). Die oben erwähnten Rieselhilfen fallen unter den Anwendungsbereich der Verordnung (EG) Nr. 1333/2008 über Lebensmittelzusatzstoffe sowie unter die Verordnung (EG) Nr. 1331/2008/42, die die Zulassungsverfahren für Zusatzstoffe, Enzyme und Aromen festlegt.

Zentrales Regelwerk auf EU-Ebene bei der Neuzulassung von Nanomaterialien für den Einsatz in Lebensmitteln oder Lebensmittelzusatzstoffen ist darüber hinaus die *Novel Food Directive* (REGULATION [EC] No 258/97, *Europäisches Parlament und Europäischer Rat* 1997). Seit 2008 ist eine Überarbeitung zwischen Parlament und Kommission in der Diskussion. Eine Einigung ist nach wie vor nicht absehbar, zuletzt scheiterten die Verhandlungen im März 2011 am Themenfeld der Nutzung geklonter Tiere. Für den Bereich des Einsatzes von Nanotechnologien und Nanomaterialien konnte man sich wenigstens auf eine Definition und die Absicht einer verpflichtenden Kennzeichnung einigen (DALLI 2011). Die Forderung nach einer verpflichtenden Kennzeichnung war auch in der *NanoKommission* der deutschen Bundesregierung diskutiert worden, hatte allerdings keine Einigung zwischen den verschiedenen Stakeholdern aus Industrie, Politik und Behörden, Wissenschaftlern und Umwelt- und Verbraucherverbänden erreichen können (*NanoKommission* 2011). Die überarbeitete Version der *Novel-Food-Verordnung* wird mit ihrem in Kraft treten maßgeblich die nationalen Gesetzgebungen der Mitgliedsländer bestimmen und regelt die Zulassungsbedingungen neuartiger Lebensmittel, von Nahrungsergänzungsmitteln oder *Food-Contact-Materials*, wenn sie neuartige Eigenschaften gegenüber konventionellen Materialien entfalten. Hintergrund sind vor allem Materialien, die spezifische Wirkungen hervorrufen und z. B. an der Schnittstelle zwischen Lebensmittel und Pharmazeutika angesiedelt sind. Die gegenwärtigen Diskussionen um Nanomaterialien in Lebensmitteln haben nun neue Elemente hinzugefügt.

In der jetzigen Fassung sind Nanomaterialien oder die Verwendung von Nanotechnologien im *Food-Processing* dann einbezogen, wenn sie im Ergebnis neuartige Eigenschaften entfalten. Vorgesehen sind in diesem Fall verschiedene Verfahren der Risikobewertung wie z. B.

Fütterungsstudien und Toxizitätstests. In der politischen Debatte um die Novellierung wurden vor allem eine verschärfte Risikobewertung sowie eine Kennzeichnungspflicht gefordert.

Mitursache für die nervenzehrende Länge der politische Entscheidungsfindung (DALLI 2011) ist vermutlich auch das Ringen um eine grundlegende Definition von Nanomaterialien, die als Grundlage für alle Anwendungsbereiche und ihre jeweiligen Regulierungen benötigt wird. Mitte Oktober 2011 veröffentlichte die Europäische Kommission einen konkreten Vorschlag. Danach versteht man unter einem Nanomaterial „ein natürliches, bei Prozessen anfallendes oder hergestelltes Material, das Partikel in ungebundenem Zustand, als Aggregat oder als Agglomerat enthält, und bei dem mindestens 50 % der Partikel in der Anzahlgrößenverteilung ein oder mehrere Außenmaße im Bereich von 1 nm bis 100 nm haben“ (*European Commission* 2011).

Für die Lebensmittelindustrie hat dieses weitreichende Konsequenzen, denn erstmalig sind auch die natürlichen Nanomaterialien mit eingeschlossen. Bisher ist die Lebensmittelindustrie davon ausgegangen, dass nur künstlich hergestellte Nanomaterialien betrachtet werden (*BLL* 2009, *NanoKommission* 2010). Den Debatten der letzten Jahre folgend, hat die EU hier eine deutliche Erweiterung mit der aktuellen Definition vorgenommen, die z. B. Nano-Emulsionen und enkapsulierte Systeme eindeutiger einschließt als vorher, da diese aus natürlichen Materialien bestehen. Die Verwendung von natürlichen Nanomaterialien wie z. B. kleinsten Fetttropfen spielt vor allem in der Diätenernährung eine große Rolle. So erklärten die Industrievertreter auf der Verbraucherkonferenz „Nano-Dialog Baden-Württemberg – kleine Teilchen, große Fragen“ im Dezember 2011, dass zukünftig Milch oder Mayonnaise mit dem Begriff Nanomaterial bezeichnet werden müssten und dass eine nachfolgende Kennzeichnung die Verbraucher vermutlich verwirren würde (*STÄHLE* 2011). Die Verbraucherinnen und Verbraucher wollten es aber dennoch genauer wissen und fragten nach den verschiedenen Einsatzbereichen und den Möglichkeiten einer guten Überwachung durch die entsprechenden Behörden. Hier sind also Industrie, Politik und Behörden gleichermaßen gefragt, die richtigen Rahmen zu setzen und sowohl die Prozesse zur Festlegung eines verbindlichen regulativen Rahmens wie auch Anwendungsfelder, ihre Chancen und Risiken transparenter zu machen (*MLR* 2011). Ohne diese Transparenz wird es schwierig, bei den Verbraucherinnen und Verbrauchern ein entsprechendes Vertrauen aufzubauen und von den Spekulationen einer phantasievollen Gerüchteküche in die Welt der realen Anwendungen zurückzufinden.

4. Schlussbetrachtung

Der Einsatz von Nanomaterialien und Nanotechnologien in Lebensmitteln und Lebensmittelverpackungen scheint nach wie vor von einem bemerkenswerten Versteckspiel gekennzeichnet zu sein (*RENTON* 2006, *European Commission* 2007). Es stellt sich aber die Frage, ob die Strategie der „Nicht-Kommunikation“ auf Dauer Erfolg haben kann. Denn solange die Industrie nicht transparent kommuniziert, was genau an Nanomaterialien sinnvoller Weise und mit welchen Eigenschaften in den Lebensmitteln, als Zusatzstoffe oder im Bereich Verpackungen und Herstellung eingesetzt wird oder werden könnte, wird in den Medien vor allem dann auf die „Gerüchteküche“ zurückgegriffen, wenn es darum geht, anschaulich und mit hoher Emotionalität verbunden die potenzielle Risiken aufzuzeigen (*ODENWALD* 2008, *MEYER-RADTKE* 2010). Welche Auswirkung auf den Markterfolg dieses Kommunikationsmuster haben kann, hat die Gentechnologie-Debatte eindrücklich gezeigt. Die verschiedenen Studien zur

Risikowahrnehmung haben schon seit 2008 deutlich gemacht, dass die Verbraucherinnen und Verbraucher sehr wohl in der Lage sind, komplexe Technologien differenziert zu betrachten (ZIMMER et al. 2008, GROBE et al. 2008, 2012). Die Industrie könnte den Verbrauchern hier sicher mehr Urteilsvermögen zutrauen.

Natürlich gehört Mut dazu, jahrelang eingeübte Kommunikationsmuster zu verlassen, aber erste Versuche auch auf größeren Bürgerdialogen zu erklären, was man genau unter dem Einsatz von Nanomaterialien in Bereich Lebensmittel und Verpackungen versteht, haben durchaus Erfolge gezeigt. Auf dem Verbraucherkongress in Baden-Württemberg jedenfalls diskutierten die Bürgerinnen und Bürger hartnäckig, aber fair mit den Expertinnen und Experten. Beide Seiten gingen um viel Wissen bereichert nach Hause: Die Verbraucher konnten eine Idee entwickeln, wovon überhaupt gesprochen wird, wenn es um Nanomaterialien in Ketchup oder Diät-Mayonnaisen geht. Vielleicht können sie nach der Diskussion besser entscheiden, was sie genau wollen und was nicht. Auf der anderen Seite kennt die Industrie nun zumindest die Fragen sehr genau, denen sie sich in Zukunft stellen muss. Sie könnte ihre Kommunikationsstrategien danach ausrichten, wenn die Unternehmen das wollten. Es bleibt abzuwarten, ob sich der Nebel der „Gerüchteküche“ zeitnah lichten wird.

Literatur

- ANEC & BEUC: Nanotechnology: Small is beautiful but is it safe? 2009. Verfügbar unter:
<http://www.anec.org/attachments/Nanotechnology%20Small%20is%20beautiful%20but%20is%20it%20safe%20%20ANEC%20%20BEUC%20leaflet%20on%20nanotechnology%20and%20nanomaterials.pdf>
- BLL (Bund für Lebensmittelrecht und Lebensmittelkunde e. V.): Sachstands- und Positionspapier. Nanotechnologie im Lebensmittelbereich. Bonn 2009. Verfügbar unter:
<http://www.bll.de/download/positionspapiere/sachstand-nanotechnologie.pdf>
- BfR (Bundesinstitut für Risikobewertung): Die Datenlage zur Bewertung der Anwendung der Nanotechnologie in Lebensmitteln und Lebensmittelbedarfsgegenständen ist derzeit noch unzureichend; Stellungnahme Nr. 001/2009 des BfR vom 3. Juli 2008, Berlin 2008. Verfügbar unter:
http://www.bfr.bund.de/cm/343/die_datenlage_zur_bewertung_der_anwendung_der_nanotechnologie_in_lebensmitteln.pdf
- BfR (Bundesinstitut für Risikobewertung): BfR rät von Nanosilber in Lebensmitteln und Produkten des täglichen Bedarfs ab; Stellungnahme Nr. 024/2010 des BfR vom 28. Dezember 2009, Berlin 2009. Verfügbar unter:
http://www.bfr.bund.de/cm/343/bfr_raet_von_nanosilber_in_lebensmitteln_und_produkten_des_taeglichen_bedarfs_ab.pdf
- BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung): nano.DE-Report 2009. Status Quo der Nanotechnologie in Deutschland. Bonn, Berlin 2009. Verfügbar unter:
http://www.bmbf.de/pub/nanode_report_2009.pdf
- BOGGAN, S.: Once bitten ... The science of nanotechnology is already revolutionizing the worlds of medicine and construction. Soon it could be doing the same for our food – but after the backlash against GM foods, will the consumer swallow it? The Guardian 2008. Verfügbar unter:
<http://www.guardian.co.uk/science/2008/mar/26/nanotechnology.food?INTCMP=SRCH>, 26.03.2008.
- BOROWSKI, A.: Mini-Partikel im Essen. Rote Milch und Pizza Multi. Sueddeutsche.de 2010. Verfügbar unter:
<http://www.sueddeutsche.de/wissen/mini-partikel-im-essen-rote-milch-und-pizza-multi-1.833179>, 17.05.2010.
- CONANO: Comparative Challenge of Nanomaterials. A Stakeholder Dialogue Project. Vergleichende Nutzen-Risiko-Analyse von abbaubaren und nicht abbaubaren Nano-Delivery-Systemen sowie konventionellen Mikro-Delivery-Systemen in pharmazeutischen und kosmetischen Anwendungen. St. Gallen: Stiftung Risiko-Dialog 2007. Verfügbar unter: <http://www.risiko-dialog.ch/Themen/Nanotechnologie/dialoge/296?itemid=76>
- DALLI, J.: Statement by Commissioner Dalli on the Lack of Agreement in the Conciliation Procedure on the Novel Food Regulation. 2011
- ECETOC (European Centre for Exotoxicology and Toxicology of Chemicals): Synthetic Amorphous Silica. JACC Report No. 51, Brussels: European Centre for Exotoxicology and Toxicology of Chemicals 2006

- EFSA (European Food Safety Authority): The potential risks arising from nanoscience and nanotechnologies on food and feed safety. Scientific opinion of the scientific committee. The EFSA Journal 958, 1–39 (2009). Verfügbar unter: <http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/doc/958.pdf>
- END, L., HABER, B., SCHULTE, S., and OBERMÜLLER-JEVIC, U.: Nanoformulations of Health Ingredients. PARTEC 2007
- European Commission (European Commission, Community Health and Consumer Protection): First Annual Nano Safety for Success Dialogue Report. Report written by A. GROBE, R. DOUBLEDAY and J. HALE. 2007. Verfügbar unter: http://ec.europa.eu/health/archive/ph_risk/committees/documents/ev_20071025_frep_en.pdf
- European Commission: Commission Recommendation of 18 October 2011 on the definition of the term “nanomaterial” (Text with EEA relevance) (2011/696/EU). Official Journal of the European Union L275/38–40 (2011). Verfügbar unter: http://ec.europa.eu/environment/consultations/pdf/recommendation_nano.pdf
- Europäisches Parlament und Europäischer Rat: Verordnung (EG) Nr. 258/97 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. Januar 1997 über neuartige Lebensmittel und neuartige Lebensmittelzutaten. 1997. Verfügbar unter: http://eur-lex.europa.eu/smartapi/cgi/sga_doc?smartapi!celexapi!prod!CELEXnumdoc&numdoc=31997R0258&model=guichett&lg=de, 27.01.1997
- Friends of the Earth: Out of the laboratory and onto our plates. Nanotechnology in Food & Agriculture. Written by G. MILLER and Dr. R. SENJEN. 2008. Verfügbar unter: http://static.sdu.dk/mediafiles//Files/Om_SDU/Fakulteterne/Teknik/NANO/nano_food_report.pdf
- GROBE, A., SCHNEIDER, C., SCHEUTLA, V., REKIC, M., and NAWRATH, S.: Nanotechnologien: Was Verbraucher wissen wollen. Studie im Auftrag der Verbraucherzentrale des Bundesverbandes e. V. Berlin. Stuttgart 2008. Verfügbar unter: http://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=grobe%20was%20verbraucher%20wissen%20wollen&source=web&cd=1&ved=0CCMQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.vzbv.de%2Fmediapics%2Fstudie_nanotechnologien_vzbv.pdf&ei=_dDzTsTQJaSO4gTC1ryNCA&usq=AFQjCNHMTRvnFMFMR9itYRCFiYmonKWocA
- GROBE, A., RISSANEN, M., FUNDA, P., DE BEER, J., and JONAS, U.: Nanotechnologien aus der Sicht von Konsumenten. Was Verbraucher wissen und was sie wissen wollen. Bundesamt für Gesundheit BAG, Bern; Stiftung Risiko-Dialog, St. Gallen 2012. Verfügbar unter: http://www.dialogbasis.de/fileadmin/content_images/Home/Konsumentenstudie_Nano_2011_final_1_1.pdf
- IRGC (International Risk Governance Council): Risk Governance of Nanotechnology Applications in Food and Cosmetics. Written by A. GROBE and O. RENN. Geneve 2008
- JRC (Joint Research Centre): Nanomedicine: Drivers for development and possible impacts. Written by WAGNER, V. (VDI Technologiezentrum GmbH, Düsseldorf, Germany), HÜSING, B., GAISSER, S. (Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research, Karlsruhe, Germany), BOCK, A.-K. (Herausgeberin, IPTS). 2008. Verfügbar unter: <http://ftp.jrc.es/EURdoc/JRC46744.pdf>
- KAMPERS, F.: Micro- and nanotechnologies for food and nutrition in preventative healthcare. Food Science & Technology 21/1 (2007)
- KUPFERSCHMIDT, K.: Nano-Food ruft Kritiker auf den Plan. Handelsblatt 2010. Verfügbar unter: <http://www.handelsblatt.com/technologie/forschung-medizin/forschung-innovation/nano-food-ruft-kritiker-auf-den-plan/3351690.html?p3351690=all, 22.01.2010>
- MAIER, M.: Product Safety, Inorganic Materials. Evonik Degussa GmbH 2010
- MEILI, C., BRATSCHI, T., and FELDMANN, L.: Packmitteltechnologie von morgen. Heißt die Food-Zukunft Nano? PackReport 5, 10–12 (2005)
- MEYER-RADTKE, M.: Jetzt kommen mehr Nanoteilchen ins Essen. WELT Online 2010. Verfügbar unter: <http://www.welt.de/wissenschaft/article10052826/Jetzt-kommen-mehr-Nanoteilchen-ins-Essen.html, 03.10.2010>
- MLR (Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg) 2011: Nano-Dialog Baden-Württemberg – kleine Teilchen, große Fragen. Zentrale Fragen und Empfehlungen – Zusammenführung während des Kongresses. Verfügbar unter: <http://www.nanoportal-bw.de/pb/site/nanoportal-bw/get/documents/nanoportal-bw/Objekte/pdf/Zentrale%20Fragen%20Zusammenführung.pdf>
- MÖLLER, M., EBERLE, U., HERMANN, A., MOCH, K., and STRATMANN, B.: Nanotechnologie im Bereich der Lebensmittel. TA-Swiss 53 (2009). Verfügbar unter: http://www.vdf.ethz.ch/service/3234/3251_Nanotechnologie-im-Bereich-der-Lebensmittel_OA.pdf
- NanoKommission (NanoKommission der deutschen Bundesregierung): Verantwortlicher Umgang mit Nanotechnologien. Bericht und Empfehlungen der NanoKommission der deutschen Bundesregierung 2008. Berlin 2008. Verfügbar unter: http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/nanokomm_abschlussbericht_2008.pdf

- NanoKommission* (NanoKommission der deutschen Bundesregierung): Überprüfung der Regulierung von Nanomaterialien und Nanoprodukten. Themengruppe 3 der NanoKommission. Berlin 2010. Verfügbar unter: http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/nano_abschlussbericht3_bf.pdf, 18.09.2010.
- NanoKommission* (NanoKommission der deutschen Bundesregierung): Verantwortlicher Umgang mit Nanotechnologien. Bericht und Empfehlungen der NanoKommission der deutschen Bundesregierung 2011. Berlin 2011. Verfügbar unter: http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/nano_schlussbericht_2011_bf.pdf
- ODENWALD, M.: Gefährliche Zwerge. FOCUS Online 2008. Verfügbar unter: http://www.focus.de/wissen/wissenschaft/tid-8724/nanotechnologie_aid_235769.html
- OECD: OECD Guideline For The Testing Of Chemicals. Toxicokinetics, Guideline 417 (2010). Verfügbar unter: <http://www.oecd-ilibrary.org/docserver/download/fulltext/9741701e.pdf?expires=1352718469&id=id&acname=freeContent&checksum=C9C5C6E8AE7A833509410C14C75AEC2D>, 22.07.2010.
- PFÄFF, K., und TENSCHERT, J.: Nanomaterialien in Lebensmittelverpackungen. BfR-Forum für Verbraucherschutz, 11. 11. 2008. Verfügbar unter: http://www.bfr.bund.de/cm/232/nanomaterialien_in_lebensmittelverpackungen.pdf
- REIFERT, S.: Verbraucherschutz. Warnung vor Nanotechnologie. Mittwoch, 21. 10. 2009, FOCUS-Online 2009. Verfügbar unter: http://www.focus.de/wissen/mensch/verbraucher-schutz-warnung-vor-nanotechnologie_aid_446744.html
- RENTON, A.: Welcome to the world of nano foods. The Observer 2006. Verfügbar unter: <http://observer.guardian.co.uk/foodmonthly/futureoffood/story/0,,1971266,00.html>
- SCENIHR (Scientific Committee on Emerging and Newly-Identified Health Risks): Scientific Basis for the Definition of the Term "Nanomaterial". Brüssel: Europäische Kommission 2010
- SRU (Sachverständigenrat für Umweltfragen): Vorsorgestrategien für Nanomaterialien. Sondergutachten des SRU 2011. Verfügbar unter: http://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/02_Sondergutachten/2011_09_SG_Vorsorgestrategien%20f%C3%BCr%20Nanomaterialien.pdf?__blob=publicationFile
- SEIDLER, C.: Umweltschützer warnen vor Nano-Invasion in Lebensmitteln. SPIEGEL Online 2008. Verfügbar unter: <http://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/0,1518,540764,00.html>, 11.03.2008.
- STÄHLE, S.: Kleine Teilchen – große Fragen! Präsentation Dr. Sieglinde STÄHLE, Bund für Lebensmittelrecht und Lebensmittelkunde (BLL) e. V. NanoDialog Baden-Württemberg, 1. Dezember 2011, Dialogstationen: „Lebensmittel und Verpackungen“. 2011. Verfügbar unter: http://www.nanoportal-bw.de/pb/site/nanoportal-bw/get/documents/nanoportal-bw/Objekte/pdf/Vorträge%20Nano%20Kongress%202011/Präsentation_Lebensmittel_und_Verpackungen_Dr.%20Sieglinde%20Stähle.pdf
- The Economist*: Much Ado About Almost Nothing. The public outcry over genetically modified foods offers several lessons for those working and investing in nanotechnology. 2004. Verfügbar unter: <http://www.economist.com/node/2521232>, 18.03.2004.
- WEIR, A., WESTERHOFF, P., FABRICIUS, L., HRISTOVSKI, K., and GOETZ, N. VON: Titanium dioxide nanoparticles in food and personal care products. *Environ. Sci. Technol.* 46/4, 2242–2250 (2012), DOI: 10.1021/es204168d, January 18, 2012, American Chemical Society. Verfügbar unter: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es204168d>
- ZIMMER, R., HERTEL, R., und BÖL, G.-F.: Wahrnehmung der Nanotechnologie in der Bevölkerung. Repräsentativerhebung und morphologisch-psychologische Grundlagenstudie. Berlin: BfR Wissenschaft 2008. Verfügbar unter: http://bfr.bund.de/cm/350/wahrnehmung_der_nanotechnologie_in_der_bevoelkerung.pdf

Dr. Antje GROBE
DIALOG BASIS / Universität Stuttgart
Breitwasenring 15
72135 Dettenhausen
Bundesrepublik Deutschland
Tel: +49 7157 7213311
Fax: +49 7157 7211850
E-Mail: antje.grobe@dialogbasis.de

Nanomaterialien in der Kosmetik – Nano am Körper?

Rüdiger IDEN (Dudenhofen)

Zusammenfassung

Zu den ersten kommerzialisierten Anwendungen der Nanotechnologie gehörte der Einsatz von Nanopartikeln in der Kosmetik, insbesondere in Sonnenschutzprodukten. Während die Anwendung von nanotechnologischen Erkenntnissen z. B. in der Elektronik oder im Leichtbau nach wie vor von den Bürgern positiv bewertet wird, stehen sie dem Einsatz von Nanopartikeln im und am Körper äußerst skeptisch gegenüber. Dabei gehören die nanoskopischen UV-A- und UV-B-Filter zu den auch toxikologisch am besten untersuchten Nanopartikeln.

Alle wissenschaftlich anerkannten Risikoanalysen belegen den höheren Nutzen der hochabsorbierenden Filter im Vergleich zu der sehr geringen Wahrscheinlichkeit der Freisetzung von Nanopartikeln. Jenseits der Nanopartikel öffnet die Beherrschung der Nanodomäne generell ein großes Chancenpotenzial für Kosmetik und Pflegeprodukte: (a) sichere, funktionale Verpackungen; (b) Ressourcen effiziente, besser wirksame Formulierungen (z. B. Kolloidosome) für Emulsionen, Riechstoffe, Enzyme; (c) geordnete Polymerschäume für Hygieneprodukte; (d) *Nutra-/Cosmeceuticals* (Schnittstelle zu Pharma).

Abstract

Some of the very early commercialized applications of nanotechnology proceeded in adopting nanoparticles to care and cosmetic products, particularly in sun screens. While applying results of nanosciences in e.g. electronics or light weight construction is very well accepted by the citizens, bringing nanoparticles into contact with or within the human body is perceived as potentially hazardous. Nevertheless, nanoscopic UV-A- and UV-B-filters are analyzed second to no other nanoparticles. All of the scientifically accepted risk analyses are documenting a higher benefit against a negligible potential of released particles. Further, controlling the nanodomain generally open a lot of opportunities for cosmetics and care products: (a) safe, functional packaging materials; (b) resource efficient formulations, e.g. colloidosomes, with enhanced effectiveness (emulsions, flavours, enzymes); (c) ordered polymer foams for hygiene products; (d) nutra/cosmeceuticals (overlap to pharmaceuticals).

1. Einleitung

Während die Anwendung von Nanotechnologie in der Elektronik oder die Verwendung von Nanomaterialien für den Leichtbau nach wie vor auf große Akzeptanz treffen, wird Nano in Lebensmitteln oder in der Kosmetik deutlich kritischer beurteilt. Eine Befragung deutscher Bürger zur Einschätzung von Anwendungen der Nanotechnologie spiegelte dies wider (Abb. 1).

Während Anwendungen, die Erleichterungen versprechen, in der Verbrauchermeinung ganz oben stehen, wird Nano in Lebensmitteln deutlich abgelehnt. Kosmetik findet im Ver-

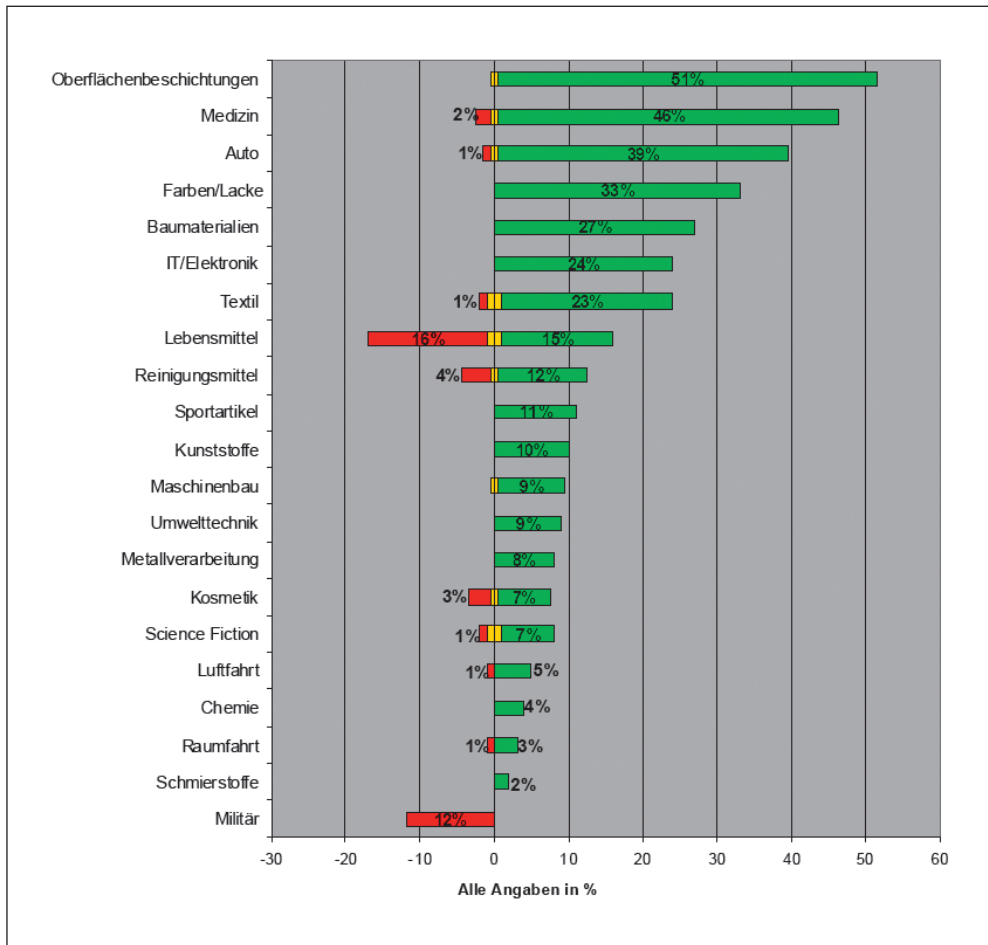


Abb. 1 Wichtigkeit sowie positive (grün) bzw. negative (rot) Einschätzung von Anwendungen der Nanotechnologie (Mehrfachnennungen möglich). Quelle: Verbraucherzentrale 2008, übereinstimmend mit BfR-Studie 2007

hältnis von ca. 2:1 noch eine Mehrheit Befürworter, wird aber als eher weniger wichtig wahrgenommen.

In der Wissenschaft sind die meisten Anwendungen in der Kosmetik und Körperpflege der angewandten Kolloidik zuzurechnen. Damit spielte die Beherrschung der Nanodomäne schon immer eine entscheidende Rolle. Hier haben die Entwicklungen der analytischen und der chemischen Nanotechnologien einen ungeheuren Innovationsschub ausgelöst.

2. Herausforderungen in der Kosmetik und Körperpflege

Die Anwendungsbreite nanotechnologischer Lösungen in der Kosmetik und in der Körperpflege entspricht praktisch allen Herausforderungen, denen sich diese Industrie gegenüber sieht:

Herausforderungen bei Lebensmitteln und Kosmetik

- Verpackung:
Barrierefunktion, Trennung, Verschlüsse, Mischfaktoren, Bioabbaubarkeit.
- Multiphasensysteme:
Gele, Alginat, Pasten, Emulsionen, Suspensionen, Schäume, Kolloidosome.
- Dosiersysteme für Riech- und Geschmacksstoffe, Enzyme.
- *Nutra-/Cosmeceuticals* (Überlappung mit Pharma).

Für die Verpackung kommen Nanokomposite und Blends, z. B. mit abbaubaren Polymeren, in Betracht. Die Mehrphasensysteme in Cremes, Lotionen, Sprays und Schäumen sind Kolloide, bei denen z. B. durch Mikroemulgierung Tenside eingespart werden können. Die gezielte Freisetzung von Wirkstoffen bzw. aktiven Substanzen mit Hilfe von Nanocontainern ist ein Feld intensiver Forschung, angetrieben von der Pharmaindustrie, die dringend neuartige Transportsysteme für immer empfindlichere bzw. unlösliche Wirkstoffe benötigt.

Ebenfalls mit starkem Bezug zur Pharmaindustrie sind die neuen Arbeitsgebiete *Nutra- und Cosmeceuticals*. Kosmetika, die biologisch aktive Substanzen z. B. in Tablettenform transportieren (Beispiel: Lakto-Lycopin als Haut-Anti-Aging-Mittel), sollen hier nicht weiter betrachtet werden, da sie ein eigenes Gebiet darstellen.

3. Nanopartikel als UV-Filter mit vernachlässigbarem Risiko

In der Debatte der Fachleute aus Kosmetikindustrie, Regulatoren und Verbraucherverbänden hingegen war die Verwendung von nanopartikulären Pigmenten in den letzten Jahren ein stark umstrittenes Gebiet. Die Diskussion endete vorerst mit einer neuen EU-Verordnung zu Kosmetikprodukten. Darin wird die Kennzeichnungspflicht für Nanoobjekte mit einer Übergangsfrist ab 2013 festgeschrieben. Die Übergangsfrist dient zur Vermeidung von Rückrufen wegen nicht ordnungsgemäßer Verpackung. Die Kosmetikindustrie hat sich verpflichtet, alle neu in den Handel kommenden Produktverpackungen bereits jetzt zu kennzeichnen.

Die Debatte um Nanopartikel in der Körperpflege entzündete sich an den submikrometergroßen UV-Pigmenten, die gerade wegen ihrer hohen Wirksamkeit gegen UV-A- und UV-B-Strahlung und ihres geringen allergenen Potenzials als Mittel der Wahl für den Sonnenschutz erschienen. Der Grund für die hohe Absorption liegt in dem ausgeprägten Quantengrößeneffekt, wie die Mie-Kurven für Zinkoxidpartikel belegen.

Verbraucherschützer und Umweltorganisationen äußerten dagegen den Verdacht, die Partikel könnten durch die Haut diffundieren und sich im Körper anreichern. Alle bisherigen physikalischen und toxikologischen Untersuchungen geben bis heute keinen Hinweis auf den Transfer der Partikel unter die Hautschichten. Offenbar ist die Haut auch für Partikel in der Größenordnung von ca. 60–100 nm eine wirksame Diffusionsbarriere.

So ergaben bereits mikroskopische Untersuchungen Hinweise auf das dynamische Verhalten der Nanopartikel beim Übergang vom Pulver zur fertigen Formulierung.

Während in der Pulverpräparation nur leichte Flokkulate erscheinen, sind die UV-Pigmente in einer realen Formulierung stärker agglomeriert, ohne ihre quantenoptischen Eigenschaften zu verlieren. Diese Agglomeration ist wohl auch ein wichtiger Mechanismus zur Reduzierung der Mobilität von Nanopartikeln. Von den vielen Untersuchungen zur Sicherheit der nanopartikulären UV-Filter sollen hier stellvertretend nur einige aufgeführt werden:

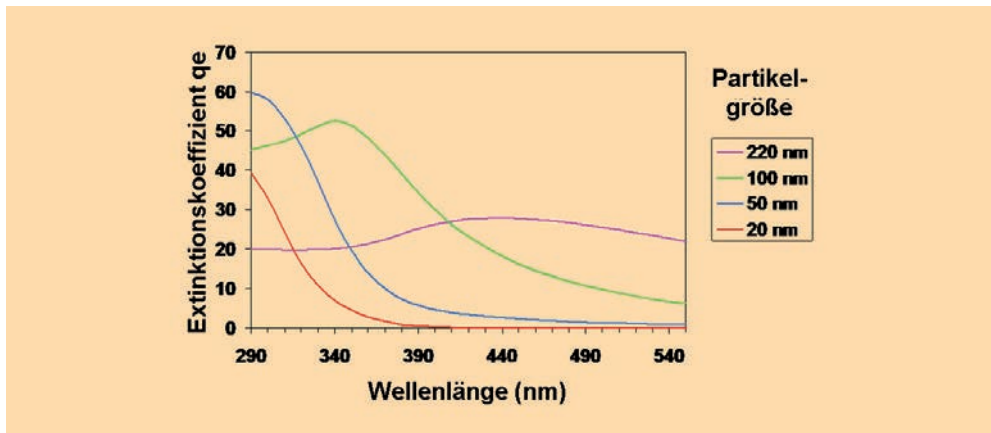


Abb. 2 Partikelgröße vs. UV-Absorption: Absorptions-/Streuungsverlauf für ZnO-Partikel der Größen 20–220 nm (Daten von CRODA zur Verfügung gestellt.)

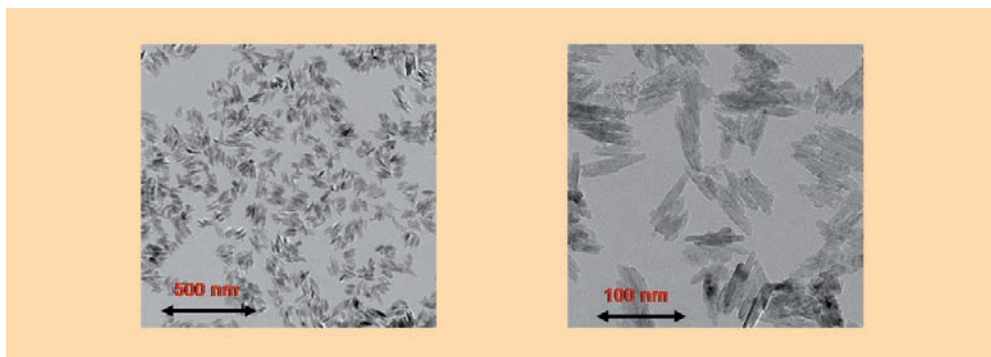


Abb. 3 Nanostrukturiertes TiO₂-Pulver: Mit der Transmissionselektronenmikroskopie (TEM) sind Größe, Agglomerationsstufe und Form der Partikel analysierbar (Teilchengröße ca. 100 nm, Aspektverhältnis ca. 4:1).

- umfangreiches Testprogramm für Phototoxizität, Genotoxizität and Photo-Genotoxizität der gebräuchlichen TiO₂-Materialien durch Industrie-Konsortium (negativ im Ames- und Chromosomenaberrationstests mit UV-Licht, publiziert in *Peer-reviewed-Journal* [THEOGARAJ et al. 2005], nachfolgende Untersuchungen in Übereinstimmung mit diesen Resultaten [WARHEIT et al. 2007, BASF 2009]);
- keine Genotoxizität in Lungenzellen (SCHULZ et al. 2009);
- keine intrinsische Toxizität bei intravenöser oder subkutaner Injektion selbst bei angenommener Absorption in der Haut (FABIAN et al. 2007, SUGIBAYASHI et al. 2008, UMBREIT et al. 2007).

Natürlich gibt es auch mit diesen Ergebnissen keine absolute Sicherheit, aber ein hinreichendes Wissen, dass Nanopartikel in Sonnenschutzformulierungen ein vernachlässigbares Risiko beinhalten. Meines Erachtens sollte damit die Debatte ein Ende finden, auch um sich den tatsächlich kritischen Themen, wie z. B. Silber-Nanopartikel in der Körperpflege, zuwenden zu

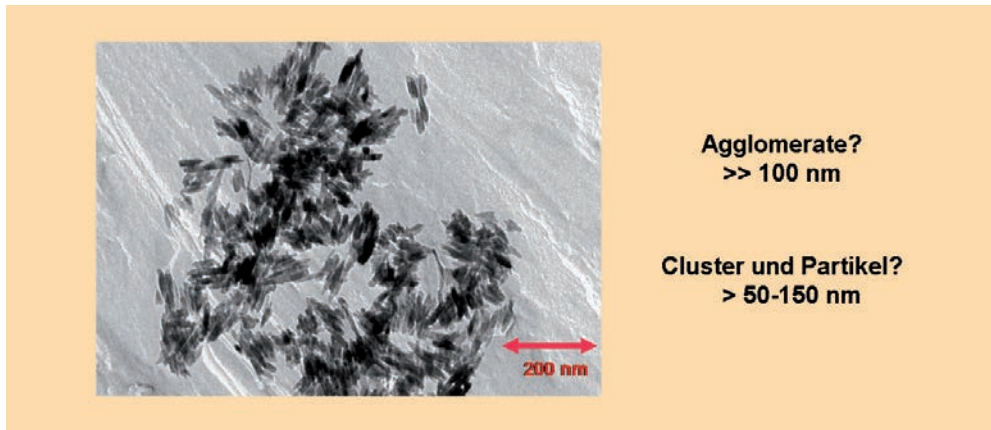


Abb. 4 Cryo-Replika-TEM des nanostrukturierten TiO₂ in einer Sonnenschutzlotion (BASF SE unpublizierte Daten)

können. Silber-Nanopartikel sind eine wichtige Waffe im Kampf gegen resistente Bakterien und sollten deshalb der Medizin vorbehalten werden.

Die anhaltende Diskussion um diese Sicherheitsaspekte führte zur ersten Regulierung von nanotechnologischen Produkten, aber auch darüber hinaus zu einer Verunsicherung bei Forschern in Industrie und im akademischen Bereich. Bis heute liegt es im Trend, sich entweder mit den Möglichkeiten der Nanotechnologie in Kosmetik und Körperpflege nicht mehr zu befassen oder sich aus diesem Umfeld „herauszudefinieren“. Diese vorwiegend in den westlichen Ländern verbreitete Haltung ist nicht nur bedauerlich, sondern für die Wettbewerbsfähigkeit von Forschung und Industrie ausgesprochen gefährlich.

Die oben zitierte Umfrage dagegen belegt, dass der Verbraucher sich im Vergleich dazu nur recht wenig verunsichern lässt. Er handelt offenbar frei nach dem Motto: Wenn es mir nützt, nehme ich auch ein Risiko in Kauf. Neuere Umfragen¹ zeigen eine wachsende Skepsis in einzelnen Anwendungen bei nach wie vor positiver Grundeinstellung zur Nanotechnologie insgesamt.

4. Chancenfelder aufzeigen

Die aufgeführten Chancenfelder sollten gerade vor diesem Hintergrund unbedingt genutzt werden. Einige Beispiele sollen diese Innovationspotenziale aufzeigen.

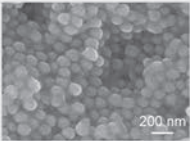
- Kolloidale Templates aus CaCO₃- oder SiO₂-Mikropartikeln können zum gezielten Transport von Wirkstoffen wie z. B. Vitaminen oder Hyaluronsäure genutzt werden.
- Die an der Schwelle zum realen Produktionsverfahren stehende Mikrofluidik ist ein innovativer Prozess zur Herstellung Emulgator- und Tensid-freier Emulsionen mit für die Anwendung optimierter Nanostrukturierung.

¹ Antje GROBE, Nanotechnologien in der öffentlichen Wahrnehmung; 8. NanoVision 2010, 8. 12. 2010, Karlsruhe; Gaby-Fleur BÖL, Astrid EPP, Rolf HERTEL (Hrsg.), BfR Wissenschaft 04/2010, Wahrnehmung der Nanotechnologie in internetgestützten Diskussionen.

- Geordnete Polymerschäume (VAN DER NET et al. 2009, *Research Highlights* 2009) können heute im Labormaßstab mit gezielter Mikrostrukturierung aufgebaut werden und ein erhebliches Verbesserungspotenzial gegenüber dem Stand der Technik (z. B. SAP, *Super Adsorbent Polymers*) entwickeln. Einsatzgebiet für solche Schäume wäre u. a. der Hygienemarkt.
- Nanoporöse und/oder polymervernetzte Carriersysteme für effiziente kosmetische Formulierungen, gegebenenfalls gekoppelt mit z. B. Polysaccharid-stabilisierten Proteinen (SEIFFERT et al. 2010).

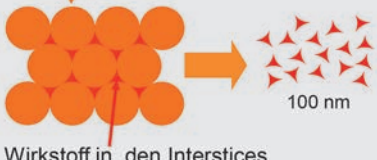
Kolloidale Template

- Höhere Bioverfügbarkeit unlöslicher Wirkstoffe (Vitamine, Hyaluronsäure etc.).



SiO₂-Partikel-template gefüllt mit Cholesterol

Lösliche Templates (z. B. CaCO₃)



Wirkstoff in den Interstices

100 nm

Mikrofluidik

- Kern/Schale-Strukturen mit gesteuerter Schalendicke (ca. 5-50 nm)
- Monodisperse vollständige Verkapselung (z. B. Emulgator-freie Emulsionen, Lotionen etc.)

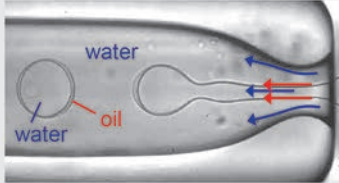
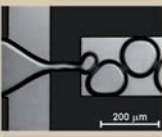



Abb. 5 Kolloidale Templates als Wirkstoffträger; Mikrofluidik zur Erzeugung von Kern-Schale-Mikroemulsionen (Daten und Bilder von Prof. David WERTZ, SEAS Harvard University)

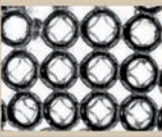
Neue Methode zur Schaumherstellung – Zweistufiger Prozess

1. Flüssige Schaumphase mit genau definierten Strukturen
2. Verfestigung



Micro-bubble generation





Ordered polymer foam

Abb. 6 Prinzip der Strukturschaum-Erzeugung durch parallelisierbare Mikrofluidik

Diese Reihe rein willkürlich gewählter Beispiele lässt sich sicher beliebig erweitern. So ist der Einsatz anderer funktionaler Nanopartikel bei weitem nicht ausgereizt. Dies reicht vom Haarfärbemittel ohne gesundheitsschädliche (Symbol: Xn) Bestandteile bis zum Anti-Aging-Effekt oder der Reparatur des Zahnschmelzes mit Nano-Hydroxyapatit in Zahncremes.

5. Ausblick im Dialog

Sicher gehört die Anwendung nanopartikulärer Systeme in Kosmetik und Körperpflege zu den Feldern, die uns als Verbraucher im wahrsten Sinne des Wortes stark berühren. Deshalb ist der offene Dialog mit den Verbrauchern unerlässlich für den Erfolg entsprechender Produkte. Ohne echte Transparenz in den Chancen und Risiken werden neue Technologien in unseren Internet-offenen Gesellschaften keine nachhaltige Zustimmung finden. Dieser Prozess kann zu schmerzhaften Einschnitten bei den Protagonisten führen, verlangt aber auch von den Kritikern von einer Null-Risiko-Mentalität Abschied zu nehmen.

Der weltweit umfangreichste Versuch, diesen Diskurs zwischen allen Interessensgruppen zu einem gemeinsamen Ergebnis zu führen, war die **NanoKommission** der Bundesregierung. Wolf-Michael CATENHUSEN, der Leiter der NanoKommission, erläutert dies in seinem Vorwort zum Abschlussbericht: „Die NanoKommission öffnete dazu ihre Arbeit für eine intensive Erörterung von Grundlagen und Handlungsoptionen einer vom Vorsorgeprinzip getragenen Regulierung von Nanomaterialien und Nanoprodukten. Hierbei kam es zu einer Reihe gemeinsamer Einschätzungen, aber auch zu unterschiedlichen Prioritäten und Präferenzen, bei denen die verschiedenen Erfahrungen und Erwartungen der Stakeholder deutlich wurden. Gerade dieses Diskursergebnis ist hilfreich für die Diskussions- und Entscheidungsprozesse zu Regulierungsfragen, die in den nächsten Jahren folgen. In den Beratungen der Arbeitsgruppen der NanoKommission ist deutlich geworden, dass es in einer Reihe von allgemeinen Grundsatzfragen durchaus Übereinstimmung gibt, der gesellschaftspolitische Handlungsbedarf, vor allem in regulatorischen Fragen, aber vielfach unterschiedlich eingeschätzt wird. Dies wird auch in den abschließenden Empfehlungen der NanoKommission deutlich.“²

Die Einigkeit in vielen Grundsatzfragen korrespondiert also mit bleibenden Unterschieden in Einzelfragen. Dies traf insbesondere auf das Gebiet Kosmetik/Körperpflege zu. Die Spannweite reicht hier von einer generellen Ablehnung synthetischer Inhaltsstoffe bis zur Verfechtung von Silber in Deodorants. Die Synthese aus den Diskussionen stellt aber klar: Das Innovationspotenzial der Nanotechnologie muss gezielt weiter erschlossen werden.

Hier seien daher die abschließenden Empfehlungen der deutschen NanoKommission wiedergegeben:

„Eine Innovationskultur, die die Erforschung und Abschätzung möglicher Risiken, die verantwortungsvolle und sichere Herstellung und Verwendung von Nanomaterialien und eine von den Prinzipien Vorsorge und Verhältnismäßigkeit getragene Regulierung frühzeitig in den Innovationsprozess einbezieht, ist nach Auffassung der NanoKommission anzustreben. Eine solche Innovationskultur umfasst mehrere Handlungsfelder:

Gezielte Nutzung der Innovationspotenziale von Nanotechnologien für wichtige Problemlösungen und künftige Herausforderungen, insbesondere für eine Entlastung der Umwelt, für medizinischen Fortschritt und eine nachhaltige Nutzung unserer begrenzten, natürlichen Ressourcen.

Schneller Abbau bestehender Wissenslücken zu möglichen Auswirkungen von Nanomaterialien und unter ihrer Verwendung hergestellten Produkten auf Gesundheit und Umwelt.

² CATENHUSEN in *NanoKommission* 2011, S. 6ff.

Erprobung neuer Wege der Risikovorsorge durch Verständigung über Bewertungsverfahren zur frühzeitigen, vorläufigen Einstufung von Nanomaterialien hinsichtlich möglicher Risiko- und Nutzenpotenzialen im Vorlauf von oder ergänzend zu staatlichen Regulierungen.

Verantwortungsvoller unternehmerischer und gesellschaftlicher Umgang mit der Entwicklung und Markteinführung von Nanomaterialien und Nanoprodukten.

Verbesserung der Markttransparenz auf dem Gebiet der Nanoprodukte für Verbraucherinnen und Verbraucher.

Frühzeitige Einbeziehung von Zielen der Nachhaltigkeit in Schwerpunkte der öffentlichen Forschungsförderung und unternehmensinterne Strategien der Produktentwicklung.“³

Die Wissenschaft wie die industrielle Forschung und Entwicklung sollten auch in dem Gebiet der Kosmetik aktiv für nachhaltige Lösungen arbeiten. Dies umfasst die Risikoforschung genauso wie die Nutzung von Nanotechnologie außerhalb der partikulären Systeme. Neue Technologien für bestehende Märkte zum Erfolg zu führen geht in unserer heutigen Gesellschaft aber nicht ohne den rückhaltlos offenen Dialog.

Literatur

- CATENHUSEN, W.-M. (Redaktion): Verantwortlicher Umgang mit Nanotechnologien, Bericht und Empfehlungen der NanoKommission. BMU Dezember 2010
- FABIAN, E., LANDSIEDEL, R., MA-HOCK, L., WIENCH, K., WOHLLEBEN, W., and VAN RAVENZWAAY, B.: Tissue distribution and toxicity of intravenously administered titanium dioxide nanoparticles in rats. *Arch. Toxicol.* 82/3, 151–157 (2008), DOI 10.1007/s00204-007-0253-y (2007)
- LANDSIEDEL, R., MA-HOCK, L., VAN RAVENZWAAY, B., SCHULZ, M., WIENCH, K., CHAMP, S., SCHULTE, S., WOHLLEBEN, W., and OESCH, F.: Gene toxicity studies on titanium dioxide and zinc oxide nanomaterials used for UV-protection in cosmetic formulations. *Nanotoxicology* 4, 362–379 (2010)
- NanoKommission: Verantwortlicher Umgang mit Nanotechnologien: Bericht und Empfehlungen der NanoKommission der deutschen Bundesregierung.* Herausgeber: BMU (2011)
- Research Highlights: Materials science: Foam finesse.* *Nature* 460, 668 (2009)
- SCHULZ, M., WIENCH, K., and LANDSIEDEL, R.: Poster presentation at the annual meeting of the German Environmental Mutagen Society (2009)
- SEIFFERT, S., THIELE, J., ABATE, A. R., and WEITZ, D.: Smart microgel capsules from macromolecular precursors. *J. Amer. Chem. Soc.* 132/18, 6606–6609 (2010)
- SUGIBAYASHI, K., TODO, H., and KIMURA, E.: Safety evaluation of titanium dioxide nanoparticles by their absorption and elimination profiles. *Toxicol. Sci.* 33, 293–298 (2008)
- THEOGARAJ, E., RILEY, S., HUGHES, L., MAIER, M., and KIRKLAND, D.: An investigation of the photo-clastogenic potential of ultrafine titanium dioxide particles. *Mutat. Res.* 634/1–2, 205–219 (2007)
- UMBREIT, T., WEAVER, J. L., MILLER T. J., ZHANG, J., SHAH, R., STRATMEYER, M. E., and TOMAZIC-JEZIC, V.: Toxicology of titanium dioxide (TiO₂) nanoparticles: 1. Characterization and tissue distribution in subcutaneously and intravenously injected mice. Society of Toxicology 46th Annual Meeting and ToxExpo. Abstract 1386. March 25–29, 2007, Charlotte, NC. *Toxicologist* 96/1, 287 (2007)
- VAN DER NET, A., GRYSOON, A., RANFT, M., ELIAS, F., STUBENRAUCH, C., and DRENCKHAN, W.: Highly structured porous solids from liquid foam templates. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 346/1–3, 6–10 (2009)
- WARHEIT, D. B., HOKE, R. A., FINLAY, C., DONNER, E. M., REED, K. L., and SAYES, C. M.: Development of a base set of toxicity tests using ultrafine TiO₂ particles as a component of nanoparticle risk management. *Toxicol. Lett.* 171/3, 99–110 (2007)

Prof. Dr. Rüdiger IDEN
nanid scientific consulting
Wichernstraße 3
67373 Dudenhofen

Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 623 294911
Fax: +49 623 294817
E-Mail: nanid@t-online.de

³ *NanoKommission* 2011, S. 56.

Beiträge zu Risiko und Kommunikation

Zukunft braucht Dialog – Dialog schafft Zukunft: Die Debatte um Nanotechnologien

Ortwin RENN und Antje GROBE (Stuttgart)

Zusammenfassung

Die gesellschaftliche Auseinandersetzung um Nanotechnologien weist drei Themenfelder auf: *Erstens*, die Debatte um die Breite der Anwendungen und das große wirtschaftliche Potenzial; *zweitens*, eine Debatte, wie diese Vielfalt sinnvoll reguliert werden könnte; und *drittens*, wie die möglichen Risiken bewertet werden könnten. Der Artikel erklärt, warum die drei Debatten die Unsicherheit der Verbraucher verstärken, und führt aus, wie gestaltende Dialoge zu einer verantwortungsvollen Entwicklung dieser neuen Technologien beitragen könnten.

Abstract

The public debate about nanotechnologies is divided into three key issues: *first*, the debate about the broad field of applications and the enormous economic potential; *second*, the debate about how to regulate this variety appropriately; and *third*, how to assess the potential risks. This article explains why consumer's uncertainty is deepened by the three debates and how constructive dialogues could support the responsible development of these new technologies.

1. Einführung

Der Begriff der Nanotechnologien fasst verschiedene Forschungsdisziplinen und Technologien zusammen, die sich mit der Beobachtung und gezielten Beeinflussung von Strukturen oder Prozessen in einem Größenbereich näherungsweise unter 100 nm (1 nm = 10^{-9} m oder 1 Millionstel mm) befassen. Häufig entstehen hierdurch neue Eigenschaften, vor allem aber tragen Nanotechnologien zum besseren Verständnis dieser Prozesse auf der molekularen Ebene bei.

Nanotechnologien gelten als Schlüsseltechnologien für die wirtschaftliche Entwicklung in einer Vielzahl von Branchen (BMBF 2009, 2011). Der gesellschaftliche Nutzen und das wirtschaftliche Potenzial werden vor allem deshalb besonders hoch eingeschätzt, weil viele der Anwendungen von Nanomaterialien einen Beitrag zur Lebensqualität und zur Nachhaltigkeit leisten könnten, wie z. B. Lithium-Ionen in Batterien für die Elektromobilität, für leitfähige oder hochsteife Kunststoffe, die Metalle ersetzen können, bei Oberflächenbeschichtungen für effizientere Solaranlagen oder bei Trinkwasserfiltern für Entwicklungsländer. Auch im Umweltschutz oder in der Lebensmittelsicherheit können Nanomaterialien in Filtern wichtige Funktionen übernehmen. Hierbei werden nur in einigen Fällen Nanomaterialien als Be-

schichtungen für die Filter eingesetzt, in anderen Fällen erzeugen feinste Porengrößen, deren Löcher einen Durchmesser unter 100 nm haben, einen wirkungsvollen Viren- oder Schadstofffilter. Ebenso große Hoffnungen werden in den Bereich der Medizin gesetzt, insbesondere bei Krebstherapien, Medikamenten gegen Alzheimer-Erkrankung und gezielt wirkenden Transportsystemen (Nano-Delivery) mit verringerten Nebenwirkungen. Darüber hinaus werden Nanomaterialien heute schon in einer Vielzahl von Verbraucherprodukten eingesetzt, wie z. B. in Farben und Lacken, für leicht zu reinigende Oberflächen und funktionale Textilien, in Lebensmittelverpackungen und in der Kosmetik.

Die Erwartungen an Nanotechnologien sind dementsprechend hoch. Kernthese dieses Beitrags ist, dass sich bei der Bewertung dieser verschiedenen Anwendungsbereiche und der Debatte um die Chancen und Risiken drei verschiedene Diskurse gebildet haben:

Erstens, die Argumentation von Wirtschaft, Wissenschaft und Forschungsförderung um die Chancen und das große wirtschaftliche Potenzial, dass Nanotechnologien in allen Branchen und Anwendungsbereichen eine große Entwicklung voraussagt. *Zweitens*, der Diskurs über die Schwierigkeiten der Regulierung von Nanotechnologien, angefangen von der Frage der Definition bis hin zur Problematik einer Einzelfallprüfung. *Drittens* besteht ein großer wissenschaftlicher Diskursbereich über Fragen der Messtechnik und Risikobewertung sowie ihrer Standardisierung.

Die Einschätzungen zwischen Expertinnen und Experten aus Wissenschaft, Politik und Behörden, Industrie und Verbraucher- oder Umweltorganisationen in allen drei Diskursbereichen liegen weit auseinander. Sie stimmen vor allem nicht mit den Fragen und Informationsbedürfnissen der Verbraucherinnen und Verbraucher überein. Problematisch an diesen unterschiedlichen Diskursen ist, dass bei wachsender Unsicherheit das Vertrauen in Akteure und Prozesse zum entscheidenden Faktor wird, ob Nanotechnologien auch in Zukunft auf eine mehrheitlich getragene, öffentliche Akzeptanz aufbauen können.

Die folgenden Abschnitte vermitteln eine Übersicht über die Wahrnehmung von Nanotechnologien in der Öffentlichkeit und den Stand der Debatte in wichtigen gesellschaftlichen Gruppen zu den zentralen drei Diskursbereichen der wirtschaftlichen Erwartungen, der Definitions- und Regulierungsdebatte sowie der Auseinandersetzung um die Bewertung von Nutzen und Risiken über den gesamten Lebenszyklus. Am Beispiel von verbrauchernahen Anwendungen wird in den weiteren Abschnitten die Problematik aufgerissen, die aus den drei, parallel verlaufenden Diskurssträngen entsteht, und gefragt, welche kommunikativen und dialogischen Möglichkeiten bestehen, um die Debatte auf eine sachlich fundierte Basis zu stellen und die Erwartungen der Verbraucherinnen und Verbraucher an eine angemessene Kommunikation so zu berücksichtigen, dass Vertrauen in neue Technologien wie die Nanotechnologien entstehen und erhalten werden kann.

2. Öffentliche Wahrnehmung

Generell zeigen Wahrnehmungsstudien der letzten Jahre, dass Nanotechnologien im Allgemeinen tendenziell positiv von den Verbraucherinnen und Verbrauchern in Deutschland bewertet werden. Im November 2010 erschien das Eurobarometer „Winds of Change“, das die deutschen Einstellungen zu Nanotechnologien mit denen der europäischen Nachbarn verglich. Die Ergebnisse machen deutlich, dass die Deutschen mit 64,7%, die schon etwas von Nanotechnologien gehört haben, recht gut informiert sind (EU-Durchschnitt 46,3%). Die

Einstellungen sind überwiegend positiv, denn 61 % wünschen sich, dass Nanotechnologien weiter vorangetrieben werden.¹ Nur 12,6 % erwarten negative Effekte und zeigen sich generell besorgt. Interessant ist, dass bei Fragestellungen, in denen unentschiedene Haltungen als Antwort möglich sind (Weiß-nicht-Option), der Anteil der Unsicheren auf 37 % steigt und nur noch 43 % Nanotechnologien eindeutig positive Effekte zuschreiben.²

In Deutschland selbst führte das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) 2008 eine quantitative Befragung durch (ZIMMER et al. 2008), wonach sich 66 % der Befragten von Nanotechnologien eher Nutzen als Risiken versprechen. Auch wenn hierbei keine unentschiedene Antwortmöglichkeit gegeben war, so zeigt die große Gruppe der generellen Befürworter aus dem jüngsten Eurobarometer (61 %), dass die positive Grundeinstellung zwischen 2008 und 2010 nur leicht zurückgegangen ist. Die BfR-Studie zeigte 2008 allerdings, dass Nanotechnologien nicht in allen Anwendungsbereichen gleichermaßen akzeptiert werden. Die Ergebnisse belegen, dass der Einsatz von Nanomaterialien im Bereich der Lebensmittel, z. B. als Rieselhilfen oder um Produkte länger ansehnlich zu machen, von 70 % bzw. von 84 % kritisch bewertet wird. Dagegen werden intelligente Verpackungen, die verdorbene Lebensmittel anzeigen, von 77 % tendenziell befürwortet. Auch die Anwendungen in der Kosmetik werden mehrheitlich positiv bewertet, z. B. zum Schutz empfindlicher Zähne (80 %), bei Sonnencremes (71 %) und zur Reinigung (53 %). Ebenfalls deutlich positiv werden schmutzabweisende Textilien gesehen, die 83 % begrüßen.³

Um zu prüfen, ob diese Einstellungen von der Darstellung der Nanotechnologien in den Medien abhängen, wurde im gleichen Jahr eine Medienanalyse in Auftrag gegeben. Ergebnis für die Lebensmittel war hier: 84 % der Artikel berichten eher kritisch über einen Einsatz im Bereich Lebensmittel (BfR 2008a). Die Verbraucherinnen und Verbraucher sehen also auch im Bereich von Lebensmitteln Nanotechnologien tendenziell etwas positiver und vor allem differenzierter, als es die Medienberichterstattung nahe legen könnte.

Eine Studie mit 100 Tiefeninterviews mit Verbraucherinnen und Verbrauchern, die die Universität Stuttgart im Auftrag der Verbraucherzentrale Bundesverband ebenfalls 2008 durchführte (VZBV 2009), fragte nach den Hintergründen der Bewertungen. Die Interviews bestätigten ein eher differenziertes Bild. Von den 63 Befragten, die Lebensmittelanwendungen von sich aus nannten, beschrieben 15 erhoffte Vorteile (z. B. bessere Qualität von Fertigerichten, bessere Versorgung mit Vitaminen, intelligente Verpackungen); 16 berichteten über befürchtete Nachteile (unvorhergesehene Gesundheitseffekte, künstliche Veränderung von Nahrungsmitteln). Die Übrigen bewerteten nicht und gaben häufig an, nicht genau zu wissen, wie oder in welchen Bereichen in den Lebensmitteln Nanomaterialien eingesetzt würden. Intelligente Verpackungen wurden deutlich häufiger positiv erwähnt als Nanomaterialien in den Lebensmitteln selbst (GROBE et al. 2008). Diese Ergebnisse decken sich auch mit den Erfahrungen aus der ersten Verbraucherkonferenz zu Nanotechnologien in Lebensmitteln, Kosmetik und Bedarfsgegenständen, die 2006 vom BfR beauftragt wurde (BfR 2008c).

2012 wurde die Tiefeninterviewstudie wiederholt (GROBE et al. 2012). Deutlich sichtbar wurde, dass das Wissen der Verbraucherinnen und Verbraucher nach 2008 verblasste. Die Verbraucher konnten deutlich weniger Anwendungen nennen. Die Chancen und der Nutzen von Nanoprodukten wurden seltener erwähnt, oder es wurde diffuser mit vielen relativierenden Sät-

1 GASKELL et al. 2010, S. 23.

2 GASKELL et al. 2010, S. 133.

3 ZIMMER et al. 2008, S. 17.

zen darüber berichtet. Offensichtlich haben die Kommunikationsstrategien der Unternehmen nicht dazu beigetragen, dass die Verbraucher mehr über die Produkte wussten oder über deren Vorteile oder Nutzen erzählen konnten. Die Risiken dagegen konnten präziser dargestellt werden als noch 2008. Wichtige Elemente der wissenschaftlichen Risikodebatte konnten von den Konsumenten gut wiedergegeben werden.⁴ In Bezug auf die Einstellungen wurde deutlich, dass der Anteil derjenigen, die sich klar positiv zu Nanotechnologien äußerten, von 64 % 2008 auf 42 % 2012 sank. Der Anteil derer, die eine negative Einstellung angaben, blieb mit 4 % sehr niedrig (5 % 2008), hingegen wuchs der Anteil der Ambivalenten von 31 % auf 49 %.⁵

Eine weitere Studie des BfR von 2010 analysierte Informationsangebote und Diskussionsbeiträge im Internet zum Themenbereich Nanotechnologien: Die Ergebnisse zeigten, dass sich die Beiträge rund um das Thema Nanotechnologien im Lebensmittelbereich zu einem erheblichen Teil mit den Risikopotenzialen dieser Anwendungen befassen (*BfR* 2010). Bei der Interpretation der Studie ist allerdings zu berücksichtigen, dass die untersuchten Chatforen im Internet vor allem von kritischen Verbraucherinnen und Verbrauchern genutzt werden.

Als Resümee lässt sich festhalten, dass die Einstellungen der Verbraucherinnen und Verbraucher immer noch mehrheitlich positiv sind, auch wenn mit zunehmendem Wissen eine größere Ausdifferenzierung der Bewertungen je nach Anwendungsbereich stattfindet und der Anteil derer, die sich mit einer pauschalisierten Bewertung schwer tun, in verschiedenen Untersuchungen beachtenswert ist. Schon 2008 hatten 70 % der Befragten von sich aus einen Informationsbedarf angegeben und unterschieden dabei in gewünschte Basisinformationen sowie vertiefende Informationen zu konkreten Produkten und Anwendungsbereichen.⁶ Die Verbraucherinnen und Verbraucher wollten vor allem wissen, wie Nanotechnologien genau funktionieren, also welche Eigenschaften sie im Produkt erzeugen und ob die Eigenschaften dauerhaft sind. Das Thema Sicherheit wurde vor allem mit der Forderung nach unabhängigen Testergebnissen angesprochen, die belegen sollten, dass Mensch und Umwelt keine negativen Effekte zu erwarten haben. Diese Informationen müssten im Bedarfsfall frei zugänglich und verbrauchergerecht aufbereitet auf den Internetseiten von Wissenschaftsinstitutionen, Verbraucherverbänden, bei Aufsichtsbehörden und natürlich bei den Herstellern selbst zu finden sein.⁷ Dieser Informationsbedarf wurde in verschiedenen Dialogprojekten bestätigt und weiter ausdifferenziert. In der Dialogplattform des Schweizerischen Bundesamtes für Gesundheit wurden Anregungen für einen gestaffelten Informationsaufbau entwickelt (*GROBE* 2010). Auch im Dialogforum Nano der BASF wurden ausgehend von konkreten Anfragen der Verbraucherinnen und Verbraucher an Unternehmen Empfehlungen für eine gute Verbraucherkommunikation erarbeitet. Kernforderung war auch hier, neben einführenden, leicht verständlichen, allgemeinen Informationen die Möglichkeit zu haben, spezifische Informationen zur Funktion, Handhabung und zur Sicherheit von Nanomaterialien direkt beim Hersteller auf den Webseiten abrufen zu können (*GROBE* und *RISSANEN* 2012).

Soweit die Wünsche der Verbraucherinnen und Verbraucher. Welche Themen und Entscheidungsprozesse im Mittelpunkt der Debatten der Expertinnen und Experten stehen und welche Standpunkte dabei von den verschiedenen Stakeholdern aus Politik und Behörden, Wirtschaft und NGOs eingenommen werden, zeigt der folgende Abschnitt.

4 *GROBE* et al. 2012, S. 59ff.

5 *GROBE* et al. 2012, S. 53.

6 *GROBE* et al. 2008, S. 64ff.

7 *GROBE* et al. 2008, S. 72ff.

3. Drei Kernpunkte der Stakeholder-Debatte um Nanotechnologien

3.1 Wirtschaftliche Erwartungen

Basierend auf internationalen Prognosen schätzte das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF 2011) in seinem nano.DE-Report den Weltmarkt nanotechnologischer Produkte für das Jahr 2011 auf ca. 93 Milliarden US-Dollar. Den größten Marktanteil davon macht die Nano-Elektronik aus. Die Weltmärkte für Nanomaterialien, Nanobeschichtungen und Nanoanalytik werden jeweils auf eine Höhe von 12, 5 und 2 Milliarden US-Dollar geschätzt. Dabei betonen die Autoren des BMBF, dass die aus nanotechnologischen Verfahren resultierende Wertschöpfung insgesamt wesentlich höher ist, sich aber nur grob abschätzen lässt. In vielen Industriebranchen werden Nanomaterialien oder nanotechnologische Verfahren in mehreren Wertschöpfungsstufen eingesetzt, für optimierte Komponenten und Systeme. Internationale Schätzungen gehen aufgrund der Hebelwirkung in der gesamten Lieferkette von einem weltweiten Marktpotenzial von ca. 1 Billion Dollar pro Jahr für nanooptimierte Produkte aus.⁸

Dank dieser optimistischen Einschätzung sind Nanotechnologien für verschiedenste Industriezweige von großer Bedeutung. In seiner Analyse fasst das BMBF verschiedene Marktanalysen zusammen und stellt damit die Marktpotenziale mehrerer Marktsegmente mit nanotechnologisch hergestellten Produkten gegenüber. Im Bereich der verbrauchernahen Produkte wird beispielsweise für Textilien ein Weltmarktvolumen für das Jahr 2011 in Höhe von 50 Millionen Euro für Nanosilber-ausgerüstete Textilien und 10 Millionen Euro für Textilien mit UV-Schutz erwartet. Für die Automobilindustrie spielen Nanotechnologien ebenfalls eine große Rolle, u. a. bei der Herstellung nanooptimierter Komponenten und Werkstoffe (246 Millionen Dollar im Jahr 2010) sowie bei Nanobeschichtungen wie z. B. Korrosions- und Verschleißschutz (125 Millionen Dollar im Jahr 2010).⁹

Auch der Anteil der Bundesmittel für die Erforschung und Entwicklung von Nanotechnologien spiegelt die Potenziale des Bereiches: Im Jahr 2010 wurden rund 400 Millionen Euro auf Bundesebene als Förderinvestitionen ausgegeben, davon 370 Millionen Euro vom Bundesministerium für Bildung und Forschung. Damit liegt Deutschland auf Platz drei der weltweiten Förderinvestitionen, hinter den USA und Japan.¹⁰

Das erwartete, große wirtschaftliche Potenzial und die Breite der Anwendungen für die Bereiche Information, Mobilität und Gesundheit, genauso wie für viele kleinere, konsumentennahe Anwendungen in Textilien, Oberflächenbeschichtungen, Farben und Lacken führt unmittelbar zu der Frage, ob die bestehenden gesetzlichen Rahmen für diese neuartigen Technologien und Materialien hinreichend sind und wie die Technologien bewertet werden können.

3.2 Definition und Rechtsrahmen

Seit etwa 2004 wurde in verschiedenen Stakeholder-Dialogen auf nationaler und internationaler Ebene diskutiert, dass eine international harmonisierte Definition wesentliche Grundlage sei – sowohl für die Bewertung von Regulierungsfragen als auch für die Möglichkeit, den

⁸ BMBF 2011, S. 23.

⁹ BMBF 2011, S. 24–27.

¹⁰ NanoKommission 2010, S. 16.

Untersuchungsgegenstand überhaupt erst einmal sinnvoll einzugrenzen (*NanoKommission* 2008). Auch wenn verschiedene Dialoggremien auf die Wichtigkeit einer Definition hingewiesen haben, wurde erst im Oktober 2011 von der Europäischen Kommission eine Empfehlung für eine Definition formuliert (*Europäische Kommission* 2011). Die Kommission beschreibt ein „Nanomaterial“ als „ein natürliches, bei Prozessen anfallendes oder hergestelltes Material, das Partikel in ungebundenem Zustand, als Aggregat oder als Agglomerat enthält, und bei dem mindestens 50 % der Partikel in der Anzahlgrößenverteilung ein oder mehrere Außenmaße im Bereich von 1 nm bis 100 nm haben. / In besonderen Fällen kann der Schwellenwert von 50 % für die Anzahlgrößenverteilung durch einen Schwellenwert zwischen 1 % und 50 % ersetzt werden, wenn Umwelt-, Gesundheits-, Sicherheits- oder Wettbewerbserwägungen dies rechtfertigen.“

Die Definitionsfrage ist deswegen so bedeutsam, da sie Grundlage für alle nachfolgenden Regulationen ist. Eine Anpassung der branchenspezifischen Direktiven wie z. B. im Bereich der Kosmetik, der neuartigen Lebensmittel, der Lebensmittelzusatzstoffe und der Biozide ist noch offen (Stand Dezember 2012). Auch eine Produktkennzeichnung oder eine Eintragung in ein Produktregister sind so lange nicht möglich, bis der zu kennzeichnende Stoff oder das Produkt eindeutig zugeordnet werden kann. Die unklaren Vorgaben, ob ein Material als Nanomaterial zu bezeichnen ist oder nicht, erhöhen demnach die Unsicherheit auf allen Seiten, bei den Unternehmen, den Behörden und bei den Verbraucher- und Umweltorganisationen. Auch die Kommunikation mit den Verbrauchern ist erschwert, denn aufgrund der mangelnden Kennzeichnung und fehlender Vorgaben für das Marketing von Produkten brauchen Produkte, die Nanomaterialien verwenden oder Nanotechnologien einsetzen, nicht als solche gekennzeichnet zu werden, und andere Produkte können mit der Aufschrift „Nano“ werben, auch wenn keine Nanomaterialien darin enthalten sind.

Lediglich in der Verordnung der Europäischen Union (EG) Nr. 1223/2009 (*Europäische Union* 2009) über kosmetische Mittel wurde rechtsverbindlich eine Definition genannt, die ein Nanomaterial als ein unlösliches oder biologisch beständiges und absichtlich hergestelltes Material mit einer oder mehreren äußeren Abmessungen oder einer inneren Struktur in einer Größenordnung von 1 bis 100 nm definiert. Allerdings behielt sich die EU hier eine spätere Anpassung vor, die nach der EU-Empfehlung vom Oktober 2011 noch zu leisten ist.

Verschiedene Anstrengungen wurden unternommen, die bislang meist zitierte Vorlage des technischen Komitees der Internationalen Organisation für Normung von 2008 (*ISO* 2012) zu präzisieren. Hier sind zusätzlich die Veröffentlichungen von SCENIHR (*SCENIHR* 2010) und dem *Joint Research Centre* (*JRC* 2010) zu nennen, um deren unterschiedliche Schwerpunktsetzung eine intensive Stakeholder-Debatte entbrannte.

Die Konsultationsverfahren ergaben bereits frühzeitig, dass viele Stakeholder einen breiteren Anwendungsbereich fordern, insbesondere Umwelt-, Verbraucher- und Tierschutzvereine, so auch das im September 2011 veröffentlichte Sondergutachten des Sachverständigenrats für Umweltfragen (*SRU*) „Vorsorgestrategien für Nanomaterialien“, das eine anwendungsübergreifende Größenbegrenzung von Primärpartikeln bis 300 nm vorschlug. Die Agglomerate und Aggregate sollten ohne Größenbegrenzung von der Definition mit umfasst werden. Der SRU schlug vor, für spezielle Regulierungszwecke diese Definition enger zu fassen, um zum Beispiel bestimmte, nicht risikorelevante Materialien auszuschließen.¹¹ Auch verschiedene Stakeholder sprachen sich für eine anwendungsspezifische Prüfung aus. Im Dialog-

¹¹ *SRU-Kurzfassung* 2011, S. 6.

forum Nano teilten Industrie, Wissenschaft und NGOs die Ansicht, dass z. B. für Pigmente, die nach der Definitionsempfehlung der EU zukünftig als Nanomaterialien zu bezeichnen sind, eine spezifischere Regelung erforderlich wäre, damit nicht alle Produkte, in denen Pigmente vorkommen, zu „Nanoprodukten“ werden. Die nachfolgende Informationsflut würde nicht zu einem „Mehr“ an Wissen bei den Verbraucherinnen und Verbraucher führen (GROBE und RISSANEN 2012). Derzeit ist eine branchenspezifische Differenzierung der Definitionen noch nicht erfolgt, und wie dies genau erfolgen könnte, ist noch in der Diskussion.

Der Sachverständigenrat für Umweltfragen schlug vor, dass nur die Produkte gekennzeichnet werden sollten, bei denen nanoskalige Inhaltsstoffe eine relevante Wirkung entfalten oder bei denen Nanomaterialien freigesetzt werden könnten. Für gezielt hergestellte Nanomaterialien sollte eine Meldepflicht eingeführt werden, verbunden mit einem teil-öffentlichen Produktregister.¹² Ein Abschluss der Definitions- und Regulierungsdebatte in nächster Zeit ist demnach nicht zu erwarten.

3.3 Risikobewertung über den Lebenszyklus von Nanomaterialien

Interessant ist, dass die Debatte über Nanotechnologien in der politischen Arena zunehmend von den Risikothemen und weniger von den Chancen beeinflusst ist. Möglicherweise spiegelt sich hier die Zurückhaltung in den Kommunikationsstrategien der Unternehmen, so dass eher Veranstaltungen zu Risikofragen von Seiten der Behörden oder der Wissenschaft durchgeführt wurden. Um hier ein Gegengewicht zu setzen, hatte die NanoKommission der deutschen Bundesregierung einen integrierten Ansatz zur vorläufigen Nutzen- und Risikoabschätzung entwickelt, bei dem mögliche Nutzenaspekte für die Umwelt, für Verbraucher, Arbeitnehmer, die Gesellschaft und für Unternehmen den möglichen Risiken gegenübergestellt werden. Nutzen- und Risikopotenziale sollen quantifiziert oder qualitativ abgeschätzt werden.¹³

Darüber hinaus entwickelte das Öko-Institut im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und des Umweltbundesamtes 2011 einen Nachhaltigkeits-Check, der in einer übergreifenden Gegenüberstellung Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken von Nanomaterialien zusammenführt und gegenüberstellt. Nanoprodukte werden mit einem Referenzprodukt ohne Nanomaterialien verglichen und auf mögliche Umwelt- und Nachhaltigkeitsrisiken hin analysiert. Herangezogen werden dafür der CO₂-Fußabdruck, die Energieeffizienz, die Recyclingfähigkeit, mögliche Störfallaspekte bei Einsatz von Nanomaterialien, Arbeits- und Gesundheitsschutz, Nutzenaspekte sowie sozio-ökonomische Effekte (Öko-Institut 2011).

Hintergrund beider Ansätze zur integrierten Nutzen- und Risikobetrachtung ist die Bewertung von Nanomaterialien über den gesamten Lebenszyklus. Der Großteil der vorliegenden toxikologischen Studien betrachtet aus methodischen Gründen standardisierte Einzelmaterialien. In der Anwendungspraxis verändern aber bereits geringe Abweichungen in der Größe oder der chemischen Formulierung, in die die Materialien eingebunden sind, die Eigenschaften. Die Frage ist also, inwieweit die vorliegenden Studien, die zum großen Teil mit hohen Dosen durchgeführt wurden, um messbare Ergebnisse zu erzielen, aussagekräftig für reale Anwendungen sind. Bis heute gilt deshalb die Empfehlung zur Einzelfallprüfung.

¹² SRU-Kurzfassung 2011, S. 6.

¹³ NanoKommission 2011, S. 33ff.

Derzeit arbeitet vor allem die *Organisation for Economic Co-operation and Development* (OECD) daran, Aussagen für bestimmte Typen von Materialien zusammenzufassen (OECD 2012). Entscheidend wird es hierbei sein, nicht nur die Hersteller von Nanomaterialien einzubinden, sondern auch die Weiterverarbeiter entlang des Produktlebenswegs in die Pflicht zu nehmen. Dies wird insbesondere dann notwendig, wenn von Seiten der Regulatoren Produktregister verpflichtend eingeführt werden.

Zentral für die Risikobewertung über den gesamten Produktlebenszyklus ist die Frage, ob und wenn ja welche Auswirkungen der Einsatz von Nanomaterialien langfristig für Gesundheit und Umwelt haben könnte. Der Sachverständigenrat für Umweltfragen beleuchtete zum Beispiel zehn Nanomaterialien hinsichtlich ihrer Anwendungen und Eigenschaften, Humantoxizität, Ökotoxizität sowie Exposition und Umweltverhalten. Die Autoren stellen fest, dass die Frage der Persistenz – also des Verbleibens eines Materials im Körper oder in der Umwelt – stark von den Agglomerations- bzw. Aggregationseigenschaften abhängt, die z. B. durch ein Coating deutlich verändert werden könnten (SRU 2011). Es sind genau diese vielfältigen Differenzierungsmöglichkeiten, die eine einheitliche Bewertung erschweren. Aus Vorsorgegründen werden biologisch abbaubare, lösliche oder inerte Materialien empfohlen und zusätzlich Informationen zur Entsorgung von Nanomaterialien gefordert. Zur Entsorgungsfrage wurde von der Schweizerischen Bundesregierung bereits ein Leitfaden erstellt (BAG 2012), in dessen Zusammenhang auch die Frage der Kommunikation mit betrachtet wurde.

Die Schwierigkeit, für den Einzelfall eine angemessene Bewertung zu finden und im Sinne eines verantwortungsvollen Umgangs zu kommunizieren, stellt die Hersteller von Produkten sowie den Handel vor neue Herausforderungen. Im Dialogforum Nano der BASF wurden deshalb 2009/2010 gemeinsam zwischen Industrie, Verbraucher- und Umweltorganisationen, Gewerkschaften und Kirchen Empfehlungen entwickelt, wer welche Informationen in welcher Form aufbereiten und entlang der Lieferkette transportieren soll (Stiftung Risiko-Dialog 2010).

3.4 Zusammenfassung der Debatte zu Nanotechnologien

Problematisch an der Nanotechnologie-Debatte ist, dass die drei großen Diskursthemen – die wirtschaftlichen Möglichkeiten, die Schwierigkeiten der Regulierung und die Unsicherheit im Bereich der Risikobewertung – zu einer negativen Wechselwirkung führen: Erst dadurch, dass die sehr frühe Chancendiskussion der möglichen wirtschaftlichen Entwicklung den Eindruck erweckt, Nanotechnologien und Nanomaterialien seien in allen Produkten enthalten und würden dort neue Eigenschaften erzeugen, wird die Frage nach einer regulativen Begleitung und Risikobewertung so relevant. Der Hype in der Debatte und die Breite der diskutierten Anwendungen lassen sich auch nicht mehr zurücknehmen, indem die Kommunikation hierzu eingestellt wird. Dies erzeugt gegenwärtig eher Misstrauen oder Spekulationen über die Intention der veränderten Kommunikationsstrategien. Für die Konsumenten und auch für viele politische Akteure ist die Bewertung von Nanotechnologien schwierig, wenn eine hohe Marktdurchdringung mit mangelnder Transparenz über den genauen Einsatz, mit offenen Fragen der Anwendung des gesetzgeberischen Rahmens aufgrund der fehlenden sektorspezifischen Definition und vielen offenen Fragen der Risikobewertung verbunden bleiben. Hier würde nur mehr und nicht weniger Kommunikation und Information helfen.

Der folgende Abschnitt zeigt am Beispiel von verbrauchernahen Anwendungsbereichen, dass die Kommunikation verschiedener Stakeholder sehr divers ausfällt und den Verbraucherinnen und Verbrauchern zusätzlich eine Orientierung erschwert.

4. Stellungnahmen ausgewählter Akteure zu Nanomaterialien in Lebensmitteln, Kosmetik, Oberflächenbeschichtungen und Textilien

4.1 Stellungnahmen der NanoKommission der deutschen Bundesregierung

Die NanoKommission der deutschen Bundesregierung hat 2011 ihre zweite und letzte Arbeitsphase abgeschlossen. In der Arbeitsgruppe zur vorläufigen, integrierten Nutzen- und Risikoabschätzung (*NanoKommission* 2010) wurden aus dem verbrauchernahen Bereich exemplarische Produkte wie Glasreiniger, PET-Flaschen sowie Markisengewebe mit schmutzabweisender Wirkung ausgewählt und die Verwendbarkeit des entwickelten Rasters an diesen Beispielen geprüft. Im Vordergrund der Kommissionsarbeit stand dabei die Entwicklung der übergreifenden Kriterien zur Prüfung und nicht die Bewertung der Produkte selbst.

Die NanoKommission formulierte Empfehlungen zur Risiko- und Begleitforschung und zu Regulierungsfragen. In der Frage des Produktregisters und zur Kennzeichnung konnte keine gemeinsame Position erreicht werden. Auf der einen Seite wurden Forderungen nach einer Kennzeichnung aller verbrauchernahen und umweltoffenen Anwendungen genannt, auf der anderen Seite stand der Wunsch, nur bestimmte Materialien, bei denen nachweislich Risiken bestehen, zu kennzeichnen.

Vor allem aber wurde von der NanoKommission eine leitbildorientierte Entwicklung von Nanoprodukten empfohlen, die sehr frühzeitig die Bedürfnisse von Gesellschaft und Umwelt unter dem Schlagwort „Nachhaltige Nanotechnologien – Green Nano“ zu integrieren sucht. Hier spielen Gedanken der Reversibilität vor dem Hintergrund einer gesamten Lebenszyklusbetrachtung eine wichtige Rolle.¹⁴ Die übergreifenden Ergebnisse wurden von verschiedenen Anwenderverbänden mit erarbeitet, wie z. B. dem Bund deutscher Lebensmittelhersteller, dem Gesamtverband Textil und Mode sowie dem Verband der deutschen Lack- und Druckfarbenindustrie.

4.2 Stellungnahmen der Bundesoberbehörden

Dies war nicht immer so. 2006 führte das Bundesinstitut für Risikobewertung in Zusammenarbeit mit der Universität Stuttgart eine Expertenbefragung zur Nanotechnologie in den Bereichen Lebensmittel, Kosmetik und Bedarfsgegenstände durch. 100 Expertinnen und Experten wurden zu den Risikopotenzialen im verbrauchernahen Bereich befragt. Vertretende aus der Lebensmittelindustrie beteiligten sich nicht. Im Bereich Lebensmittel warnten die übrigen Expertinnen und Experten vor allem vor einer möglichen Überversorgung mit Vitaminen (Hypervitaminosen) bei einem Einsatz von Nanoträgersystemen (*BfR* 2009). Aufbauend auf der Expertenbefragung fand ebenfalls 2006 eine Verbraucherkonferenz statt. Auch hier war es nicht möglich, Expertinnen und Experten aus der Lebensmittelindustrie zu finden, die den Bürgerinnen und Bürgern zu den möglichen Anwendungsbereichen, ihren Chancen und Risiken Rede und Antwort standen. Dennoch gaben die Verbraucher ein sehr differenziertes Votum ab. Sie betonten ihre generell positive Grundeinstellung zu Nanotechnologien und stellten gleichzeitig ihr Bedürfnis nach mehr Informationen in den Vordergrund. Kritisch äußerten sie sich vor allem zum Einsatz von Nanomaterialien in Lebensmitteln. Intelligente

¹⁴ *NanoKommission* 2011, S. 48ff.

Verpackungen, die verdorbene Waren anzeigen können oder die Haltbarkeit verlängern, stießen dagegen durchaus auf Interesse, sofern diese von neutralen Institutionen auf Sicherheit geprüft würden (*BfR* 2008b). Das BfR hat in verschiedenen Stellungnahmen und Präsentationen zu Anwendungen in Lebensmitteln und Lebensmittelverpackungen wichtige Grundlagen des Wissens zusammengetragen. Verschiedene Expertinnen und Experten des BfR sind bis heute in den internationalen Gremien der OECD und der *European Food Safety Authority* (*EFSA* 2009) mit der Risikobewertung von Nanomaterialien in Lebensmitteln sowie mit den zugrundeliegenden Messmethoden und Testverfahren befasst.

In einer Studie des Umweltbundesamtes (UBA) aus dem Jahr 2009 identifizieren die Autoren verschiedene Bereiche von Nanotechnologien, die mit besonderer Aufmerksamkeit betrachtet werden sollten, da eine Freisetzung der Nanomaterialien zu vermuten ist (*UBA* 2009). Zu diesen Anwendungsbereichen zählt das UBA auch Produkte und Prozesse im Bereich der Lebensmittel. Das UBA wies bereits 2009 in der Studie „Nanotechnik für Mensch und Umwelt: Chancen fördern und Risiken mindern“ darauf hin, dass es angesichts der Vielzahl unterschiedlich modifizierter Nanomaterialien nicht möglich sein werde, alle Varianten von Materialien zu testen. Hohe Forschungspriorität sollte deshalb auf den wesentlichen Parametern für die Charakterisierung der Nanomaterialien sowie auf deren Gesundheits- und Umweltrisiken liegen: „Ziel sollte es sein, Nanomaterialien zu Klassen mit ähnlichen Wirkungen zusammenzufassen. Bei der Durchführung der Prüfverfahren sind geeignete Bezugsgrößen zu bestimmen (zum Beispiel Masse, Partikelzahl, Oberfläche), um damit eine möglichst vergleichbare Auswertung und Interpretation der Ergebnisse der Studien zu erreichen.“¹⁵

Wichtiger Forschungs- und Informationsbedarf wurde für Materialien mit Biozidwirkung gesehen, für eine Abschätzung der freigesetzten Materialien sowie für Lebenszyklusbetrachtungen – mit besonderem Fokus auf den Verpackungen. Hierbei ging es um die Persistenz, Bioakkumulation und die Wechselwirkungen mit Nährstoffen und Chemikalien. Zu prüfen sei die jeweilige Abhängigkeit von Form, Größe, Ladung, Beschichtung und/oder Oberflächengestalt der Nanomaterialien.

Das BfR veröffentlichte Ende 2009 eine Stellungnahme (Nr. 24/2010) zu verschiedenen Anwendungen von Nanosilber und sprach sich angesichts der bestehenden Wissenslücken über Auswirkungen auf Gesundheit und Umwelt deutlich gegen den Einsatz in verbrauchernahen Produkten wie Textilien (z. B. Socken, Sportbekleidung, Anzüge) oder auf Haushaltsgegenständen (z. B. Kühlschränke, Frischhalteboxen, Spielzeug) aus. Hintergrund für diese Empfehlung war die mögliche Desensibilisierung gegen Nanosilber für wichtige therapeutische und medizinische Zwecke (z. B. beim Einsatz in Beschichtungen von Mobiliar und Fußböden gegen multiresistente Keime, Wundauflagen und Beschichtungen von medizinischen Geräten). Es wurde befürchtet, dass ein Masseneinsatz in Verbraucherprodukten die Resistenzbildung von Bakterien beeinflussen könnte (*BfR* 2009). Deshalb empfahl das BfR den Einsatz von Nanosilber auf ein notwendiges Mindestmaß zu beschränken. In einem zweiten Workshop im April 2011 bestätigte das BfR seine kritische Haltung und mahnte an, dass selten Informationen bezüglich der Freisetzung von Nanosilberpartikeln aus Textilien und Produkten vorlägen. Auch die Aufnahme in den Körper sei bislang nicht ausreichend geklärt (*BfR* 2011).

¹⁵ *UBA* 2009, S. 13.

4.3 Bund deutscher Lebensmittelhersteller (BLL) – Europäischer Verband Food & Drink

Der Bund deutscher Lebensmittelhersteller (BLL) hat sein Positionspapier zu Nanotechnologien in den letzten Jahren mehrfach überarbeitet. Im Jahre 2008 ging der BLL noch davon aus, dass in Europa und vor allem in Deutschland keine Nanomaterialien in Lebensmitteln eingesetzt werden. Inzwischen wird vom Einsatz von nanostrukturierten Materialien gesprochen. Ein wesentlicher Grund dafür ist, dass sich die deutsche Lebensmittelindustrie der international diskutierten Definition von nanostrukturierten Materialien, die z. B. Aggregate und Agglomerate von Nanomaterialien mit einschließt, 2009 angeschlossen hat. Ebenso wird auf den Einsatz im Bereich *Food-Processing* und in Verpackungen hingewiesen. Der BLL betont, dass Forschungen auf diesen Gebieten von der Branche mit großem Ernst vorangetrieben werden (BLL 2009).

Auf internationaler Ebene vertritt der Verband Food & Drink (vormals CIAA) die Lebensmittelbranche. Die CIAA vollzog 2009 ebenfalls eine Wende und passte sich der Definition der ISO an. Inzwischen veranstaltet der Verband jährlich einen Stakeholder-Dialog, bei dem Interessenvertreter aus Wissenschaft, Politik und Behörden, herstellenden und anwendenden Unternehmen sowie von Umwelt- oder Verbraucherorganisationen den jeweils aktuellen Stand des Wissens zusammentragen (*FoodDrinkEurope* 2012a). Generell betont die Lebensmittelindustrie, dass zwischen natürlich vorkommenden Nanopartikeln und gezielt hergestellten differenziert werden müsse. Natürliche Nanomaterialien wie z. B. Proteine, feinste Fetttropfchen für Nanoemulsionen, Stärke- oder Zuckerverbindungen zum Einkapsulieren von Vitaminen, Geschmacksstoffen oder Farbstoffen sind bereits jetzt in Nahrungsmitteln enthalten. Immer noch wird diskutiert, ob solche Anwendungen unter den Begriff Nanomaterialien fallen oder nicht. Andere nanostrukturierte Materialien entstehen durch konventionelle Verarbeitungsmethoden, wie z. B. Mahlverfahren, Homogenisierung und Emulgierung. Unter Nanomaterialien werden nach Angabe der Lebensmittelindustrie allerdings nur diejenigen Materialien verstanden, die gezielt so hergestellt werden, dass sie sich anders verhalten als das Ausgangsmaterial außerhalb des Nanobereichs (BLL 2009).

Für die Zukunft von 2015 bis 2020 wird mit maßgeschneiderten Lebensmittelprodukten gerechnet, bei denen die physikalisch-chemischen Eigenschaften und Strukturen optimiert werden. Gerechnet wird außerdem mit Fortschritten im Herstellungsprozess, bei der Prozesskontrolle sowie bei den Verpackungen. Der Forschungsschwerpunkt liegt auf einem besseren Verständnis der Zusammenhänge zwischen Prozessen, Strukturen und Eigenschaften (*FoodDrinkEurope* 2012b).

4.4 Textilverbände

Der deutsche Gesamtverband Textil und Mode veröffentlichte 2011 eine Broschüre, die zum Einsatz verschiedener Nanomaterialien Stellung bezieht. In der Broschüre werden wissenschaftliche Studien des Hohenstein-Instituts vorgestellt, die den Eintrag von Nanomaterialien aus Textilien durch das Waschwasser untersuchen. Die Ergebnisse zeigten, dass die Ausbreitung und Verweilzeit der Einträge stark von der Wasserchemie (z. B. pH-Wert oder Vorhandensein natürlicher organischer Verbindungen) beeinflusst wurde. Auch die Auswaschung von Nanosilberpartikeln aus Textilien hing wesentlich von deren Herstellungsprozess, vom Gehalt der Partikel im Textil und von der Wasserqualität ab. Der Verband weist darauf hin, dass einige Nanosilberanwendungen die Partikel in größere Keramikverbindungen einbetten,

aus denen keine Partikel freigesetzt werden können (*Gesamtverband Textil und Mode* 2011). Für Titandioxidnanopartikel, wie sie im UV-Schutz Anwendung finden, fanden Forscher des Textilforschungsinstituts in Denkendorf, dass die Partikel im Wasser bei günstigen Bedingungen bis zu zehn Kilometer weit transportiert wurden.

Auch die TEGEWA (Hersteller von Textil-, Papier-, Leder- und Pelzhilfs- und -farbmitteln, Tensiden, Komplexbildnern, Antimikrobiellen Mitteln, Polymeren Flockungsmitteln, Kosmetischen Rohstoffen und pharmazeutischen Hilfsstoffen oder verwandten Produkten) veröffentlichte 2011 ein Positionspapier zu Nanotechnologien. Hier wird neben den verschiedenen Anwendungsfeldern auf die bestehenden Prüf- und Zertifizierungssysteme des Hohenstein-Instituts (Qualitätslabel Nanotechnologie) und des IST Denkendorf verwiesen (Denkendorfer Prüfsiegel für selbstreinigende Textilien), die die Langlebigkeit des Nutzens ausweisen sowie verschiedene Tests zur Zytotoxizität, Genotoxizität, Irritation und Sensitivierung enthalten. Darüber hinaus prüfen sie das Potenzial von Entzündungsreaktionen an Lungenzellen sowie die Wasch-, Scheuer- und Witterungsbeständigkeit.¹⁶

Auch der Schweizerische Textilverband veröffentlichte 2011 eine neue Broschüre und stützte sich auf die jüngsten Forschungsergebnisse der Schweizerischen Materialprüfungsanstalt, die insbesondere das Umweltverhalten von Nanomaterialien aus Textilien untersuchte (SOM et al. 2010).

In Deutschland wird die Risikoforschung in diesem Bereich vom Bundesministerium für Bildung und Forschung vorangetrieben. Im Projekt „UMSICHT“ (Abschätzung der Umweltgefährdung durch Nanosilbermaterialien: vom chemischen Partikel bis zum technischen Produkt) werden bis Frühjahr 2013 Verhalten und Verbleib der Nanomaterialien in der Umwelt sowie zu Auswirkungen auf verschiedene Organismen analysiert.¹⁷

4.5 BUND – Friends of the Earth

Der Bund für Naturschutz Deutschland e. V. (BUND) forderte bereits 2008 in seiner Studie „Aus dem Labor auf den Teller. Die Nutzung der Nanotechnologie im Lebensmittelsektor“ ein Moratorium für den Einsatz von Nanomaterialien im Lebensmittelsektor (BUND 2008). Es wurde eine klare Thematisierung dieses Anwendungsbereiches im Nanodialog der deutschen Bundesregierung gefordert, verbunden mit einer Empfehlung zur Regulierung. Eine Kennzeichnungspflicht sowie die Einstufung aller Nanomaterialien als Neustoffe sowohl unter REACH wie auch im Rahmen der *Novel-Food*-Verordnung waren ebenfalls zentrale Forderungen des BUND. Der BUND arbeitet eng mit seiner internationalen Partnerorganisation *Friends of the Earth* zusammen und beteiligt sich an internationalen Veröffentlichungen. In dieser Kooperation entstand auch die Studie von *Friends of the Earth* zum Einsatz von Nanosilber in verbrauchernahen Produkten. Die Umweltorganisation warnt vor der immer schnelleren und unkontrollierten Ausweitung der Anwendungen, die die Resistenzbildung beschleunigen könnte, und spricht sich für ein Moratorium bei Verbraucherprodukten aus (*Friends of the Earth* 2009). Darüber hinaus hat der BUND ein Produktregister-Portal (www.nanowatch.de) erstellt, das zwischenzeitlich über 1000 Produkte enthält (BUND 2012) und von Konsumenten, denen ein Produkt auffällt, *via* Mail ergänzt werden kann.

¹⁶ TEGEWA 2011, S. 6.

¹⁷ Siehe das Internetportal DANA: <http://www.nanopartikel.info/cms/Projekte/umsicht;jsessionid=33CBA4CBEBC892782A35073064B622D>.

4.6 Verbraucherschutz-Organisationen

Die überwiegend nach Bundesländern organisierten Verbraucherzentralen werden durch ihren Bundesverband in Berlin mit Expertise und fachlichem Rat unterstützt. Sie haben verschiedene Dialogveranstaltungen zur Mitarbeiterfortbildung mit Expertinnen und Experten zu Nanomaterialien in Konsumgütern durchgeführt. Ziel ist es, Verbrauchieranfragen kompetent beantworten zu können. Die Frage nach Anwendungen im Lebensmittelbereich wurde zentral aufgenommen. Der *Verbraucherzentrale Bundesverband* hat darüber hinaus einen Platz in der NanoKommission der Bundesregierung und vertritt die Anliegen der Konsumenten auf vielen Podiumsdiskussionen wie auch im Rahmen der BfR-Verbraucherkonferenz 2006. Neben der qualitativen Studie „Was Verbraucher wissen wollen“ (GROBE et al. 2008) veröffentlichte der Bundesverband eine Stellungnahme zu Nanotechnologien (VZBV 2009). Hierin wird vor allem mehr Transparenz und Wahlfreiheit durch eine Kennzeichnung von Nanoprodukten gefordert sowie eine Intensivierung der Risikoforschung. Nanomaterialien sollten demnach vor ihrer Markteinführung ausgiebig geprüft und anschließend von staatlichen Kontrollstellen zugelassen werden.

5. Notwendigkeit von Dialog und Beteiligung

Die vorgestellten Stellungnahmen und Debattenthemen zeigen nur einen kleinen Ausschnitt aus der gegenwärtigen Vielfalt an Forschungsprojekten, Dialogen und Aktivitäten der Stakeholder. Aber schon diese kleine Auswahl macht deutlich, dass die Diskussion um die kritische Bewertung von Nutzen- und Risikopotenzialen bereits weit fortgeschritten ist. Diese Debatte spiegelt sich bisher allerdings nicht in dem Wissen und den Einstellungen von Verbraucherinnen und Verbrauchern wider, die sich in der Regel schlecht informiert fühlen und sich mehr Transparenz wünschen. Kein Wunder also, dass die Verunsicherung in den Bewertungen zunimmt und der Anteil der ambivalenten Einstellungen bei den Verbraucherinnen und Verbrauchern zwischen 2008 und 2012 um 18 % anstieg.¹⁸

Um die Chancen der Nanotechnologie zu nutzen, die Risiken effektiv zu begrenzen und zu einem verantwortlichen Umgang mit dieser neuen Querschnittstechnologie zu kommen, müssen die Kommunikationsstrategien der verschiedenen Stakeholder auf den Prüfstand. Der Schweizer Konsumentenforscher Michael SIEGRIST forderte, den gesellschaftlichen Diskurs über die Nutzung der Nanotechnologie für Medizin, Nahrungsmittelversorgung und Kosmetik zu verstärken und eine vorsorgeorientierte Risikopolitik aufzubauen (SIEGRIST 2010). Bereits 2009 empfahl der *International Risk Governance Council* (IRGC) in Genf die Umsetzung einer abwägenden Beurteilung von nanotechnologischen Anwendungen im Dialog mit den Stakeholdern, in dem gemeinsame Anstrengungen unternommen werden müssten, um zustimmende und ablehnende Bewertungen über Anwendungen in sensiblen Bereichen zu identifizieren und eine Verständigung über die verbleibenden Dissense herbeizuführen. Hintergrund war hier sicher auch das Argument, auf diese Weise Fehlinvestitionen zu vermeiden und möglichst früh Risiken für Gesundheit und Umwelt (*Risk Assessment*) zu identifizieren und Anliegen der Öffentlichkeit (*Concern Assessment*) mit einzubeziehen (IRGC 2009).

¹⁸ GROBE et al. 2012, S. 53.

Die Forderung nach einer diskursiven Bewältigung der Chancen und Risiken in der Debatte um Nanotechnologien ist aber nicht nur ein Mittel zur besseren Bewältigung der heutigen Nanotechnologiedebatte, sondern auch ein Instrument zur Gestaltung einer lebendigen und dynamischen politischen Kultur (RENN 2007). Benötigt wird ein kontinuierlicher und verständigungsorientierter Dialog mit allen Parteien, die direkt oder indirekt mit dieser Thematik befasst sind. Im Dialog kann es dabei nicht darum gehen, die eine oder andere Seite zu überreden, sich dem eigenen Standpunkt anzuschließen, sondern zunächst einmal bei den Teilnehmenden die sachliche Grundlage für eine faktengetreue Einschätzung der Chancen und Risiken sowie die Sicherheit eines ethisch fundierten Urteilvermögens zu schärfen. Das faktische Wissen um die Möglichkeiten und Grenzen der Bewertung von Nanomaterialien kann erst zusammen mit der gesellschaftlichen Reflexion über die Wünschbarkeit der Folgen zu einer fundierten Debatte beitragen. Bisher laufen aber die wenigen Veranstaltungen zu den Chancenaspekten, die wissenschaftlichen Diskurse der risikobewertenden Institutionen, diejenigen der zivilgesellschaftlichen Gruppen und die Debatten der Ethiker nahezu getrennt voneinander mit den oben beschriebenen unterschiedlichen inhaltlichen Schwerpunkten, Fragestellungen und Interessen, die vertreten werden sollen. Berührungspunkte reduzieren sich häufig auf Podiumsgespräche oder Veranstaltungen mit Anhörungscharakter, auf denen die Standpunkte noch einmal dargestellt werden. Die Integrationsarbeit, die die NanoKommission der Bundesregierung leistete, ist eingestellt worden.

Wichtiges Element einer frühzeitigen, öffentlichen Debatte um Nanotechnologien könnten Bürgerdialoge oder partizipative Verfahren sein, wie sie in Form von der BfR Bürgerkonferenz 2006 zu Nanotechnologien durchgeführt wurden. Weitere Aktivitäten wurden auf Länderebene initiiert, wie z. B. in Baden-Württemberg,¹⁹ Nordrhein-Westfalen²⁰ und Rheinland-Pfalz²¹. Solche neuen Strategien der Bürgerbeteiligung in frühen Stadien der Technologieentwicklung können allerdings erst wirksam werden, wenn sich Laien und Experten in diesen Veranstaltungen nicht wie zwei monolithische Blöcke gegenüber stehen. Wichtiger erster Schritt ist eine notwendige Differenzierung, die der Tatsache Rechnung trägt, dass es innerhalb der Expertenkreise und innerhalb der Laienschaft eine außergewöhnliche Vielfalt von Meinungen und Einschätzungen gibt. Jede Laienansicht hat ihr Gegenüber, jeder Experte hat einen Gegenexperten (DAKE 1991, RENN 2007).

Zur gleichen Zeit macht es wenig Sinn, das Festlegen von Prioritäten im Umgang mit Risiken von Nanotechnologien nach der verallgemeinerten Wahrnehmung von Laien auszurichten. Die Unterschiede in der Wahrnehmung von Risiken unter Laien sind ebenso ausgeprägt wie unter Experten. Welche der vielen Wahrnehmungen sollen zur Richtschnur der Bewertung gemacht werden? Wenn sich Menschen über Risiken äußern, werden z. B. persönliche und berufliche Interessen eine wichtige Rolle spielen. Dies gilt für Laien wie für Experten gleichermaßen. Die Frage bleibt, wie eine kritische Reflexion von Interessen und Werthaltungen gelingen kann und ob es möglich ist, die Ansichten von Laien und Experten miteinander in Einklang zu bringen (RENN 2007). Die folgenden Empfehlungen gelten für den konstruktiven Umgang mit neuen Technologien:

19 MLR 2012.

20 CENIDE Center for Nanointegration Duisburg-Essen, Universität Duisburg-Essen 2012.

21 Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung, Weinbau und Forsten Rheinland-Pfalz 2008.

- Zunächst sollte auf die post-moderne Vorstellung verzichtet werden, dass Wissen eine soziale Konstruktion darstellt mit allgemein verbindlichen Kriterien für Wahrheiten oder Qualität. Dass Wissen heute zunehmend mehrdeutig und unsicher ist, bedeutet aber noch lange nicht, dass es beliebig ist. Im Rahmen der Risikobewertung ist es vor allem wichtig, die Bandbreite des methodisch noch vertretbaren Wissens abzustecken und das Absurde von dem Möglichen, das Mögliche von dem Wahrscheinlichen und das Wahrscheinliche von dem Sicherem zu trennen. Wir müssen Klarheit über die Grenzen des Wissens und die Implikationen unseres Nicht-Wissens gewinnen, um sinnvoll Risiken bewerten und behandeln zu können. Dass unser Wissen äußerst begrenzt ist in Bezug auf sekundäre und tertiäre Folgen, ist keine Entschuldigung dafür, jede beliebige intuitive Wahrnehmung zur Richtschnur kollektiven Handelns zu machen. Es ist genau diese prinzipielle Undeutlichkeit in der Erkenntnismöglichkeit neuer technologischer Entwicklungen, die eine Grenzlegung erfordert zwischen dem, was wissenschaftliche Beweise belegen können, und dem, was als Unsinn oder Absurdität abgehakt werden kann. Falls wir keine eindeutigen Grenzen hier ziehen, öffnen wir Tür und Tor für jede Art pseudowissenschaftlicher Rechtfertigung von beliebigen Ängsten über Risiken, wo auch immer diese herrühren mögen. Uns steht eine Vielzahl von Methoden und Techniken zur Verfügung, diese Grenzziehung vorzunehmen.²² Es ist die Aufgabe des Wissenschaftssystems, die Grenzen des annehmbaren Wissens festzulegen. Denn nur die Wissenschaftler selbst verfügen über die wissenschaftlichen Methoden, Vorgehensweisen und Qualitätskriterien, um Wissen nach dem Grad der Wahrheitsfähigkeit zu beurteilen.
- Expertenwissen und Laienwahrnehmung sollten eher als einander ergänzend, denn als gegensätzlich eingestuft werden. Im Rahmen der vielen Erfahrungen bei der Durchführung von Partizipationsverfahren haben wir so gut wie nie Teilnehmer erlebt, die darauf bestanden hätten, ihre eigene Wahrnehmung des Risikos als Entscheidungsgrundlage für kollektiv wirksame Risikobewertungen zu empfehlen.²³ Ganz im Gegenteil: In der Regel haben die Teilnehmenden von Beteiligungsverfahren nach dem Urteil der dafür zuständigen Risikoexperten gefragt. Sobald sich die Befragten mit den Risikoabschätzungen der Experten auseinander gesetzt hatten, erfolgte der Schritt der Einordnung in einen Handlungsrahmen, der durch die Fragestellung vorgegeben war. Dabei ging es darum zu erörtern, wie mit den verbleibenden Risiken und Unsicherheiten umgegangen werden sollte. Die Risikoakzeptabilität kann nicht durch Fachwissen bestimmt werden, aber angemessenes Fachwissen ist notwendige Voraussetzung dafür, um zu einem wohlüberlegten Urteil über Akzeptabilität zu kommen. Verantwortliches Handeln muss sich daran messen, wie sachlich adäquat und moralisch gerechtfertigt Entscheidungen angesichts von Unsicherheiten getroffen werden. Wenn man Risiko rational und fair beurteilen will, ist es unabdingbar, sowohl ethisch gerechtfertigte Bewertungskriterien und -standards anzuwenden als auch das beste zur Verfügung stehende systematische Wissen einzubinden.
- Entscheidungen über die Zumutbarkeit von Risiken beruhen letztendlich immer auf einer subjektiven Abwägung, in der Wissen und Werte eingehen. Aus diesem Grunde war schon die wahrgenommene Polarität in zwei Lager, auf der einen Seite die Rationalität beanspruchenden Experten und auf der anderen die Moralität beanspruchenden Gegenexperten, ein Zerrspiegel der Wirklichkeit. Risikoentscheidungen sind immer von Folgewissen

²² RENN 2008, S. 332ff.

²³ RENN 2008, S. 293.

und moralischer Bewertung geprägt. Die Akzeptabilität unterschiedlicher Anwendungen der Nanotechnologie lassen sich nicht logisch eindeutig ableiten – weder faktisch, noch normativ (GRIEGER et al. 2012). Erst die diskursive Auseinandersetzung mit diesen beiden Wissens-elementen ermöglicht eine kompetente und faire Entscheidung. Ein Diskurs ohne systematische Wissensgrundlage bleibt leeres Geschwätz, ein Diskurs, der die moralische Qualität der Handlungsoptionen ausblendet, verhilft der Unmoral zum Durchbruch. Moralität und Sachkompetenz sind beide gleichgewichtig in den Risikodiskurs einzubinden.

6. Schlussbetrachtung

Die drei eingangs beschriebenen Diskursfelder der alles durchdringenden Einsatzmöglichkeiten von Nanomaterialien und ihrer großen wirtschaftlichen Potenziale, die offenen Fragen der Regulierung sowie der Unsicherheit der Risikobewertung für Mensch und Umwelt ziehen drei kommunikative Konsequenzen nach sich. Zurzeit entwickeln sich drei Arten von Kommunikationsmustern. Das erste baut auf dem Mechanismus der Angstkommunikation auf (RENN 2007), die als bedrohlich wahrgenommene Bewertungen der Technikfolgenabschätzung für ganz verschiedene Anwendungsbereiche, Expositionswege (Aufnahme über die Haut, über die Lunge oder den Magen-Darm-Trakt) und Zielorganismen (Mensch, Umwelt) oder in ganz unterschiedlichen Dosen zusammenbringt und vermischt. Unsicherheit und Mehrdeutigkeit führen zudem schnell zu einem Vergleich mit alt bekannten, ebenfalls als gefährlich eingestuften Themen wie z. B. der Gentechnologie oder zu Asbest. Dass hier Ablehnung nach einem vergleichbaren Argumentationsmuster und Moratoriumsforderungen von Seiten der NGOs entstehen, ist vorprogrammiert. Im besten Fall führt Angstkommunikation zu Unsicherheit oder zu einer Lähmung und zu einer abwartenden Haltung.

Die kommunikative Gegenbewegung versucht zu verdeutlichen, dass Nanomaterialien schon seit Jahrhunderten eingesetzt werden, wie z. B. Silberbecher zur Desinfektion, nanogroße Goldpartikel, die rot in Kirchenfenstern zu sehen sind, Milch mit ihren nanogroßen Fett-Eiweiß-Verbindungen oder Ruße mit ihrem breiten Einsatz in der Industrie, bei Lagerfeuern oder beim Entzünden von Kerzen, die alle weitaus mehr Nanomaterialien freisetzen als die neuen Herstellungsverfahren. Diese Kommunikationsmuster passen allerdings wenig zum Hype der Jahre 2004 bis 2008, in denen die Neuartigkeit und das Innovationspotenzial betont wurden. Der Vergleich mit altbekannten Quellen wurde von den Umwelt- und Verbraucherverbänden eher als „Irreführung“ der Konsumenten bewertet (GROBE und RISSANEN 2012).

Beide Kommunikationsmuster werden den komplexen Problemen der Chancen- und Risikobewertung bei komplexen technischen Entwicklungen wie bei den Nanotechnologien nicht mehr gerecht. Ein sinnvoller und erfolgversprechender Ansatz könnten Gestaltungsdiskurse sein, in denen auf der Basis der konkreten, naturwissenschaftlichen Bewertung einzelner Materialien und ihrer Anwendung im Produkt (*Risk Assessment*) sowie unter Berücksichtigung der Fragen und Bedürfnisse der Konsumenten (*Concern Assessment*) Kreativität frei werden kann (IRGC 2008). Sowohl die produktive Angst vor dem Ungewissen, verbunden mit der Anerkennung von Grenzen der Gestaltungsmöglichkeiten, auf der einen als auch die handlungsleitende Kraft von positiven Zukunftsbildern und die Verfügbarkeit über die dazu notwendigen technischen und organisatorischen Mittel auf der anderen Seite schaffen die Voraussetzung dafür, dass sich neue Technologien so entwickeln können, dass sie in der Gesellschaft als gewünscht akzeptiert werden können. Gestaltungsdiskurse können wirkungsvolle und demokratisch legiti-

mierte Formen des Abwägens zwischen Risiko und Chancen bereitstellen. Mehr dieser Dialog- und Beteiligungsformate zwischen Wirtschaft, Wissenschaft, NGOs und eben auch zwischen Experten und Laien in die politischen Steuerungsprozesse (*Governance*) für neue Technologien einzubauen, wäre eine wichtige Aufgabe für das nächste Jahrzehnt.

Expertenwissen und moralische Urteilskraft sind beide notwendige Bedingungen für einen verantwortungsvollen Umgang mit neuen Technologien, der die Basis für eine breite Akzeptanz legen könnte. Ein solcher Prozess der Abwägung benötigt einen strukturellen Rahmen, in dem sich Gestaltungsdiskurse institutionell entfalten können. Die wichtigen Entscheidungen über Risiken können überspitzt formuliert weder in einer Expertokratie liegen noch in einer Politik der vorausseilenden Akzeptanz durch die Bevölkerung gefunden werden. Was benötigt wird, sind gesellschaftliche Foren, in denen Expertinnen und Experten, Entscheidungsträger in Wirtschaft und Gesellschaft sowie von Risiken betroffene Bürger und Bürgerinnen gemeinsam die Aufgabe der Risikoabwägung vornehmen. Es gibt bereits heute vielfältige Ansätze, diese Art von Diskursen zu führen.²⁴ Aber es sind vermutlich weitaus mehr derartige Versuche und Bemühungen notwendig, um die Lücke zwischen Wissen und Moralität in der Bewältigung von Risiken in der modernen globalisierten Welt zu schließen und die verlorene Einheit von Wissen und Moral in der Regulierung von neuen Technologien wiederzugewinnen.

Literatur

- BAG** (Bundesamt für Gesundheit): Entsorgung von industriellen Nanoabfällen. (2012)
<http://www.bag.admin.ch/nanotechnologie/12171/12177/index.html?lang=de>
- BfR** (Bundesinstitut für Risikobewertung): Wahrnehmung der Nanotechnologie in der Bevölkerung – Repräsentativerhebung und morphologisch-psychologische Grundlagenstudie. Berlin 2008a
- BfR** (Bundesinstitut für Risikobewertung): Die Datenlage zur Bewertung der Anwendung der Nanotechnologie in Lebensmitteln und Lebensmittelbedarfsgegenständen ist derzeit noch unzureichend; Stellungnahme Nr. 001/2009 des BfR vom 3. Juli 2008, Berlin 2008b. Verfügbar unter:
http://www.bfr.bund.de/cm/343/die_datenlage_zur_bewertung_der_anwendung_der_nanotechnologie_in_lebensmitteln.pdf
- BfR** (Bundesinstitut für Risikobewertung): BfR-Verbraucherkonferenz Nanotechnologie. Modellprojekt zur Erfassung der Risikowahrnehmung bei Verbrauchern. In: BfR-Wissenschaft 03, Berlin 2008c. Verfügbar unter:
http://www.bfr.bund.de/cm/350/bfr_verbraucherkonferenz_nanotechnologie.pdf
- BfR** (Bundesinstitut für Risikobewertung): BfR rät von Nanosilber in Lebensmitteln und Produkten des täglichen Bedarfs ab; Stellungnahme Nr. 024/2010 des BfR vom 28. Dezember 2009, Berlin 2009. Verfügbar unter:
http://www.bfr.bund.de/cm/343/bfr_raet_von_nanosilber_in_lebensmitteln_und_produkten_des_taeeglichen_bedarfs_ab.pdf
- BfR** (Bundesinstitut für Risikobewertung): Wahrnehmung der Nanotechnologie in internetgestützten Diskussionen. Ergebnisse einer Onlinediskursanalyse zu Risiken und Chancen von Nanotechnologie und Nanoprodukten. Berlin 2010. Verfügbar unter:
http://www.bfr.bund.de/cm/350/wahrnehmung_der_nanotechnologie_in_internetgestuetzten_diskussionen.pdf
- BfR** (Bundesinstitut für Risikobewertung): Sicherheit von Nanosilber in Verbraucherprodukten: Viele Fragen sind noch offen. Berlin 2011. Verfügbar unter:
http://www.bfr.bund.de/de/presseinformation/2011/10/sicherheit_von_nanosilber_in_verbraucherprodukten__viele_fragen_sind_noch_offen-70227.html, 12.04.2011
- BLL** (Bund für Lebensmittelrecht und Lebensmittelkunde e. V.): Sachstands- und Positionspapier. Nanotechnologie im Lebensmittelbereich. Bonn 2009. Verfügbar unter:
<http://www.bll.de/download/positionspapiere/sachstand-nanotechnologie.pdf>

24 Siehe RENN 2008, S. 332ff.

- BMBF* (Bundesministerium für Bildung und Forschung): nano.DE-Report 2009. Status Quo der Nanotechnologie in Deutschland. Bonn, Berlin 2009. Verfügbar unter: http://www.bmbf.de/pub/nanode_report_2009.pdf
- BMBF* (Bundesministerium für Bildung und Forschung): nano.DE-Report 2011. Status Quo der Nanotechnologie in Deutschland. Bonn, Berlin 2011. Verfügbar unter: http://www.bmbf.de/pub/nanoDE-Report_2011.pdf
- BUND*: Aus dem Labor auf den Teller. Die Nutzung der Nanotechnologie im Lebensmittelsektor. B. U. N. D. e. V. Berlin 2008. Verfügbar unter: http://www.bund.net/fileadmin/bundnet/publikationen/nanotechnologie/20080311_nanotechnologie_lebensmittel_studie.pdf
- BUND*: Wo steckt Nano drin? Hier finden Sie es raus! 2012
http://www.bund.net/themen_und_projekte/nanotechnologie/nanoproduktdatenbank/
- CENIDE Center for Nanointegration Duisburg-Essen, Universität Duisburg-Essen*: 2. Duisburger Nanodialog. Sprung in die Zukunft oder Spiel mit dem Feuer? Wie Nanotechnik unseren Alltag verändert. 2012
http://www.nanodialog-duisburg.de/Duisburger_NanoDialog/Home.html
- DAKE, K.*: Orienting dispositions in the perceptions of risk: An analysis of contemporary worldviews and cultural biases. *Journal of Cross-Cultural Psychology* 22, 61–82 (1991)
- EFSA* (European Food Safety Authority): The potential risks arising from nanoscience and nanotechnologies on food and feed safety. Scientific opinion of the scientific committee. *The EFSA Journal* 958, 1–39 (2009). Verfügbar unter: <http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/doc/958.pdf>
- Europäische Kommission*: Empfehlung der Kommission vom 18. Oktober 2011 zur Definition von Nanomaterialien. Amtsblatt der Europäischen Union L275/38 (2011). Verfügbar unter: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:275:0038:0040:DE:PDF>
- Europäische Union*: Verordnung (EG) Nr. 1223/2009 des Europäischen Parlaments und des Europäischen Rates vom 30. November 2009 über kosmetische Mittel. Amtsblatt der Europäischen Union L 342/59 (2009). Verfügbar unter: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:342:0059:0209:de:PDF>
- FoodDrinkEurope*: Stakeholder Dialogue. 2012a
<http://www.fooddrinkeurope.eu/industry-in-focus/topic/nanotechnology/stakeholder-dialogue/>
- FoodDrinkEurope*: Nanotechnology. 2012b
<http://www.fooddrinkeurope.eu/industry-in-focus/topic/nanotechnology/>
- Friends of the Earth*: Nano & Biocidal Silver. Extreme Germ Killers Present a Growing Threat to Public Health. Written by Dr. R. SENJEN and I. ILLUMINATO. Australien und Amerika. 2009. Verfügbar unter: http://libcloud.s3.amazonaws.com/93/b3/3/636/Nano_and_biocidal_silver.pdf
- GASKELL, G., STARES, S., ALLANSDOTTIR, A., ALLIUM, N., CASTRO, P., ESMER, Y., FISCHLER, C., JACKSON, J., KRONBERGER, N., HAMPEL, J., MEJLGAARD, N., QUINTANILHA, A., RAMMER, A., REVUELTA, G., STONEMAN, P., TORGERSEN, H., and WAGNER, W.*: Eurobarometer 2010. Europeans and Biotechnology in 2010. Winds of Change? Luxembourg: European Commission's Directorate-General for Research 2010
Verfügbar unter: http://ec.europa.eu/public_opinion/archives/ebs/ebs_341_winds_en.pdf
- Gesamtverband Textil und Mode*: Fragen und Antworten rund um die Nutzung von Nanotechnologien am Beispiel der Textilwirtschaft. Berlin 2011. Verfügbar unter: http://www.textil-mode.de/data/nano-broschuere/NANO_A5_20101202.pdf
- GRIEGER, K., LINKOV, I., HANSEN, S. F., and BAUN, A.* Environmental risk analysis for nanomaterials: Review and evaluation of frameworks. *Nanotoxicology* 6/2, 196–212 (2012). Verfügbar unter: <http://informahealthcare.com/doi/pdf/10.3109/17435390.2011.569095>
- GROBE, A.*: Konsumenten-Informationen zu Nano-Produkten. Ergebnisse der BAG NANO-Dialogplattform. 2010. Verfügbar unter: http://www.bag.admin.ch/nanotechnologie/12197/12501/index.html?lang=de&download=NHZLpZeg7t.lnp6i0NTU042i2Z6ln1acy4Zn4Z2qZpnO2Yuq2Z6gpJCJe3x7f2ym162epYbg2c_JjKbNoKSn6A--
- GROBE, A., SCHNEIDER, C., SCHETULA, V., REKIC, M., und NAWRATH, S.*: Nanotechnologien: Was Verbraucher wissen wollen. Studie im Auftrag der Verbraucherzentrale des Bundesverbandes e. V. Berlin. Stuttgart 2008. Verfügbar unter: http://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=grobe%20was%20verbraucher%20wissen%20wollen&source=web&cd=1&ved=0CCMQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.vzbv.de%2Fmediapics%2Fstudie_nanotechnologien_vzbv.pdf&ei=_dDzTsTQJaSO4gTC1ryNCA&usq=AFQjCNHMTRvnFMFMR9itYRCfYmonKWOCa
- GROBE, A., und RISSANEN, M.*: Dialogforum Nano der BASF 2011/2012. Transparenz in der Kommunikation über Nanomaterialien vom Hersteller bis zum Verbraucher. BASF SE 2012. Verfügbar unter: http://www.dialogbasis.de/fileadmin/content_images/NANO_BASF-final-web.pdf

- GROBE, A., RISSANEN, M., FUNDA, P., DE BEER, J., und JONAS, U.: Nanotechnologien aus der Sicht von Konsumenten. Was Verbraucher wissen und was sie wissen wollen. Bundesamt für Gesundheit BAG, Bern; Stiftung Risiko-Dialog, St. Gallen 2012. Verfügbar unter:
http://www.dialogbasis.de/fileadmin/content_images/Home/Konsumentenstudie_Nano_2011_final_1_.pdf
- IRGC (International Risk Governance Council): Appropriate Risk Governance Strategies for Nanotechnology Applications in Food and Cosmetics. Geneva 2009. Verfügbar unter:
<http://www.dialogik-expert.de/en/forschung/nano.pdf>
- ISO: Nanomaterial. In: Nanotechnologien – Fachwörterverzeichnis – Teil 4: Nanostrukturierte Materialien. DIN ISO/TS 80004-4. Sowie: Nanotechnologien. In: Nanotechnologien – Fachwörterverzeichnis – Teil 1: Kernbegriffe. DIN ISO/TS 80004-1. 2012
- JRC (Joint Research Centre): Considerations on a Definition of Nanomaterial for Regulatory Purposes. Written by LÖVESTAM, G., RAUSCHER, H., ROEBBEN, G., KLÜTTGEN, B. S., GIBSON, N., PUTAUD, J.-P., and STAMM, H. Luxembourg: Publications Office of the European Union 2010. Verfügbar unter:
http://ec.europa.eu/dgs/jrc/downloads/jrc_reference_report_201007_nanomaterials.pdf
- Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung, Weinbau und Forsten Rheinland-Pfalz (2008): Info-Tag „Nanotechnologie“ von Umweltministerium und Wirtschaftsministerium – Umweltministerin Margit CONRAD und Wirtschaftsminister Hendrik HERING fordern Transparenz im Umgang mit der Nanotechnologie. http://www.mulewf.rlp.de/no_cache/aktuelles/einzelansicht/archive/2008/may/article/info-tag-nanotechnologie-von-umweltministerium-und-wirtschaftsministerium-umweltministerin-margi/?print=1&cHash=8f940f586378c8ad4a504c246eb5a5db
- MLR (Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg): Nanotechnologien im Alltag. Das Verbraucherportal aus Baden-Württemberg. „Kleine Teilchen, große Fragen!“ – Informationen zum Kongress. 2012. Verfügbar unter:
http://www.nanoportal-w.de/pb/,Lde/Startseite/Nano_Dialog/Kongress+_Kleine+Teilchen+_grosse+Fragen_.html
- NanoKommission (NanoKommission der deutschen Bundesregierung): Verantwortlicher Umgang mit Nanotechnologien. Bericht und Empfehlungen der NanoKommission der deutschen Bundesregierung 2008. Berlin 2008. Verfügbar unter:
http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/nanokomm_abschlussbericht_2008.pdf
- NanoKommission (NanoKommission der deutschen Bundesregierung): Überprüfung der Regulierung von Nanomaterialien und Nanoprodukten. Themengruppe 3 der NanoKommission. Berlin 2010. Verfügbar unter: http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/nano_abschlussbericht3_bf.pdf, 18.09.2010.
- NanoKommission (NanoKommission der deutschen Bundesregierung): Verantwortlicher Umgang mit Nanotechnologien. Bericht und Empfehlungen der NanoKommission der deutschen Bundesregierung 2011. Berlin 2010. Verfügbar unter:
http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/nano_schlussbericht_2011_bf.pdf
- OECD (Organisation for Economic Co-Operation and Development): Six Years of OECD Work on the Safety of Manufactured Nanomaterials. 2012. Verfügbar unter: <http://www.oecd.org/chemicalsafety/Nano%20Brochure%20Sept%202012%20for%20Website%20%20%282%29.pdf>
- Öko-Institut e. V.: Nano-NachhaltigkeitsCheck. Integrierte Nachhaltigkeitsbewertung und strategische Optimierung von Nanoprodukten. Freiburg 2011
Verfügbar unter: <http://www.oeko.de/oekodoc/1138/2011-020-de.pdf>
- RENN, O.: Abschied von der „Risiko-Gesellschaft“? In: ADERHOLD, J., und KRANZ, O. (Hrsg.): Intention und Funktion. Problem der Vermittlung psychischer und sozialer Systeme. S. 230–251. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften 2007
- RENN, O.: Risk Governance. Coping with Uncertainty in a Complex World. London: Earthscan 2008
- SCENIHR (Scientific Committee on Emerging and Newly-Identified Health Risks): Scientific Basis for the Definition of the Term “Nanomaterial”. Brüssel: Europäische Kommission 2010
- SIEGRIST, M.: Predicting the future: Review of public perception studies of nanotechnology. Human and Ecological Risk Assessment 16, 837–846 (2010)
- SOM, C., NOWACK, B., WICK, P., und KRUG, H.: Nanomaterialien in Textilien: Umwelt-, Gesundheits- und Sicherheits-Aspekte, Fokus: synthetische Nanopartikel. St. Gallen: Empa und TVS Textilverband Schweiz 2010. Verfügbar unter: http://www.empa.ch/plugin/template/empa*/93326
- SRU (Sachverständigenrat für Umweltfragen): Vorsorgestrategien für Nanomaterialien. Sondergutachten des Sachverständigenrates für Umweltfragen. Berlin 2011. Verfügbar unter:
http://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/02_Sondergutachten/2011_09_SG_Vorsorgestrategien%20f%C3%BCr%20Nanomaterialien.pdf?__blob=publicationFile

- SRU-Kurzfassung* (Sachverständigenrat für Umweltfragen): Vorsorgestrategien für Nanomaterialien. Sondergutachten des SRU. Juni 2011 (Kurzfassung). Berlin 2011. Verfügbar unter:
http://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/02_Sondergutachten/2011_09_SG_Vorsorgestrategien_Nanomaterialien_KurzfassungEntscheid.pdf?__blob=publicationFile
- Stiftung Risiko-Dialog* (Hrsg.): BASF Dialogforum Nano 2009/2010. Information und Transparenz entlang des Produkt-Lebensweges von Nanomaterialien. 2011. Verfügbar unter:
http://www.dialogbasis.de/fileadmin/content_images/Home/basf_dialogforum_nano_2010_de.pdf
- TEGEWA*: Sachstandsbericht: Nanotechnologie in Textilien. Frankfurt am Main: TEGEWA e. V. 2011
Verfügbar unter: http://www.tegewa.de/uploads/media/TEGEWA_Sachstandsbericht_Nano.pdf
- UBA* (Umweltbundesamt): Nanotechnik für Mensch und Umwelt. Chancen fördern und Risiken mindern. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt 2009. Verfügbar unter: <http://www.lanuv.nrw.de/gefahrstoffe/pdf/UBA.pdf>
- VZBV* (Verbraucherzentrale Bundesverband e. V.): Nanotechnologien – neue Herausforderungen für den Verbraucherschutz. Positionspapier der Verbraucherzentralen und des Verbraucherzentrale Bundesverbandes. 2009. Verfügbar unter: http://www.vzbv.de/mediapics/positionspapier_nanotechnologien_oktober_2009.pdf, 16.10.2009.
- ZIMMER, R., HERTEL, R., und BÖL, G.-F.: Wahrnehmung der Nanotechnologie in der Bevölkerung. Repräsentativerhebung und morphologisch-psychologische Grundlagenstudie. Berlin: BfR Wissenschaft 2008. Verfügbar unter: http://bfr.bund.de/cm/350/wahrnehmung_der_nanotechnologie_in_der_bevoelkerung.pdf

Dr. Antje GROBE
DIALOG BASIS / Universität Stuttgart
Breitwasenring 15
72135 Dettenhausen
Bundesrepublik Deutschland
Tel: +49 7157 7213311
Fax: +49 7157 7211850
E-Mail: antje.grobe@dialogbasis.de

Nanotechnologie: Risikobewertung, Risikowahrnehmung und Risikokommunikation aus der Sicht des gesundheitlichen Verbraucherschutzes

Jürgen THIER-KUNDKE (Berlin)

Zusammenfassung

Der Anteil von Nanomaterialien in verbrauchernahen Produkten nimmt auch in Deutschland zu. Die Bewertung der gesundheitlichen Risiken von Nanomaterialien bei Lebensmitteln und Bedarfsgegenständen hält mit diesem rasanten Zuwachs kaum Schritt. In der Wissenschaft ist man sich einig, dass eine spezielle Nanotoxikologie dafür nicht benötigt wird. Hier kann mit den gleichen Methoden wie bei anderen Stoffen auch verfahren werden. Allerdings können die Ergebnisse von Studien mit Materialien aus dem Makro- und Mikrobereich nur bedingt für die Beurteilung von Nanomaterialien herangezogen werden. Nötig sind Studien mit den Materialien in der jeweiligen Nanoskaligkeit, um die physikochemischen Eigenschaften in ihrer Wechselwirkung mit dem jeweiligen Zielorgan sowie die besondere Toxikokinetik der Materialien in der jeweiligen Größenordnung zu charakterisieren. Insgesamt zeigt sich, dass die Datenlage für eine gesundheitliche Bewertung von Nanomaterialien noch lückenhaft ist.

Studien des BfR zeigen, dass die Verbraucher eine sehr differenzierte Einstellung zur Nanotechnologie und zu Nanomaterialien haben. Nanomaterialien zur Pflege und Erhaltung von Gebrauchsgütern sowie zu therapeutischen Zwecken werden positiv gesehen. Je näher ihre Anwendung dem eigenen Körper kommt, desto skeptischer werden die Verbraucherinnen und Verbraucher.

Abstract

The percentage of nanomaterials in consumer-related products is on the increase in Germany to the extent that the assessment of the health risks of nanomaterials in foods and commodities can hardly keep up with this rapid growth. Within this field of science, there is a consensus that no separate nanotechnology will be required for this purpose. Although the same methods can be used here as with other substances, the results of studies with materials from the macro and micro area can only be used to a limited extent for the appraisal of nanomaterials. What is needed are studies with materials in each nanoscale in order to characterize the physiochemical properties in their interaction with each target organ, as well as the special toxicokinetics of the materials in each scale. Overall, it can be seen that the data findings are still too sketchy for the assessment of nanomaterials from a health point of view.

Studies conducted by the BfR show that consumers have very different attitudes towards nanotechnology and nanomaterials. Nanomaterials for the upkeep and maintenance of consumer goods and for therapeutic purposes are regarded positively. The closer their application gets to their own body, the more sceptical the consumers become.

1. Nanotechnologie im Bundesinstitut für Risikobewertung

Als die zentrale Institution in Deutschland, die sich mit der Sicherheit von Lebens- und Futtermitteln sowie mit der Sicherheit von Chemikalien und Produkten befasst, ist das Bundesinstitut für Risikobewertung (*BfR*) auch mit der Bewertung gesundheitlicher Risiken durch Nanomaterialien konfrontiert. Die Spanne reicht dabei von Lebensmitteln und Lebensmittel-

zusatzstoffen über Bedarfsgegenstände wie Materialien in Kontakt mit Lebensmitteln oder in kosmetischen Mitteln bis hin zu Bekleidungstextilien und Produkten wie Haushaltschemikalien oder bioziden Wirkstoffen. Da das BfR auch für die grundsätzliche Bewertung von Chemikalien in Deutschland im REACH-Prozess¹ für die Europäische Chemikalien-Behörde ECHA (*European Chemicals Agency*) in Helsinki tätig ist, ist das Institut auch mit der Stoffbewertung von Nanomaterialien befasst.

2. Mit welchen Nanomaterialien wird der Verbraucher heute in Europa konfrontiert?

Nach einer Einschätzung des Woodrow-Wilson-Instituts (*WWI*) nimmt die Anzahl der Produkte und Verwendungsbereiche, in denen Nanotechnologie eingesetzt wird, rasant zu. So waren 2009 laut einer Erhebung des WWI ca. 1015 Produkte im Markt, die meisten davon in der Kategorie Health- und Fitnessprodukte, gefolgt von den Kategorien Haus- und Gartenprodukte und Lebensmittel und Getränke. Im Jahr 2005 waren hingegen erst 64 Produkte mit Nanomaterialien im Markt. Einschränkung ist festzuhalten, dass die vom WWI geführten Listen lediglich Produkte aufführen, die mit dem Begriff Nano vermarktet werden. Es wird nicht geprüft, inwieweit hier tatsächlich Nanomaterialien eingesetzt werden oder ob die Bezeichnung Nano rein aus Marketinggründen verwendet wird.

Bei den in den Listen des WWI genannten Materialien dominiert nanoskaliges Silber, gefolgt von Kohlenstoff, Titandioxid, Silizium und Zink in Nanoform. Betrachtet man die Subkategorien bei der *Gruppe Health and Care*, so sind darin auch Sportbekleidung und Sportartikel enthalten sowie kosmetische Mittel und Sonnenschutzmittel, die in Deutschland unter einer Kategorie der kosmetischen Mittel zu fassen wären.

Die Daten des WWI beziehen sich hauptsächlich auf den amerikanischen und asiatischen Markt. Für die Verhältnisse in Europa und insbesondere in Deutschland sind sie nur in Teilen aussagekräftig. Die Projektgruppe Nanomaterialien im BfR hat daher versucht, die Verwendung von Nanomaterialien in der Europäischen Union im Jahr 2009 mit Hilfe von Daten aus Schwesterbehörden des BfR und anderer Institutionen abzuschätzen. Nach diesen Daten steht an erster Stelle in Europa die Verwendung von Nanomaterialien beim Oberflächenschutz. Bei den verbrauchernahen Produkten sind es Verpackungsmaterialien, Reinigungs- und Pflegemittel sowie Sonnenschutzmittel, in denen nanostrukturierte Materialien eingesetzt werden, gefolgt von Bekleidungstextilien.

Im Lebensmittelsektor werden nach Angaben der deutschen Lebensmittelindustrie anorganische Materialien in Nanogröße etwa in der Form von Siliziumdioxidpartikeln als Rieselhilfe noch nicht gezielt eingesetzt. Allerdings sind die Angaben aus der Industrie hier missverständlich. So wird in einem Papier des Bundes für Lebensmittelrecht und Lebensmittelkunde (*BLL*) sehr wohl vom Einsatz nanostrukturierter Materialien gesprochen.² Gemeint sind damit aber Aggregate von SiO₂-Nanopartikeln, die dann als Primärpartikel bezeichnet werden. Bei diesen Materialien sind die einzelnen Primärpartikel zu Teilchen einer Größe von mehr als 100 nm fest miteinander verbunden, jedoch bleiben bestimmte Eigenschaften der nanoskaligen Form wie etwa die hohe spezifische Oberfläche erhalten, und grundsätzlich

1 Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council of 18 December 2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH).

2 BLL Sachstands- und Positionspapier Nanotechnologie im Lebensmittelbereich vom 10. 12. 2009.

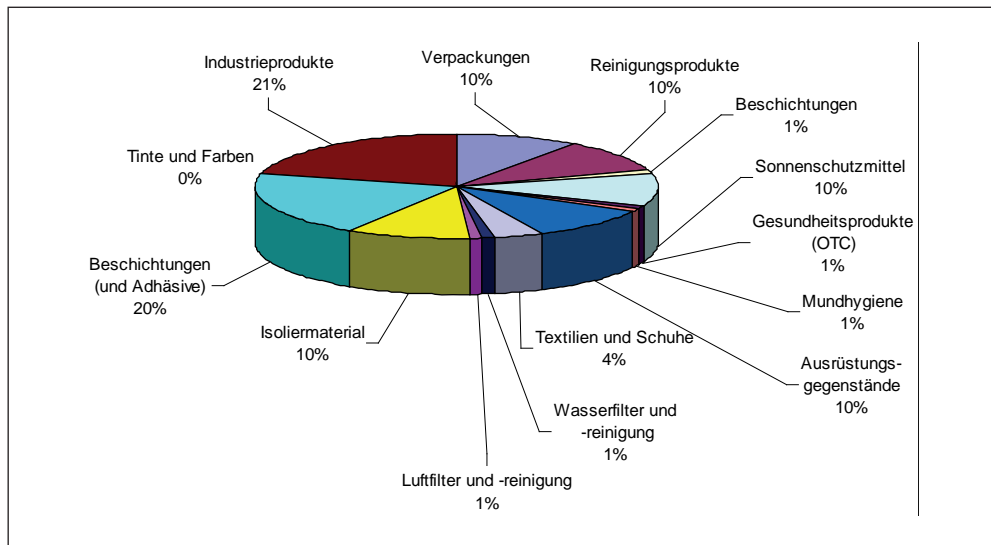


Abb. 1 Anwendungsgebiete der Nanotechnologie in Europa (BfR 2010 auf Basis von Daten aus Behörden der EU-Mitgliedstaaten)

könnten Nanopartikel beim Zerfall bzw. Abbau des Materials wieder freigesetzt werden. Inzwischen haben niederländische Behörden in einem Forschungsprojekt nachgewiesen, dass in bestimmten Lebensmitteln durchaus Siliziumdioxidpartikel in Nanogröße vorkommen können (DEKKERS et al. 2010).

3. Risikobewertung von Nanomaterialien: Ein weißer Fleck mit Inseln der Kenntnis

Eine Abschätzung und Bewertung der gesundheitlichen Risiken von Nanomaterialien ist eine Aufgabe, der sich das BfR künftig verstärkt stellen muss. Im BfR beschäftigen sich verschiedene Abteilungen aus unterschiedlichen Blickwinkeln mit Fragen der Bewertung des gesundheitlichen Risikos von Nanomaterialien in den Feldern Lebensmittelsicherheit, Sicherheit von Lebensmittelkontaktmaterialien, kosmetischen Mitteln und anderen Produkten des täglichen Bedarfs sowie im Bereich der Biozide einschließlich der Pflanzenschutzmittel und der Chemikalien.

Die Bewertung gesundheitlicher Risiken folgt einer bestimmten Methodik. Ziel ist es, das gesundheitliche Risiko, verstanden als eine Funktion aus Gefährdungspotential (*Hazard*) und Exposition, quantitativ abzuschätzen. Risikobewertung ist ein komplexer Prozess. Für eine gesundheitliche Risikobewertung muss nicht nur das Gefährdungspotential eines Stoffes bekannt sein, also die Qualität und das Ausmaß der Schäden, die ein Stoff im Organismus anrichten kann. Entscheidend sind vielmehr auch Kenntnisse über die Art und Weise sowie die Dauer der Exposition, d. h. des Kontaktes des Menschen mit diesem Stoff. Erst wenn das Gefährdungspotenzial mit der Exposition in Beziehung gesetzt wird, lässt sich ein Risiko charakterisieren. In der Folge können Maßnahmen zu Minimierung des Risikos vorgeschlagen und deren Wirksamkeit in einem analogen Verfahren festgestellt werden.

4. Brauchen wir eine besondere Nanotoxikologie?

Nationale und internationale Expertengruppen sind sich einig, dass die in anderen Bereichen angewandten risikoorientierten Verfahren der gesundheitlichen Bewertung, wie sie etwa bei der Bewertung von Chemikalien, Lebensmittelzusatzstoffen, kosmetischen Mitteln oder Pflanzenschutzmitteln im makroskaligen Bereich angewandt werden (Abb. 2), auch für Nanomaterialien herangezogen werden können.

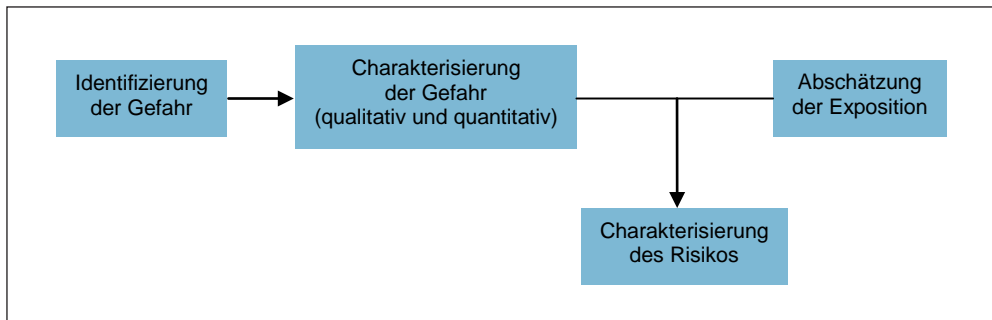


Abb. 2 Typische Elemente einer Risikobewertung (Quelle: BfR 2010)

Im Bewertungsprozess werden zunächst die physikochemischen Eigenschaften und die toxischen Effekte experimentell erfasst und auf diesem Weg das Gefährdungspotenzial identifiziert (*Hazard Identification*). Die toxischen Effekte werden in der Regel durch die Ermittlung von Dosis-Wirkungsbeziehungen im Tierversuch weiter charakterisiert. Auf diesem Weg wird bestimmt, bei welcher Dosis im Tier keine schädlichen Effekte beobachtet werden (*No Observed Adverse Effect Level, NOAEL*). Durch die Anwendung von sogenannten Bewertungsfaktoren, auch als Sicherheits- und Extrapolationsfaktoren bezeichnet, werden sichere Grenzwerte für den Menschen abgeleitet (*Hazard Characterisation*). Es folgt dann eine Abschätzung der erwarteten oder der tatsächlichen Exposition (*Exposure Assessment*). Hierbei werden auch die Expositionspfade (Haut, Lunge, Magen-Darm-Trakt) berücksichtigt, um zu bestimmen, welche Mengen eines Stoffes letztlich über den jeweiligen Pfad zum Zielorgan gelangen. Der NOAEL bzw. ein davon abgeleiteter Grenzwert (z. B. die duldbare tägliche Menge [*ADI*]) wird schließlich der Exposition zur Berechnung eines Sicherheitsabstandes oder der prozentualen Grenzwertauslastung gegenübergestellt (*Risk Characterisation*).

In vielen Fällen ist aufgrund der unzureichenden Datenbasis eine abschließende quantitative Risikobewertung von Nanomaterialien derzeit nicht möglich. Das BfR befürwortet daher analog zur NanoKommission der Bundesregierung und anderen internationalen Gremien eine schrittweise, vorläufige Risikoabschätzung, die dem Vorsorgeprinzip folgt. Aufgrund der vorliegenden (oder nicht vorliegenden) Daten werden bei diesem Ansatz Besorgnis- und Entlastungskriterien formuliert, um ein gesundheitliches Risiko eines Nanomaterials zu beurteilen. Entlastungskriterien sind z. B. eine gute Löslichkeit in Wasser oder Körperflüssigkeiten, eine schnelle Abbaubarkeit eines Materials im Körper, die feste Einbindung in Matrices wie Polymere usw. oder die Bildung größerer Einheiten (je nach Stabilität losere Agglomerate oder feste Aggregate) von Nanopartikeln. Besorgniskriterien sind z. B. Hinweise auf eine erwartbare

hohe Exposition durch große Produktionsmengen, gezielte Freisetzung in Innenräumen (Nanosprays) oder die Akkumulation im Organismus. Weitere Besorgniskriterien sind bestimmte Materialeigenschaften wie hohe Reaktivität, Morphologie (z. B. Fasern), aber auch eine schlechte Nachweisbarkeit oder ein unklarer Verbleib. Auf Basis der Besorgnis- bzw. Entlastungskriterien kann ein Nanomaterial dann in einer vorläufigen Abwägung entsprechenden (Risiko)Gruppen zugeordnet werden. Die NanoKommission hat 2008 drei Gruppen vorgeschlagen: hohe Besorgnis (Gruppe 1), mittlere Besorgnis (Gruppe 2) und geringe Besorgnis (Gruppe 3).

Diese vorläufige Risikoabschätzung ist allerdings nur ein erster Schritt, um für die Nanotechnologie als neuer Technologie unter dem Aspekt des Arbeits- und gesundheitlichen Verbraucherschutzes auch bei begrenzter Datenlage Risiken möglichst frühzeitig zu erkennen und Gesundheitsschädigungen vermeiden zu können. Man bedient sich ihrer, um bei aller Unsicherheit in der toxikologischen Charakterisierung von Nanomaterialien die Weiterentwicklung der Nanotechnologie nicht zu behindern. Aufgabe der Institutionen der Risikobewertung ist es aber, den Risikomanagern Abschätzungen und Bewertungen zu liefern, die auf verlässlichen Daten beruhen und mit möglichst kleinen Unsicherheitsfaktoren und kleinen Wissenslücken behaftet sind. Das gilt insbesondere für die Bereiche, in denen Verbraucherinnen und Verbraucher in größerem Umfang mit Nanomaterialien konfrontiert werden. Die Aufgabe des BfR ist daher:

- die Sammlung von Informationen zur Exposition und zu toxischen Effekten von Nanomaterialien;
- die Identifizierung von Forschungslücken;
- die Entwicklung von Messmethoden für die Freisetzung von Nanopartikeln;
- die Entwicklung einer risikobezogenen Test- und Bewertungsstrategie;
- eigene Forschungen zur Toxizität von Nanomaterialien in den oben genannten Feldern, wenn keine Daten vorliegen;
- Forschungen zur Wahrnehmung der Nanotechnologie durch Verbraucher und Verbraucherinnen zum Zweck der Verbesserung der Risikokommunikation.

5. Toxizität von Nanopartikeln: Was ist bekannt?

Es wird angenommen, dass viele Materialien in der Nanoform sich nicht nur in ihren physikalischen, mechanischen oder chemischen Eigenschaften von der makroskaligen Grundsubstanz erheblich unterscheiden. Auch in ihrer Wechselwirkung mit biologischen Systemen und damit auch in ihren toxischen Eigenschaften sind sie nicht unbedingt mit ihren größeren Varianten vergleichbar. Ein Beispiel: Untersuchungen an Mäusen zur Wirkung von Kupfer in der Mikro- bzw. Nanoform nach oraler Aufnahme belegen, dass bei gleicher Dosis Kupfer in der Nanoform (Kupferpartikel 23 nm Größe) Milz, Leber und Nieren schädigt, während die Mikroform (17 µm) noch keine Schäden verursacht (CHEN et al. 2006). Zugleich ist festzuhalten, dass die bisher rein technische Definition von Nanomaterialien (1–100 nm in mindestens einer Dimension) kein hinreichendes Kriterium für das toxische Verhalten der einzelnen Materialien und Produkte ist. Mag sich bei einem Material bei 50 nm eine Änderung der Toxizität einstellen, kann es beim anderen erst ab 25 nm Partikelgröße zu Veränderungen kommen. In der Praxis heißt das: Jedes Material bzw. Produkt muss einzeln in seiner spezifischen Form und Anwendung sowie in Hinsicht auf die möglichen Zielorgane toxikologisch betrachtet werden (BECKER et al. 2010).

Eine Reihe von spezifischen Untersuchungen zum toxischen Potenzial von Nanomaterialien scheint diese Annahme zu bestätigen. An erster Stelle stehen hier Untersuchungen zur Inhalationstoxikologie. Es stehen inzwischen aber auch erste Studien zur Wirkung von Nanopartikeln nach oraler Aufnahme bzw. zur Aufnahme über die Haut zur Verfügung (GULSON et al. 2010). Insgesamt ist die Zahl der toxikologischen Untersuchungen noch verhältnismäßig klein und beschränkt sich auf wenige, wenn auch relativ häufig genutzte Stoffe in der Nanoform. Ein weiteres Manko: Nur wenige Studien erfüllen die Ansprüche an Standardisierung und Qualität, um als Grundlage für eine regulatorische Bewertung genutzt werden zu können (JONAITIS et al. 2010).

6. Das Beispiel Titandioxid

Nanoskaliges Titandioxid gehört zu den am besten untersuchten Nanomaterialien mit hoher Marktrelevanz. Es wird im Verbraucherbereich z. B. in Sonnenschutzmitteln als UV-Filter eingesetzt. Viele Studien, die mit Titandioxid-Nanopartikeln durchgeführt wurden, zeigen, dass die Veränderung der Oberflächeneigenschaften der Nanopartikel auch deren biologische Eigenschaften verändern. Die Nanopartikel zeigten nicht nur wie im Fall des Kupfers ein anderes toxikodynamisches Verhalten im Organismus. Auch in ihrer Toxikokinetik sind Materialien in der Nanoform verändert. Aufgrund ihrer geringen Größe sind Nanopartikel in der Lage, biologische Barrieren zu überwinden, z. B. die Blut-Luft-, die Blut-Hirn-Schranke oder wie kürzlich gezeigt, möglicherweise sogar die Blut-Plazenta-Schranke. Sie können auch in Zellen eindringen oder werden von diesen aktiv aufgenommen. Es zeigte sich bei diesen Studien auch, dass die Art der Exposition, also dermale, orale oder inhalative Aufnahme, entscheidend ist für die Wirkung auf den Organismus.

Was ist nun über die Wirkung bei dermalen Exposition gegenüber Titandioxidpartikeln, wie sie in Sonnenschutzmitteln breit angewandt werden, bekannt? Studien haben gezeigt, dass Titandioxidnanopartikel nach dem Auftragen auf die Haut nicht in nennenswertem Ausmaß in lebende Hautschichten vordringen. Sie verbleiben vielmehr in der obersten Schicht, der Hornschicht, die dann abgeschilfert wird. Dies wurde sowohl an Tier- und *In-vitro*-Studien als auch an menschlicher Haut freiwilliger Probanden und mit diversen Formulierungen gezeigt. Getestet wurde allerdings fast ausschließlich gesunde, unbelastete Haut. Das Eindringen in (vor-) geschädigte Haut z. B. bei Psoriasis oder in Wunden ist wahrscheinlich, allerdings fehlen systematische Untersuchungen. Was solche Partikel in tieferen Hautschichten bewirken könnten, ist bisher nicht bekannt.

Wesentlich geringer ist die Kenntnis über das Verhalten von Titandioxidnanopartikeln bei oraler Aufnahme, denn es liegen bisher nur sehr wenige tierexperimentelle Daten vor. So hat eine Studie gezeigt, dass bei sehr hoher Dosierung über das Trinkwasser (indirekt) genotoxische Effekte bei einem bestimmten Mäusestamm auftreten können (TROUILLER et al. 2009). Eine Bestätigung oder Widerlegung dieser Befunde steht allerdings aus. Oral applizierte Nanopartikel können in lymphatischen Organen des Gastrointestinaltraktes nachgewiesen werden. Wie sie sich dort verhalten und was sie bewirken, ist allerdings bisher nicht weiter erforscht.

Titandioxid findet als Weißpigment breite Anwendung in verbrauchernahen Produkten (Zahnpasta, Tabletten, Toner usw.). Diese Pigmente enthalten auch einen gewissen prozentualen Anteil Partikel im Nanomaßstab. Außerdem werden in bestimmten Zahnpflegeprodukten Nanopartikel gezielt eingesetzt, so dass auch hier eine orale Exposition gegeben sein kann.

Von daher ist aus Sicht der Risikobewertung eine Bestandsaufnahme der Exposition von Verbrauchern gegenüber Titandioxidnanopartikeln über den oralen Pfad geboten.

Aus Verbraucherschutzperspektive und aus Sicht des Arbeitsschutzes kommt der inhalativen Aufnahme von Titandioxidnanopartikeln bisher die größte Bedeutung zu. Hier ist in erster Linie das Einatmen von nanopartikelhaltigen Pulvern und Sprays zu nennen. Nanopartikelhaltige Sprays und Pulver werden bereits heute in verschiedenen verbrauchernahen Produkten verarbeitet, vor allem im Bereich der Wasch- und Reinigungsmittel sowie der Wand- und Druckfarben.

Aus mehreren Tierstudien weiß man, dass Titandioxidnanopartikel tief in die Lunge gelangen und die Alveolen (Lungenbläschen) erreichen. Aufgrund persistierender Eigenschaften können sie im Alveolarbereich längere Zeit verbleiben und entzündliche Prozesse in der Lunge auslösen. Diese haben bei höherer und lang anhaltender Exposition bei Ratten zu Gewebsveränderungen und sogar zur Bildung von gutartigen und bösartigen Tumoren geführt. In welchem Umfang derartige Befunde auf die Expositionssituation des Menschen übertragen werden können, ist noch nicht klar. Entsprechende epidemiologische Untersuchungen, die hierzu vorliegen, lassen keine eindeutigen Aussagen zu. Weiterhin wurde gezeigt, dass einzelne Titandioxidnanopartikel nach Inhalation auch in umliegendes Gewebe und in Lymphknoten eindringen können. Diese Translokation kann sogar soweit gehen, dass Nanopartikel in die Blutbahn gelangen (also systemisch werden) und sich in anderen Organen anreichern können (WU et al. 2009). Allerdings liegen hierzu nur wenige Daten vor. Einige toxikokinetische Untersuchungen haben gezeigt, dass dies prinzipiell möglich ist, wenn auch der quantitative Anteil gering ist. Über die Konsequenzen systemischer Verfügbarkeit ist bisher nichts bekannt. Bemerkenswert sind Befunde, die gezeigt haben, dass sich Titandioxidnanopartikel nach Inhalation im Gehirn nachweisen lassen, indem sie vermutlich über den Riechnerv dorthin transportiert werden.

Insgesamt ist festzuhalten, dass viele dieser Studien explorativen Charakter haben und nicht unter Beachtung strenger wissenschaftlicher Prüfkriterien, wie sie für eine Risikobewertung notwendig sind, durchgeführt wurden. Eine abschließende Bewertung der Effekte von Titandioxidnanopartikeln im Körper und den gesundheitlichen Auswirkungen für den Menschen ist auf Basis der vorliegenden wissenschaftlichen Erkenntnisse derzeit nicht möglich.

7. Wahrnehmung der Nanotechnologie in Deutschland

Das Bundesinstitut für Risikobewertung beschäftigt sich seit einigen Jahren damit, wie die Nanotechnologie sowohl von Experten als auch von der Allgemeinbevölkerung wahrgenommen wird. Ziel dieser Forschungen ist es, die im gesetzlichen Auftrag des Instituts festgeschriebene Aufgabe zur Kommunikation über gesundheitliche Risiken auf diesem neuen Feld angepasst an die Bedürfnisse der verschiedenen Stakeholdergruppen zu gestalten. Im Vordergrund dieser Bemühungen steht der partizipative Dialog.

Das erste Projekt, welches sich mit der Wahrnehmung der Nanotechnologie in der Verbraucherschaft beschäftigte, war die Verbraucherkonferenz im Jahr 2006 (ZIMMER et al. 2008a). Mit diesem Projekt überschritt das BfR die strengen naturwissenschaftlichen Grenzen und betrat auch sozialwissenschaftliches Gebiet. Erstmals in Deutschland diskutierten 16 Verbraucherinnen und Verbraucher, die aus 6000 Bürgern nach dem Zufallsprinzip ausgewählt wurden, gemeinsam mit Vertretern von Politik, Behörden und Industrie an mehreren Wochenenden

eine innovative Technologie und formulierten ihre Erwartungen, aber auch die Befürchtungen und Ängste hinsichtlich der technischen Möglichkeiten und Gefahren. Dabei zeigte sich, dass Verbraucherinnen und Verbraucher durchaus nicht pauschal ablehnend und technologiekritisch eingestellt waren, sondern dass ihre Einstellung zur Nanotechnologie sehr differenziert und – abhängig vom jeweiligen Informationsstand – wohlbegründet ist. Während der Einsatz in Lebensmitteln kritisch gesehen wurde, zeigte sich eine positive Einstellung zum Einsatz im Bereich der Medizin, in Alltagsgegenständen wie Textilien, kosmetischen Mitteln oder der Umwelttechnik. Gefordert wurde aber in jedem Fall eine begleitende Forschung zu den möglichen gesundheitlichen Risiken der nanotechnischen Produkte, bevor diese in den Markt gelangen.

Diese im Mikrokosmos der Verbraucherkonferenz ermittelte Einstellung der Verbraucherinnen und Verbraucher spiegelte sich in ähnlicher Weise dann auch in der ersten, vom BfR durchgeführten repräsentativen Verbraucherbefragung (1000 repräsentativ ausgesuchte Verbraucherinnen und Verbraucher wurden im Jahr 2007 befragt) zur Nanotechnologie (ZIMMER et al. 2008b) wider. Zwei Drittel der Befragten (66 %) hatten ein pragmatisches Verhältnis zu der neuen Technologie: Sie sahen mehr Nutzen als Risiko in deren Anwendung. Auch bei der emotionalen Einstellung zur Nanotechnologie überwog der Anteil derjenigen deutlich, die ein sehr gutes oder gutes Gefühl haben. Einschränkend ist aber zu vermerken, dass lediglich die Hälfte aller Befragten den Begriff Nanotechnologie kannten und einordnen konnten.

Allerdings haben die Befragten ähnlich wie die Teilnehmer der Verbraucherkonferenz klare Vorstellungen, in welchen Bereichen sie sich von der Nanotechnologie etwas erhoffen und wo sie diese Technologie nicht wünschen. Die Hoffnungen beziehen sich vor allem wie schon auf dem Verbraucherpanel auf den medizinischen Bereich und auf die Umwelttechnologie. Wie aber sieht das Bild bei den verbrauchernahen Anwendungen in den Bereichen Lebensmittel, Alltagsprodukte wie Verpackungen, kosmetische Mittel, Textilien und anderen verbrauchernahen Produkte wie Pflege- und Reinigungsmittel aus?

Hier gibt die Befragung ein eindeutiges Bild: Die Akzeptanz wird geringer, je näher die Produkte an den Körper heranrücken bzw. als im Körper selber wirkend erlebt werden. So ist die Akzeptanz bei Produkten zur Oberflächenversiegelung oder zur Verbesserung der Eigenschaften von Textilien deutlich größer als bei kosmetischen Mitteln oder gar bei Lebensmitteln. Ängste werden hier vor allem durch Vorstellungen über „freie“ Nanoteilchen belebt, die im Körper unkontrolliert wirken können. Sind Nanoteilchen hingegen in „Gitter“ oder andere „bindende“ Strukturen außerhalb des Körpers eingebunden, lösen sie kaum Ängste aus.

Fassen wir zusammen: Im Jahr 2007, dem Jahr der Verbraucherbefragung zur Wahrnehmung der Nanotechnologie, sah die deutsche Bevölkerung Nanotechnologie insgesamt positiv. Erhebliche Vorbehalte bestanden allerdings gegenüber der Anwendung im Sektor Lebensmittel (mit Abstrichen auch im Bereich kosmetischer Mittel). Das hat natürlich viel mit dem Wunsch und der Vorstellung zu tun, Lebensmittel sollten so naturnah wie möglich belassen sein, dann wären sie auch gesund. Nanotechnologie und Nanoteilchen werden nicht als „natürlich“ wahrgenommen. Legt man das in weiten Teilen der Verbraucherschaft beim Thema Lebensmittel verbreitete Beurteilungsschema zugrunde, dass Natürliches „gut“ und Nicht-Natürliches „schlecht“ sei, werden verständlicherweise Nanotechnologie und Nanoteilchen in Lebensmitteln pauschal als Bedrohung erlebt. Insgesamt aber kann von einer pauschalen kritischen Einstellung der deutschen Bevölkerung zur Nanotechnologie nicht die Rede sein. Was die Bevölkerung jedoch ablehnt, ist der Einsatz von Produkten der Nanotechnologie ohne eine Abschätzung der gesundheitlichen Risiken, die von solchen Produkten ausgehen können. Der Bewertung der gesundheitlichen Risiken bei der Verwendung von Nanomaterialien wird sich das BfR in

seinem Aufgabenbereich künftig verstärkt widmen und gewonnene Erkenntnisse entsprechend seinem Auftrag auch einer breiten Öffentlichkeit zur Verfügung stellen.

Dank

Dieser Vortrag basiert auf den Arbeiten vieler Kolleginnen und Kollegen im BfR. Mein Dank gilt ihnen allen, weil sie durch Informationen, Gespräche und kritische Durchsicht diese Darstellung ermöglichten. Erwähnen möchte ich insbesondere PD Dr. Gaby-Fleur BÖL, Dr. Astrid EPP (Abteilung Risikokommunikation), Professor Dr. Alfonso LAMPEN (Abteilung Lebensmittelsicherheit), Dr. Carsten KNEUER und Dr. Frank HERZBERG (Abteilung Chemikaliensicherheit), PD Dr. Mario GÖTZ und Professor Dr. Bernd SCHÄFER (Abteilung Sicherheit verbrauchernaher Produkte). Der Autor sieht sich selbst nur als Sprachrohr, der das Wissen und die Erkenntnisse anderer so gut, wie es ihm möglich ist, nach außen trägt.

Literatur

- BECKER, H., HERZBERG, F., SCHULTE, A., and KOLOSSA-GEHRING, M.: The carcinogenic potential of nanomaterials, their release from products and options for regulating them. *Int. J. Hyg. Environ. Health* 214/3, 231–238 (2011), doi:10.1016/j.ijheh.2010.11.004 (2010)
- CHEN, Z., MENG, H., XING, G., CHEN, C., ZHAO, Y., JIA, G., WANG, T., YUAN, H., YE, C., ZHAO, F., CHAI, Z., ZHU, C., FANG, X., MA, B., and WAN, L.: Acute toxicological effects of copper nanoparticles in vivo. *Toxicol. Lett.* 163/2, 109–120 (2006)
- DEKKERS, S., KRYSZEK, P., PETERS, R. J., LANKVELD, D. P., BOKKERS, B. G., VAN HOEVEN-ARENZEN, P. H., BOUWMEESTER, H., and OOMEN, A. G.: Presence and risks of nanosilica in food products. *Nanotoxicology* 5/3, 393–405 (2011); Early Online, 1–13 (2010)
- GULSON, B., MCCALL, M., KORSCH, M., GOMEZ, L., CASEY, P., OYTAM, Y., TAYLOR, A., MCCULLOCH, M., TROTTER, J., KINSLEY, L., and GREENOAK, G.: Small amounts of zinc from zinc oxide particles in sunscreens applied outdoors are absorbed through human skin. *Toxicol. Sci.* 118/1, 140–149 (2010), doi: 10.1093/toxsci/kfq243. First published online. (2010)
- JONAITIS, T. S., CARD, J. W., and MAGNUSON, B.: Concerns regarding nano-sized titanium dioxide dermal penetration and toxicity study. *Toxicol. Lett.* 192/2, 268–269 (2010)
- TROUILLER, B., RELIENE, R., WESTBROOK, A., SOLAIMANI, P., and SCHIESTL, R. H.: Titanium dioxide nanoparticles induce DNA damage and genetic instability in vivo in mice. *Cancer Res.* 69/22, 8784–8789 (2009)
- WU, J., LIU, W., XUE, C., ZHOU, S., LAN, F., BI, L., XU, H., YANG, X., and ZENG, F. D.: Toxicity and penetration of TiO₂ nanoparticles in hairless mice and porcine skin after subchronic dermal exposure. *Toxicol. Lett.* 191/1, 1–8 (2009), doi:10.1016/j.toxlet.2009.05.020 (2009)
- ZIMMER, R., HERTEL, R., and BÖL, G.-F. (Hrsg.): BfR-Verbraucherkonferenz Nanotechnologie. BfR-Wissenschaft 3/2008. Berlin (2008)
- ZIMMER, R., HERTEL, R., and BÖL, G.-F. (Hrsg.): Wahrnehmung der Nanotechnologie in der Bevölkerung. BfR-Wissenschaft 5/2008. Berlin (2008)

Jürgen THIER-KUNDKE
Abteilung Risikokommunikation
des Bundesinstituts für Risikobewertung (BfR)
Fachgruppe 23
Presse- und Öffentlichkeitsarbeit
Max-Dohrn-Straße 8–10
10589 Berlin
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 30 184124300
Fax: +49 30 184124970
E-Mail: Juergen.Thier-Kundke@bfr.bund.de

Das Risikoprofil der Nanotechnologie aus Sicht der Munich RE

Gerhard SCHMID (München)

Zusammenfassung

Nanotechnologie ist eine Sammelbezeichnung für eine Querschnittstechnologie mit enormer künftiger wirtschaftlicher Bedeutung. Die Hauptexponierung der Nanotechnologie ist derzeit in der Herstellung und im Einsatz von freien Nanopartikeln und *multiwalled nanotubes* zu sehen. Unverändert ist die Situation im traditionellen Produkthaftpflichtrisiko und im Bereich Rückruf fehlerhafter Produkte. Über die intensiven Forschungsprogramme ist eine kontinuierliche Beobachtung der Schadeneintrittswahrscheinlichkeit und des Schadenausmaßes gegeben. Als Munich RE sind wir in den Risikodialog vor allem mit Forschungseinrichtungen, Produzenten, Interessenverbänden und NGO eingebunden. Nanoprodukte sind derzeit im Rahmen bestehender Verträge ohne Einschränkung mitversichert.

Abstract

Nanotechnology is a collective term for an interdisciplinary technology of immense economic importance in the future. The main exposure for nanotechnology can currently be considered to be in the manufacture and use of free nanoparticles and multiwalled nanotubes. The situation remains unchanged in the traditional product liability risk and in the field of product recalls. Due to intensive research programmes, the loss occurrence probability and the possible extent of loss are under continuous observation. Munich RE is involved in the risk dialogue primarily with research institutes, manufacturers, interest groups and NGOs. Nanoproductions are currently coinsured without limitation within the framework of existing contracts.

1. Einleitung

Nanotechnologie war lange Jahre im universitären Bereich im Rahmen der Forschung und Entwicklung auf die Kolloidchemie beschränkt. Bis 2001 war dort die Diskussion der Nanotechnologie nur auf die Chancen gerichtet.

Erst im Laufe der Zeit erfolgte etwa ab 2001 die öffentliche und die wissenschaftliche Diskussion des Risikos, vor allem inspiriert durch die Tätigkeiten der international agierenden Rückversicherer, die sich in Form einer Technologiefolgenabschätzung – auch unter soziologischen Gesichtspunkten – des Themas der Nanotechnologie unter der besonderen Berücksichtigung des Risikomanagements und der Schadenverhinderung – angenommen hatten.

Ab 2001 ist auch – global gesehen – eine stetig steigende Anzahl von Nanoprodukten dem Endverbraucher zugänglich gewesen. Hauptfokus ist hierbei im Bereich der Imprägnierung und der sonstigen Oberflächenbehandlung zu sehen.

2009 tritt unter Gesichtspunkten der Risikokommunikation in China ein bemerkenswerter Fall ein. Während der industriellen Beschichtung von Möbeloberflächen atmen mehrere dort

tätige Arbeitnehmer ohne persönliche Schutzausrüstung und ohne funktionierende Absaug-einrichtungen über einen Zeitraum von mehreren Monaten – retrospektive betrachtet – ein Gemisch von Nanopartikeln, Nanokompositen, Acrylaten und sonstigem nicht differenzier-tem Feinstaub ein. Zwei dieser Arbeiter starben.

Von Interesse war anfänglich, dass die eingetretenen Entzündungen der Lunge jeglicher medizinischer Behandlung resistent waren. Zunächst ging man von einer reinen Inhalation von Nanopartikeln aus. Zwischenzeitlich ist unter den Experten ein Fachstreit ausgebrochen, was dann eigentlich zum Tode der Arbeiter geführt hat. Aus Gründen der Risikokommunikation im Feld der Nanotechnologie erscheint es aber in erster Linie wichtig, dass „Nano“ mit dabei war. Dies kann die öffentliche Diskussion „Akzeptanz Nano“ entscheidend beeinflussen.

Ab 2009 sind weltweit steigende Regulierungsbestrebungen, vor allem in Europa und in Nordamerika, zu beobachten. Für die USA und die EU ergeben sich beispielsweise folgende Regulierungsaktivitäten:

Chemie:

- USA: The Toxic Substances Control Act (TSCA), The Federal Insecticide, Fungicide and Rodenticide Act.
- Europa: REACH, Pesticides.

Nahrung:

- USA: Whole foods, Food additives, Colour additives, Residues, Dietary supplements, Labelling.
- EU: Novel foods, Food enzymes, additives and flavourings, Food supplements, Labelling.

Kosmetik:

- USA: Labelling, Federal Food, Drug and Cosmetics Act.
- EU: The 1976 Cosmetics Directive and amendments, Cosmetic regulation.

Künftige Entwicklungen der Legislative werden die öffentliche Diskussion genauso beein-flussen wie etwa ein separat aufzulegendes Produktregister für Nano. Wenn die Regulierun-gen dazu dienen, mehr Sicherheit für die Konsumenten herbeizuführen, ist das schlussendlich zu begrüßen.

2. Das Risikoprofil der Nanotechnologie

Von Munich Re werden die Nanotechnologie betreffend generell fünf Hauptproduktgruppen unterschieden (siehe Abb. 1):

- Gruppe I: Freie Nanopartikel/Nanokomposite oder Nanotubes und aktive Nanoprodukte;
- Gruppe II: Nanoprodukte in Nahrungs- und Arzneimitteln;
- Gruppe III: Nanopartikel oder Nanotubes, die freigesetzt werden können, wenn das Pro- dukt benützt oder entsorgt wird;
- Gruppe IV: Nanoprodukte, die fest im Produkt eingebunden sind;
- Gruppe V: Konventionelle Nanoprodukte.

Es werden aktive (Gruppe I) und passive Nanoprodukte (Gruppe II – Gruppe V) unterschieden. Aktive Nanoprodukte sind derzeit kein Problem, da sie sich erst in der Erforschungspha-

se befinden; können aber sehr wohl ein Problem werden, wenn sie frei käuflich am Markt zu erwerben sind oder industrielle Anwendung erfahren. Aktiv bedeutet: Die Produkte können sich selbstständig in ihrer Umwelt frei bewegen.

Die Exponierung für den Menschen nimmt von Gruppe V bis zur Gruppe I kontinuierlich zu.

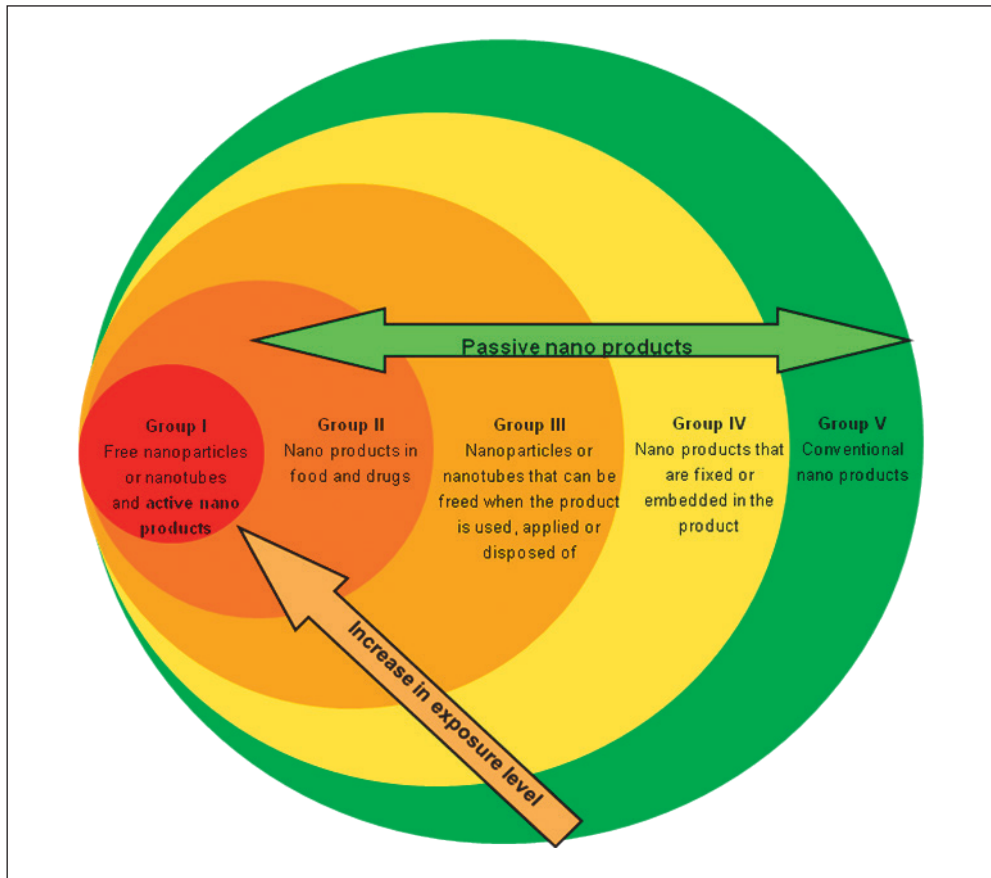


Abb. 1 Munich RE Klassifikation der Nanotechnologie

Nanopartikel können nochmals in vier Gruppen unterteilt werden:

- Gruppe 1: Nanokomposite (Verbundmaterialien, in denen mindestens eine Komponente in Form von Nanopartikeln, Nanoplättchen oder Nanoröhren vorliegt mit Polymermatrix);
- Gruppe 2: Einzelne Nanopartikel (Metalle, Halbleiter, Metalloxide, Kohlenstoff oder Polymere);
- Gruppe 3: Ubiquitär vorhandener, anthropogen erzeugter Feinstaub (Autoabgase, häusliche Emissionen, Zigarettenrauch);
- Gruppe 4: Natürlich entstandener Feinstaub (z. B. Rauch, vulkanische Emissionen usw.).

Bei Nanopartikel der Gruppe 1 und 2 wurde u. a. verändertes quantenmechanisches Verhalten und eine vergrößerte Oberfläche festgestellt. Gruppe 3 und 4 wird umgangssprachlich generell dem Feinstaub zugeschlagen.

3. Nanopartikeln in der industriellen Produktion

Haftungsrisiken von Gewerbe- und Industriefirmen, die nanotechnologische Produkte erstellen oder Nanotechnologie einsetzen, werden auf vielen Versicherungsmärkten oft über Betriebshaftpflicht-, Produkthaftpflicht- und Umwelthaftpflichtpolicen, *Workers' Compensation* oder weiteren industrietypischen Versicherungspolicen gedeckt.

Unfälle bei der Anwendung von Nanokompositen, wie beispielsweise in China, bei der Arbeiter wegen einer ausgefallenen Absauganlage über längere Zeit hinweg Nanopartikel eingeatmet haben und schließlich auch dadurch zwei Todesfälle zu beklagen waren, verdeutlichen das Gefahrenpotenzial für Anlagenbetreiber, die beschäftigten Arbeiter und die Umwelt. Ereignisse wie diese sensibilisieren Bevölkerung und Behörden immer stärker für die sich aus der Nanotechnologie heraus entwickelnden Gefährdungsszenarien. Tendenz steigend, da die Anwendung von Nanopartikeln industriell erst jetzt im großtechnischen Maßstab beginnt und die Nanotechnologie von der Öffentlichkeit derzeit noch als positive Technologie eingestuft wird. Zudem werden die Regulierungsbestrebungen im Felde der Nanotechnologie weltweit immer intensiver.

Deshalb empfiehlt es sich, das Risiko der Nanotechnologie im Bereich Forschung, Entwicklung, Herstellung, Verwendung, Verteilung und industrieller Produktion genau zu prüfen. Dabei bewähren sich die vier aus dem *Riskassessment Casualty* bekannten Analyseschritte, nämlich:

- Analyse des Stoffpotenzials;
- Analyse der technischen und organisatorischen Sicherheitsmaßnahmen;
- Analyse der Ausbreitungspfade und
- Analyse der Umgebung.

4. Hergestellte Mengen

Nanomaterialien können derzeit in vier Gruppen eingeteilt werden:

- Gruppe 1: Nanomaterialien mit langer industrieller Nutzung, wie beispielsweise Titan- oder Zinkoxid, Industrieruß (*Carbon Black*) mit einer Weltjahresproduktion von mehreren Millionen Tonnen pro Jahr;
- Gruppe 2: „neue“ Nanomaterialien wie z. B. Carbon-Nanotubes, deren Weltjahresproduktion in 2009 bei etwa 180 t lag;
- Gruppe 3: „neue“ Nanomaterialien, deren Weltjahresproduktion unter 10 t liegt; und
- Gruppe 4: „neue“ Nanomaterialien, deren Weltjahresproduktion unter 1 t liegt.

Die Gruppen 1 und 2 zeichnen sich durch enorme Zuwachsraten aus. So liegt der Zuwachs bei *Carbon Black* derzeit bei 4 % pro Jahr. Carbon-Nanotubes werden bis zum Jahr 2012 auf etwa 3000 t Weltjahresproduktion steigen.

Für die Assekuranz und die Hersteller wird das weitreichende Folgen haben. Je mehr Produkte produziert werden, desto mehr Nanomaterialien gelangen in den Handel und den Produktkreislauf, einschließlich der Entsorgung. Zwangsläufig wird sich daher auch die Anzahl der zu regulierenden Schäden erhöhen, da schon allein die Anzahl der Produkte zu einer erhöhten Exponierung von Personen, Sachen und Vermögenswerten führen wird. Bereits jetzt sollten die Hersteller mit einer Verstärkung ihrer Riskomanagement-Aktivitäten beginnen – beispielsweise die Einführung und die Pflege von Rückrufplänen –, um für diese exponierte Situation vorbereitet zu sein.

5. Risikomanagement

Neben der Qualitätssicherung kann Risikomanagement im Rahmen von *Enterprise-Risk-Management* ein zusätzlicher Baustein sein, Risiken frühzeitig, z. B. in der Produktion, zu erkennen und dieselben umgehend zu beseitigen.

Wichtiger, zentraler Bestandteil des Risikomanagements ist die Sensibilisierung und Akzeptanz, dass Risiken integraler Bestandteil der gesamten Produkterstellung sind.

Schadenverhinderung fängt schon zumindest als erkenntnistheoretisches Konstrukt im Labor und der Forschung an. Hier gilt es den *Good-Local*-Standard in der Laborpraxis einzuhalten.

Risikomanagement beginnt mit der Sensibilisierung, wird fortgesetzt in der Risikoerkennung, dem Reduzieren der einzelnen festgestellten Risiken, einschließlich der Kontrolle und Steuerung, um dann wieder mit der Sensibilisierung zu beginnen. Wichtig erscheint in diesem Zusammenhang, dass das praktizierte *Riskassessment* einem zusätzlichen Audit unterzogen wird, um die Effektivität der vorgetragenen Risikoanalyse zu gewährleisten.

Elemente der Risikoanalyse können sein: Organisation und Maßnahmenplanung, Methoden und Vorgaben des Betriebes, Dokumente und Dokumentationen, Qualitätskontrollen, Auditierung und Zertifizierungen, Rückverfolgbarkeit der Produkte und Labors und Prüfmittel (Aufzählung nur exemplarisch).

Wichtig für den Versicherer sind bei der Identifikation und Evaluation die Eintrittswahrscheinlichkeit und die Tragweite der betrachteten Nanoprodukte. Diese Fragestellung wird mit Hilfe einer Risikomatrix dargestellt. Je höher die Eintrittswahrscheinlichkeit und das Ausmaß eines Schaden nach Abschluss der Bewertung sind, desto höher sind all diejenigen Maßnahmen, die der Schadenabwehr und dem *Loss-Prevention*-Programm zukommen.

Wichtige Aspekte im Rahmen der Eintrittswahrscheinlichkeit für Versicherer sind: Unternehmen und Management, Produkt und Produktumfeld, Entwicklung, Forschung, Konstruktion und Design, Produktion, Betriebsumfeld, Qualitätswesen, Einkauf, Verkauf und Service, Risiko- und Schadenmanagement.

Für die Tragweite (Schadenhöhe) sind z. B. folgende Kenngrößen zur Schadenhöhe in der Rückrufkostenversicherung relevant:

- Konstruktionsfehler: Produktionszeitraum, Jahresarbeitstage, Anzahl der Schichten pro Tag, Stückzahl je Schicht, Lebensdauer, zeitliche Begrenzung des Versicherungsschutzes.
- Produktionsfehler: Typische Chargengröße, Anzahl gleicher Produkte, geschätzte Rückholquote.
- Quantifizierbare Stückkosten: Aus- und Einbaukosten, sonstige Kosten.

Die Anforderungen für die Hersteller von nanotechnologischen Produkten werden sich in den nächsten Jahren mit der steigenden Anzahl von im Handel erhältlichen Nanoprodukten erhöhen. Schon jetzt sollten die Unternehmen darauf mit *Risk-Management*-Maßnahmen reagieren, um ihr eigentliches Risiko besser steuern zu können.

6. Mögliche Gefährdungsszenarien/Auswirkungen

Insgesamt gibt es drei verschiedene Wege von Nanopartikeln in den menschlichen Körper:

- Überwindung Haut-Blut-Barriere;
- Überwindung Lunge-Blut-Barriere und
- Überwindung Blut-Gehirn-Barriere.

Dies kann einerseits zu Kurz-, aber auch zu Langzeitschäden führen. Die Assekuranz differenziert in Personen-, Sach- und Vermögensschäden.

7. Betroffene Lines of Business

Folgende Versicherungszweige sind betroffen:

- *Employer's Liability*, *Workers' Compensation*, Betriebshaftpflicht, Leben und Gesundheit, Arzt-, und Krankenhaushaftpflicht, Pharma;
- Produkthaftpflicht, Rückruf fehlerhafter Produkte, *Intellectual Properties*;
- Kraftfahrt Kasko, Gebäudeschaden- und Feuerversicherung;
- Umwelthaftpflicht, Umweltschadenversicherung (*USV*); Berufshaftpflicht, Marine/Transport.

Die Hauptexponierung liegt derzeit in den Gruppen 1 und 2. Steigende Schadenentwicklung ist für die Gruppen 3 und 4 mit steigenden Anwendungszahlen zu erwarten.

8. Ist eine eigenständige Police eine Lösung?

Die Risiken der Nanotechnik sind vielgestaltig und vereinigen beispielsweise Risikomerkmale aus den Gebieten der Arbeitssicherheit, der Umweltsicherheit, der Produkt- und Produktionssicherheit, der Berufshaftpflicht, einschließlich der Arzthaftpflicht.

Für Unternehmen, die sich mit Nanotechnik beschäftigen, könnten die individuellen Risikogegebenheiten der Nanotechnik individuell geregelt und mit Hilfe einer eigenständigen Police versichert werden.

Heutzutage sind alle im Zusammenhang mit nanotechnologischen Verfahren, Produkten und Produktionen auftretenden Risiken grundsätzlich in der Haftpflichtversicherung gedeckt, sofern nicht im Einzelfall Ausschlüsse vorgesehen sind bzw. vorgenommen wurden.

Die Nanotechnologie ist nach wie vor komplett mitversichert. Schon allein aus dem Gedanken der von der Assekuranz standardmäßig angebotenen automatischen Vorsorgeversicherung bei der Anwendung und Einführung von neuen Technologien.

9. Munich RE-Position

- Die Hauptexponierung der Nanotechnologie ist derzeit in der Herstellung und im Einsatz von freien Nanokompositen/Nanopartikeln und Nanotubes in den Bereichen *Workers' Compensation* und *Employers Liability* zu sehen.
- Unverändert ist die Situation im traditionellen Produkthaftpflichtrisiko und im Bereich Rückruf fehlerhafter Produkte. Hier ist – wegen der neuen Technologie – mit leicht erhöhter Gefährdungssituation zu rechnen, vor allem im Bereich Nanoelektronik und Nanoenergieträger.
- Die Nanotechnologie ist ein Feld mit enormer wirtschaftlicher Bedeutung. Daher sind Risikoanalysen kontinuierlich den neu erstellten Produkten anzupassen und nach dem Stand der Technik auszurichten.
- Bereits im Vorfeld der Produktion muss der Hersteller ein Frühwarnsystem entwickeln und versuchen, Schadenprävention zu betreiben.
- Risikomanagement im Rahmen der *Enterprise*-Schutzfunktion muss insbesondere bei der Herstellung von Nanoprodukten und entsprechend des Lebenszyklus der Nanoprodukte produktionsbegleitend vorgenommen werden.
- Qualitätssicherung ist als integraler Bestandteil der Forschung, der Entwicklung, der Produktion und der Anwendung beim Verbraucher zu sehen.
- Sichere, zertifizierte Nanoprodukte garantieren ein hohes Vertrauen in die hergestellten Nanoprodukte.
- Durch Risikodialog und Frühaufklärung kann ein entscheidender Beitrag zur Risikosensibilisierung der Öffentlichkeit und zum Risikomanagement geleistet werden.

Dr. Gerhard SCHMID
Munich Re
IRM
Königinstraße 107
80802 München
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 89 38919869
Fax: +49 89 389179869
E-Mail: gschmid@munichre.com

Umgang mit Nanotechnologien

Verantwortlicher Umgang mit Nanotechnologien – Ziele, Arbeitsweise und Ergebnisse der Arbeit der NanoKommission der Bundesregierung

Wolf-Michael CATENHUSEN (Berlin)

Zusammenfassung

Die Bedeutung der federführend vom Bundesumweltministerium berufenen NanoKommission bei der öffentlichen Debatte über die Nanotechnologie ist der Fokus des Beitrages. Neben der Befürwortung der Nanotechnologie als Innovationsfaktor für die Wirtschaftsentwicklung, die Ressourcen- und Umweltschonung wird auch der Standpunkt der NanoKommission zu einem verantwortungsvollen Umgang mit den Nanomaterialien thematisiert. Die Zielstellung ist: Grundsätze und Instrumente für einen verantwortungsvollen Umgang mit der Nanotechnologie zu entwickeln. Die NanoKommission formulierte eine Reihe von Vorschlägen (u. a. Selbstverpflichtung der Wirtschaft, Liste von Entlastungs- und Besorgniskriterien, Nutzen- und Risikoabschätzung, Leitbildentwicklung), die eine neue Qualität von Innovationskultur in der Gesellschaft etablieren helfen sollen.

Abstract

This article focuses on the importance of the Nano Commission which was set up by the Federal Environment Ministry to lead public debate on nanotechnology. In addition to endorsing nanotechnology as a factor of innovation in economic development, the Nano Commission is also focusing on responsibly using nanomaterials to protect resources and the environment. Its aim: to develop principles and instruments to responsibly manage nanotechnologies. The Nano Commission has drafted a series of recommendations (incl. industry self-commitment, a list of criteria for exoneration and for concern, benefit and risk assessment, development of an overall concept) which are to help establish a better culture of innovation.

Seit gut 10 Jahren werden die Nanotechnologien als Schlüsseltechnologie angesehen. Von ihnen werden starke Impulse für ein breites Spektrum von Anwendungsfeldern, Innovationen für unsere Wirtschaft: bei Produkten, Prozessen und Materialien erwartet, mit positiven Auswirkungen für Wirtschaftswachstum, für Ressourcen- und Umweltschonung. In den USA – 2000 – wie in Deutschland – 2002 – verständigte sich die Politik auf nationale NANO-Strategien. Sie haben das Ziel, Technologieförderung in eine umfassende, für das Prinzip der Vorsorge offene Innovationsstrategie einzugliedern, in der parallel zur Technologieförderung auch die wissenschaftliche Aufarbeitung ethischer, rechtlicher, ökologischer und anderer gesellschaftliche Folgen, mit einem Schwerpunkt auf Risiko- und Sicherheitsforschung, erfolgen soll. Aktuell konzentrieren sich die Entwicklung und ihre Bewertung auf technisch hergestellte Nanomaterialien – Nanopartikel gibt es ohnehin in der Umwelt. Nanospezifische Risiko- und Sicherheitsforschung setzte 2004/05 ein. Teil der NANO-Innovationsstrategien wurden auch Bemühungen um einen gesellschaftlichen Diskurs über Perspektiven – Chancen und Risiken – der Nanotechnologie unter Nutzung von in Technikkonflikten gewonnenen

Erfahrungen und erprobten Kommunikationsinstrumenten (z. B. Bürgerkonferenz, Konsensuskonferenz). Dahinter stand und steht das Bemühen, aus Technikkonflikten – von der Kernenergie, der Chemie bis zur Grünen Gentechnik – zu lernen.

Ende 2006 hat das Bundesumweltministerium federführend für die Bundesregierung die NanoKommission berufen, die einen Beitrag zum verantwortungsvollen Umgang mit Nanomaterialien in unserer Gesellschaft leisten soll. Die NanoKommission ist als Stakeholder-Dialog strukturiert. In ihr haben insgesamt 18 Vertreterinnen und Vertreter aus den Bereichen Wissenschaft, Unternehmen, Umwelt- und Verbraucherorganisationen, Gewerkschaften, Kirchen, Ministerien und Behörden von Bund und Ländern gemeinsam Beiträge zum offenen Diskurs zwischen den Stakeholdern, zum öffentlichen Diskurs über Chancen und Risiken des Umgangs mit Nanomaterialien geleistet. Wichtige Ziele des Dialogs: Es ging zum einen darum, Felder zu identifizieren, auf denen Nanotechnologie einen Beitrag zur nachhaltigen Innovation leisten kann. Es ging darum, die Fragen möglicher Gefahren für Mensch und Umwelt einer qualifizierten Untersuchung und Beantwortung zuzuführen. Es ging darum, Grundsätze und Instrumente für einen verantwortungsvollen Umgang mit Nanomaterialien zu entwickeln.

Nanotechnologien, das ist ein Technologiefeld besonderer Art, das durch eine Größenordnung bestimmt wird. Eine Verständigung über eine Definition von „Nano“ steht bis heute aus. Nanomaterialien treten als Partikel, Fasern auf, sie treten aber auch in Verbundsysteme eingebunden, etwa als Agglomerate, auf. Ohne Definition sind aber Regeln des gesellschaftlichen Umganges schwer zu definieren, schwer zu handhaben. Hier müssen wir bald zu Absprachen kommen. Nanomaterialien, das ist ein Feld, auf dem einerseits zwischen 2006 und 2010 der Marktzugang von Produkten mit Nanomaterialien von ca. 200–300 auf deutlich über 1000 angestiegen ist. Das ist ein Feld, wo seit 2009 auf EU-Ebene der Prozess der Regulierung von Nanopartikeln – REACH (*European Community Regulation on Chemicals and their Safe Use*) – und Nanoprodukten – Kosmetika, Nahrungsmittel u. a. begonnen hat, der auch schon zu ersten Entscheidungen – etwa der Kosmetikverordnung der EU – geführt hat. Das hat auch die Agenda der NanoKommission mit geprägt. Andererseits ist bei den Nanotechnologien in vielen Bereichen – etwa bei Carbon-Nanotubes – z. T. noch ein weiter Weg von der angewandten Forschung bis zur Markteinführung von Produkten zurückzulegen. Das ist ein Feld, wo wir vielfach noch über wenig – zu wenig? – Wissen über Eigenschaften bestimmter Nanomaterialien, über Auswirkungen ihres Einsatzes auf Gesundheit und Umwelt im Lebenszyklus verfügen. Deshalb empfiehlt die NanoKommission einen schnellen Abbau bestehender Wissenslücken zu möglichen Auswirkungen von Nanomaterialien und unter ihrer Verwendung hergestellten Produkten auf Gesundheit und Umwelt.

In der Praxis geht es um ca. 15 Nanomaterialien, mit einem besonderen Gewicht auf Metalle (Titan, Silber, Gold), aber auch Kohlenstoff. Hier hat die wissenschaftliche Bearbeitung der Eigenschaften von Nanopartikeln, etwa mögliche Wirkungen in Zellen, Organen, Organismen – Fragen der Toxizität, des möglichen Auslösens von Krebs – in den letzten Jahren Fahrt aufgenommen, es ist aber ein komplexes Feld. In der NanoKommission gab es den Konsens, dass Nanotechnologie keine Risikotechnologie ist – es gibt durchaus auch sichere Nanoprodukte –, dass es aber im Einzelfall sehr wohl Bedarf an Prüfung möglicher Gefahren für Mensch und Umwelt gibt, vor allem in verbrauchernahen Anwendungsfeldern. Wenn Nanopartikel Strukturen von Feinstäuben oder Fasern annehmen, gibt dies automatisch Anlass zur Besorgnis, zu Prüfungen. Die NanoKommission empfiehlt daher eine deutliche Erhöhung der Fördermittel auf diesem Gebiet, vor allem die Schließung von Forschungslücken im Bereich Lebenszyklusbetrachtungen sowie Schwerpunktsetzung auf verbrauchernahe Anwen-

dungsbereiche und die Auswirkungen von Nanomaterialien auf die Umwelt. Professor KRUG stellte zum Stand der Sicherheitsforschung vor kurzem fest: „Die Sicherheitsforschung in der Nanotechnologie vereinigt Biologie, Chemie und Physik mit Arbeitsplatzhygiene, Material- und Ingenieurwissenschaften zu einem echten interdisziplinären Forschungsgebiet, das aber z. T. noch lückenhaft Daten erzeugt und methodische Unzulänglichkeiten aufweist.“¹ KRUG mahnte deshalb Verbesserungen in der Qualität von Sicherheitsforschung und in der Verlässlichkeit ihrer Ergebnisse an. Darauf ist die Gesellschaft dringend angewiesen. Denn zumindest verbrauchernahe Nanomaterialien und Nanoprodukte müssen dort, wo eine Marktzulassung erfolgt, einer Risikobewertung unterzogen werden. Dazu müssen sie charakterisiert und getestet werden, was validierte Testmethoden erfordert. Nanotoxikologie hat spezifische Besonderheiten zu beachten. So können nanoskalige Partikel auf anderen Transportwegen als größere Partikel in Zellen gelangen, die ihnen offen stehen. Bei gleicher Menge aufgenommener Substanz ist der Organismus bei Nanoteilchen mit einer wesentlich höheren Anzahl an Molekülen in Kontakt als bei größeren Partikeln. Es geht bei einer Toxizitätsprüfung bei Nanomaterialien immer auch um die Fragen der verantwortbaren Dosierung. Nicht jede im Tierversuch bei Überdosierung angezeigte biologische Wirkung eines Nanomaterials führt automatisch zu Gesundheitsgefahren.

Wir brauchen auf dem Gebiet der Nanomaterialien eine neue Qualität von Innovationskultur, die so früh wie möglich den Prinzipien der Nachhaltigkeit und Vorsorge verpflichtet ist. Welche Schritte sollte die Gesellschaft dazu ergreifen? Hier hat die NanoKommission eine Reihe von gemeinsamen Vorschlägen erarbeitet, ohne in allen Fragen zu einem Konsens zu finden:

- Selbstverpflichtung der Wirtschaft auf in der NanoKommission im Konsens erarbeitete fünf Prinzipien für einen verantwortungsvollen Umgang mit Nanomaterialien. Dazu zählen: Transparenz hinsichtlich Nano-relevanter Informationen; Etablierung eines spezifischen Risikomanagements; Bereitschaft zum Dialog mit Interessengruppen. Nanomaterialienhersteller übernehmen Verantwortung in der Wertschöpfungskette.
- Liste von Entlastungs- und Besorgniskriterien als Anleitung zur vorläufigen Einschätzung von Nanomaterialien hinsichtlich ihrer Auswirkungen, ihrer möglichen Risiken auf Mensch und Umwelt (z. B. physikalisch-chemische Eigenschaften, Expositionswahrscheinlichkeit, Umweltverhalten). Aussagen zu Toxikologie/Ökotoxikologie müssen aber auf wissenschaftlicher Risikobewertung aufbauen. Dieses Tool soll nicht nur für die Wissenschaft, sondern auch für informierte Nutzer handhabbar sein. Dieses Konzept zeigt deutliche Verwandtschaft zum in der Schweiz erarbeiteten Konzept eines Vorsorgerasters.
- Entwicklung und Handhabung von Kriterien zur vorläufigen Nutzen- und Risikoabschätzung von Nanoprodukten, die noch in der Entwicklung sind. Dies soll den Anwender bei der Produktentwicklung als Frühwarnsystem dabei unterstützen, den Nutzen seines Produktes im Sinne der Nachhaltigkeit zu beschreiben, zusätzlich erfolgt eine Einstufung hinsichtlich verschiedener Risikoaspekte (Anteil von Nanopartikeln im Produkt, verbrauchernahe Anwendung, Emissionswahrscheinlichkeit; bis hin zum Risikoaspekt eines möglichen Imageschadens für Unternehmen).
- Empfehlung zur Entwicklung eines Leitbildes „Nachhaltige Nanotechnologie – Green Nano“ und Nutzung durch Forschung, Forschungsförderung und Unternehmensstrategien, um Innovationsstrategien stärker in den gesellschaftlichen Kontext einzubinden.

¹ KRUG 2011, S. 1294.

Stakeholder-Dialoge können durchaus Orte gemeinsamer Lernprozesse sein, vor allem dann, wenn eine vergleichsweise frühe Entwicklungsphase einer Technik betrachtet wird, Positionsbestimmungen noch in Arbeit sind und (noch) kein gesellschaftliches Konfliktfeld entstanden ist. Aber natürlich setzen Stakeholder unterschiedliche Prioritäten und haben unterschiedliche Interessen. Dies wird auf dem Feld Regulierungsfragen der Nanomaterialien deutlich, ein angesichts der Zunahme des Markteintritts von Nanoprodukten seit 2008 immer wichtiger werdendes Handlungsfeld, wo die EU ja schon tätig geworden ist. Hier hat die EU in der Kosmetik-Richtlinie und in der *Novel-Food*-Richtlinie – sie ist vorläufig wegen des Streits um Klonfleisch gescheitert – bei verbrauchernahen Produktfeldern nanospezifische Regelungen für Zulassung und Kennzeichnung von Nanoprodukten erarbeitet. Ein Weg, den die Nano-Kommission grundsätzlich als „eine gute Basis für die Regulierung von Nanoprodukten“ ansieht. Allerdings konnte kein Konsens zur Position von einigen Kommissionsmitgliedern, insbesondere aus dem Bereich Verbraucher- und Umweltschutz, erzielt werden, dass „alle verbrauchernahen und umweltoffenen Anwendungen von Nanomaterialien verpflichtend gekennzeichnet werden müssen“. Strittig blieb in der NanoKommission auch das Konzept eines rechtsverbindlichen Produktregisters, seiner Funktion und seiner möglichen Zielsetzungen. Vertreter der Industrie wiesen auf schon vorhandene Produktlisten und -register aufgrund des Chemikalienrechts REACH und des EU-Rechts beispielsweise für Kosmetika und Lebensmittel hin. Der Bedarf eines verbindlichen Produktregisters wird zum einen mit der Schaffung von Markttransparenz für alle Marktbeteiligten, insbesondere die Verbraucher, begründet. Zum anderen könnten staatliche Behörden auf diesem Weg, gestützt auf Informationen über nanoskalige Inhaltsstoffe eines Produktes, im Bedarfsfall ein effektiveres Risikomanagement, z. B. Rückrufaktionen, betreiben.

Angesichts des frühen Entwicklungsstandes der Nanotechnologie, des bislang begrenzten Umfangs der praktischen Nutzung von Nanomaterialien in Produkten ist der Weg der möglichst zeitig einsetzenden Begleitung des Innovationsprozesses auf diesem Gebiet mit diesen Zielsetzungen ohne generelle Alternative:

- Arbeit an Beiträgen durch Nano für nachhaltige Entwicklungen etwa auf dem Feld Energie, Wasser, Ressourcenschonung;
- möglichst rasche Gewinnung von Daten über mögliche Auswirkungen von Nanoprodukten auf Gesundheit und Umwelt;
- Transparenz für die Gesellschaft über Nanoprodukte und ihre Eigenschaften;
- wo erforderlich Risikobewertungen und Marktzulassung von Nanoprodukten. (Umkehrung der Beweislast).

Offen bzw. strittig bleibt die Frage, wo und unter welchen Umständen in Wahrnehmung des Prinzips der Risikovorsorge bei verbrauchernahen Produkten, die keinem Zulassungsverfahren unterliegen, der Marktzugang von Produktgruppen durch staatliche Eingriffe gestoppt werden kann oder werden soll. Aktueller Fall: Nanosilber in Textilien; bei Biozid-haltiger Wirkung ist Produktzulassung gegeben. Wie gehen wir mit Nanosilber in Socken oder Freizeitbekleidung um. Kann es hier angesichts sehr kleiner Mengen zu Problemen für Kläranlagen bzw. in Gewässern kommen? Der Einsatz von Nanosilber im Krankenhaus zur Verbesserung der Hygiene ist ja im Einzelfall gut begründbar. Das Bemühen um schnelles Schließen von Wissenslücken ist auf allen Seiten spürbar. Deshalb wurde das Forschungsprojekt UM-SICHT gestartet, in dem bis 2013 eine Abschätzung der Umweltgefährdung durch Nanosilber-Materialien erarbeitet werden soll – vom chemischen Partikel bis zum technischen

Produkt. Die Blindheit, mit der unsere Gesellschaft in Innovationen wie die synthetische Chemie, die Nutzung fossiler Brennstoffe, die Nutzung der Kernenergie hineingegangen ist, können wir uns nicht mehr leisten, wird nicht mehr hingenommen, ist aber auch vermeidbar. Die Wissenschaft kann uns hier wirksam helfen, wenn wir ihr Zeit dazu geben. Die Einsicht darin wächst auf allen Seiten.

Literatur

KRUG, H. F.: Nanotoxikologie – eine interdisziplinäre Herausforderung. *Angew. Chem.* 123, 2–23 (2011)

Wolf-Michael CATENHUSEN
2006–2011 Vorsitzender der NanoKommission
Mitglied des Deutschen Ethikrates
Staatssekretär a. D.
Seelower Straße 9
10439 Berlin
Bundesrepublik Deutschland
E-Mail: wo-catenhusen@t-online.de

Auf eigene Gefahr – Nano in Verbraucherprodukten

Sarah HÄUSER (Berlin)

Zusammenfassung

Immer mehr Alltagsprodukte enthalten Nanomaterialien. In umweltoffenen und verbrauchernahen Anwendungen können sie in die Umwelt gelangen und vom Körper aufgenommen werden. Dabei bestehen noch große Wissenslücken, welche Auswirkungen die winzigen Teilchen auf die menschliche Gesundheit haben. Bisher sind keine nanospezifischen Gesetze in Kraft. Die Regulierung hinkt der Vermarktung hinterher.

Abstract

Nanomaterials are used in a growing number of everyday products. When not firmly bound into the product, they can be released into the environment and the human body. Not much is known yet about which effects nanomaterials have on human health. To date there are no nano specific regulations in force. While commercialization is proceeding, legislation is lagging behind.

Socken, die nie stinken, Lebensmittel, deren Vitamingehalt den Körper überfordert, Hemden, von denen selbst Rotwein einfach aberlert, Obst, das auch nach Wochen in der Frischhaltebox wie gerade gepflückt aussieht, Teddybären, die Bakterien töten, und unzerbrechliche Tennisschläger – das alles bringt uns die schöne neue Nanowelt. Nanomaterialien werden in immer mehr Alltagsprodukten eingesetzt, obwohl die Risiken für Mensch und Umwelt noch größtenteils ungeklärt sind. Welche Produkte bereits die winzigen Teilchen enthalten, ist für Verbraucher unklar, denn es gibt keine Kennzeichnungs- und Registrierungspflicht.

Nanomaterialien verhalten sich anders als größere Teilchen der gleichen Substanz. Das macht sie für die Entwicklung neuer Produkte so interessant. Aber genau diese neuen Eigenschaften können auch zu neuen Risiken führen. Dabei ist die Wahrscheinlichkeit eines Risikos für Mensch und Umwelt am größten, wenn ein direkter Kontakt mit Nanopartikeln stattfindet, wie bei Lebensmitteln, Kosmetika und Reinigungsmitteln oder in der Landwirtschaft. Bei Produkten mit fest gebundenen Nanomaterialien (wie z. B. Autolacke, Elektrogeräte oder Fahrradrahmen) ist ein Risiko während der Benutzung geringer.

1. Einsatzbereiche

In der Lebensmittelindustrie und in der Landwirtschaft versprechen die besonderen Eigenschaften von Nanomaterialien viele neue Möglichkeiten. Sie können als stärkere Farbstoffe,

Geschmacks- und Konservierungsstoffe oder als Nahrungsergänzungsmittel, antibakterielle Zusätze von Lebensmittelverpackungen und als Pestizide und Dünger eingesetzt werden. In ihrem 2008 veröffentlichten Bericht „Aus dem Labor auf den Teller – Die Anwendung der Nanotechnologie im Lebensmittelsektor“ konnten der BUND und seine Partnerorganisationen von *Friends of the Earth* 94 Nanoprodukte identifizieren, die in Deutschland bereits gekauft werden können. Da nicht alle Hersteller die Verwendung von Nanomaterialien offenlegen, stellt diese Zahl vermutlich nur die Spitze des Eisberges dar.

Im Kosmetikbereich werden aufgrund ihrer Eigenschaften als UV-Filter vor allem Nanotitandioxid- und Nanozinkoxid eingesetzt. Die winzigen Teilchen fungieren als physikalischer Sonnenschutz. Auch größere Teilchen von Titandioxid und Zinkoxid haben diese Wirkung, allerdings lassen sich mit Nanopartikeln transparente Sonnenschutzcremes mit besonders hohen Lichtschutzfaktoren herstellen. Des Weiteren bietet die Kosmetikindustrie Make-up mit Nanofarbpigmenten an. Wirkstoffe sollen durch eine Nano-Verkapselung unbeschadet zum Zielort transportiert werden. Im Handel sind auch Körper- und Gesichtscremes zu finden, die einer Faltenbildung entgegenwirken sollen. Einige dieser Produkte enthalten die als sehr kritisch bewerteten Fullerene (fußballförmige Partikel aus Kohlenstoff). Außerdem wird Nanosilber in immer mehr Kosmetikprodukten verwendet. Es dient etwa in Zahnpasta, Seifen, Deodorants oder Gesichtscremes als antibakterieller Zusatz.

Gegenwärtig machen verbrauchernahe Alltagsgegenstände einen großen Teil der vermarkteten Anwendungen aus – auch wenn die Industrie gerne auf die Potenziale der Nanotechnologie im Bereich der Umwelttechnologien hinweist. Bedenklich sind diese Produkte vor allem dann, wenn Nanomaterialien nicht fest darin gebunden sind und somit in die Umwelt und den menschlichen Körper gelangen können.

2. Nano im Körper

Nanopartikel können aufgrund ihrer extrem geringen Größe sehr viel besser in den Körper und in Organe eindringen als größere Partikel. Eine Aufnahme in den Körper ist oral (z. B. Nanolebensmittel), über die Atmung (z. B. Reinigungssprays) und die Haut (z. B. Nanokosmetik) möglich. Allerdings bestehen sowohl über die Aufnahmewege in den Körper als auch das Verhalten im Körper noch große Wissenslücken. Als der kritischste Aufnahmepfad gilt die Atmung, da die Nanopartikel über die Lunge leicht in den Blutkreislauf gelangen bzw. in der Lunge selbst zu entzündlichen Reaktionen führen können. Sind sie einmal im Blutkreislauf angekommen, vermögen Nanopartikel sogar wichtige Schutzbarrieren wie die Blut-Hirn- und die Plazenta-Schranke zu überwinden.

Noch nicht abschließend geklärt ist die Aufnahme von Nanomaterialien über die Haut: Obwohl die meisten Studien zeigen, dass Nanopartikel nicht durch gesunde Haut in den Körper eindringen können, bleibt unklar, wie es sich bei kranker oder verletzter Haut (z. B. Akne oder Sonnenbrand) verhält.

Unsicher ist auch, was mit Nanopartikeln im Magen-Darm-Trakt geschieht. Wie giftig Nanomaterialien wirken, ist ebenso wenig gut erforscht. Es gibt jedoch Hinweise, dass bestimmte Nanomaterialien zu Schädigungen führen können. Bei Nanosilber besteht die Gefahr, dass sich durch den übermäßigen Gebrauch in Alltagsprodukten resistente Keime ausbilden. Dadurch würde der sinnvolle Einsatz als Breitbandantibiotikum im medizinischen Bereich gefährdet. Die *UK Royal Commission on Environment Pollution* kam 2008 zu dem Schluss,

dass die Risikobewertung von Nanomaterialien momentan extrem schwierig sei, weil über viele Aspekte ihres Verbleibs und ihrer Giftigkeit noch komplette Ignoranz bestünde: „Currently it is extremely difficult to evaluate how safe or how dangerous some nanomaterials are because of our complete ignorance about so many aspects of their fate and toxicology.“¹

Über die Frage, wie Nanomaterialien in die Umwelt gelangen und wie sie sich dort verhalten, ist sogar noch weniger Wissen vorhanden.

3. Der Verbraucher als Versuchskaninchen?

Trotz dieser Wissenslücken gelangen immer mehr Nanoprodukte auf den Markt. Das amerikanische Woodrow-Wilson-Institut führt im Rahmen seines „Project on Emerging Nanotechnologies“ eine Datenbank, die aktuell bereits über 1000 Nanoprodukte enthält. Für den deutschen Markt hat der BUND eine Datenbank erstellt, die rund 600 Produkte führt (<http://www.bund.net/nanodatenbank>).² Diese Listen können allerdings nur einen Anhaltspunkt bieten, denn mangels Kennzeichnungspflicht können nur die Produkte einbezogen werden, bei denen die Hersteller von sich aus angeben, dass darin Nanomaterialien enthalten sind. Viele Unternehmen und Regierungen sehen in der Nanotechnologie den Schlüssel für zukünftige wirtschaftliche Erfolge und investieren enorme Summen in deren Förderung. Da stellt sich die Frage, ob der Verbraucher das Versuchskaninchen ist.

Auch die Europäische Kommission empfahl 2008, dass – so lange keine Studien zur Risikobewertung der Langzeitfolgen vorliegen – der Einsatz von Nanomaterialien vor allem in Lebensmitteln, Spielzeug, Kosmetika und anderen verbrauchernahen und umweltoffenen Produkten vermieden werden sollte: „As long as risk assessment studies on long-term safety is [sic] not available, research involving deliberate intrusion of nano objects into the human body, their inclusion in food (especially in food for babies), feed, toys, cosmetics and other products that may lead to exposure to humans and the environment, should be avoided.“³

Das deutsche Umweltbundesamt („Das UBA empfiehlt: Die Verwendung von Produkten, die Nanomaterialien enthalten und frei setzen können, sollte – so lange ihre Wirkung auf Mensch und Umwelt weitgehend unbekannt ist – möglichst vermieden werden.“⁴) und das Bundesinstitut für Risikobewertung („Das BfR empfiehlt Herstellern, auf die Verwendung von nanoskaligem Silber oder nanoskaligen Silberverbindungen in Lebensmitteln und Produkten des täglichen Bedarfs zu verzichten, bis die Datenlage eine abschließende gesundheitliche Risikobewertung zulässt und die gesundheitliche Unbedenklichkeit von Produkten sichergestellt werden kann.“⁵) äußerten sich 2009 entsprechend.

4. Regulierung hinkt Vermarktung hinterher

Diese Warnungen verhallen jedoch ungehört – bisher hinkt die Regulierung der Vermarktung hinterher. Aktuell sind weltweit noch keinerlei nanospezifische Regulierungen in Kraft. Vor

1 *UK Royal Commission on Environment Pollution* 2008, S. 30.

2 Seit der Veranstaltung „Nano im Körper“ sind 400 weitere Produkte hinzugekommen.

3 *European Commission Recommendation* 2008, S. 52.

4 *UBA* 2009

5 *BfR* 2009, S. 1.

dem Gesetz werden Nanomaterialien genauso wie größere Teilchen des gleichen Stoffes behandelt, obwohl bekannt ist, dass sie neue Eigenschaften besitzen und dadurch auch neue Risiken bergen. Wurde der Stoff in größerer Form bereits getestet, so gilt auch die Nanoform als geprüft. Da es keine Kennzeichnungspflicht gibt, können Verbraucher außerdem nicht erkennen, ob ein Produkt Nanomaterialien enthält und haben somit keine Wahlfreiheit. Lediglich für den Kosmetikbereich ist bisher eine Regulierung vorgesehen⁶: Ab 2013 wird die europäische Kosmetikverordnung eine Kennzeichnungspflicht und Sicherheitstests für bestimmte Nanomaterialien einführen. Bis dahin dürfen die Produkte allerdings noch unkontrolliert vermarktet werden. Im Lebensmittelbereich ist die Regulierung von Nanoprodukten vorerst gescheitert. Bei den Verhandlungen zur neuen *Novel-Food*-Verordnung, in der erstmals auch explizit die Anwendung der Nanotechnologie in der Lebensmittelproduktion erfasst werden sollte, wurde im März 2011 keine Einigung erzielt.

Mit dem Scheitern der Verhandlungen behält nun vorerst die alte *Novel-Food*-Verordnung aus dem Jahre 1997 ihre Gültigkeit. Diese macht keinerlei Vorgaben zur Anwendung der Nanotechnologie. Erst ein neues Gesetzgebungsverfahren, das erneut mehrere Jahre in Anspruch nehmen dürfte, kann nun noch eine Neuordnung der *Novel-Food*-Verordnung bringen.

5. Keine Vermarktung bei ungeklärten Risiken

So lange keine gesetzlichen Regelungen bestehen, fordert der BUND ein Verbot für den Einsatz synthetischer Nanomaterialien in umweltoffenen und verbrauchernahen Anwendungen, bei denen Menschen den Nanomaterialien direkt ausgesetzt werden. Zu diesen zählen Lebensmittel und deren Zusatzstoffe, Lebensmittelverpackungen sowie Nahrungsergänzungsmittel, Küchenutensilien, einschließlich Kühlschränke, Kinderprodukte wie Teddybären sowie Pestizide und Dünger, Kosmetika, Textilien, Farben und Lacke für die private Anwendung, Waschmaschinen sowie Reinigungs- und Imprägniersprays. Das Verbot muss solange bestehen, bis

- Daten zur Risikobewertung vorliegen, die die Sicherheit der verwendeten Nanomaterialien vor gesundheits- und umweltschädlichen Wirkungen belegen und eine ausreichende Vorsorge ermöglichen;
- wirksame nanospezifische Regelungen in Kraft sind, die mögliche Risiken für Verbraucher, Arbeitnehmer und Umwelt bei der Herstellung, Anwendung und Entsorgung hinreichend sicher ausschließen;
- sowie Wahlfreiheit für Verbraucher zwischen Produkten mit und ohne Nanomaterialien gewährleistet ist.

Die bestehenden Gesetze müssen so überarbeitet werden, dass sie die besonderen Eigenschaften von Nanomaterialien berücksichtigen. Dies betrifft vor allem das europäische Chemikaliengesetz REACH.⁷ Dabei müssen Materialien, die bereits in größerer Form zugelassen sind, in Nanoform als neue Stoffe eingestuft werden und eine gesonderte Risikobewertung durchlaufen.

6 Seit der Veranstaltung „Nano im Körper“ wurde eine weitere Kennzeichnungspflicht beschlossen: Die EU-Lebensmittel-Informationsverordnung schreibt ab Dezember 2014 vor, dass Lebensmittel, die Nanomaterialien enthalten, gekennzeichnet werden müssen.

7 REACH ist die Abkürzung für **R**egistrierung, **E**valuierung (Bewertung) und **A**utorisierung (Zulassung) von **C**hemikalien.

6. Verbraucher müssen wählen können

Die Verbraucher haben ein Recht zu wissen, was in den Produkten steckt, die sie kaufen. Vor allem bei Lebensmitteln, Kosmetika, Textilien und Reinigungsmitteln muss es eine Kennzeichnungspflicht geben, denn über den Magen-Darm-Trakt, die Lunge und unter Umständen auch die Haut können Nanomaterialien in den Körper gelangen. Auf den Verpackungen muss klar erkennbar sein, ob ein Produkt Nanomaterialien enthält. Dies allein reicht jedoch nicht aus: Viele Verbraucher können mit dem Begriff „Nanotechnologie“ noch nicht viel anfangen. Daher müssen die Hersteller zusätzliche Informationen zu den eingesetzten Materialien bereitstellen. Diese müssen mindestens umfassen: Art des Nanomaterials und seine Größe sowie Möglichkeiten, sich über die Eigenschaften und Risiken der Stoffe zu informieren. Damit sich die Verbraucher einen Überblick über die Nanoprodukte auf dem Markt verschaffen können, bedarf es eines öffentlichen Registers, in dem alle Nanoprodukte aufgelistet werden.

7. Mehr Geld für die Risikoforschung

Die Ressourcenverteilung bei der Erforschung der Nanotechnologie weist auf ein mangelndes Risikobewusstsein hin: Nahezu alle Forschungsgelder fließen in die Entwicklung neuer Produkte. Die Analyse der Risiken hinkt hingegen weit hinterher, Deutschland investiert weniger als 4 % der öffentlichen Forschungsmittel im Bereich Nanotechnologie in die Risikoforschung. Die eingesetzten Forschungsgelder müssen verstärkt in die Risikoforschung fließen. Mindestens 10 bis 15 % der öffentlichen Mittel im Bereich der Nanoforschung sind dafür notwendig. Der gesamte Lebenszyklus von der Herstellung bis zur Entsorgung muss bei der Bewertung der Nanomaterialien Berücksichtigung finden.

Literatur

UK Royal Commission on Environment Pollution: Novel Materials in the Environment: The Case of Nanotechnology. (2008)

European Commission Recommendation: COMMISSION RECOMMENDATION of 7 February 2008 on a code of conduct for responsible nanosciences and nanotechnologies research. Official Journal of the European Union 30. 4. 2008

UBA 2009: Presse-Information 075/2009 Nanotechnik für Mensch und Umwelt – Chancen fördern und Risiken mindern. Online unter: http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-presse/2009/pd09-075_nanotechnik_fuer_mensch_und_umwelt_chancen_foerdern_und_risiken_mindern.htm

BfR: BfR rät von Nanosilber in Lebensmitteln und Produkten des täglichen Bedarfs ab. Stellungnahme Nr. 024/2010 des BfR vom 28. Dezember 2009

Sarah HÄUSER
Chemikalienpolitik und Nanotechnologie
Chemicals Policy and Nanotechnology
Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND)
Friends of the Earth Germany
Am Köllnischen Park 1
10179 Berlin
Tel.: +49 30 27586463
Fax: +49 30 27586440
E-Mail: sarah.haeuser@bund.net

Nano in Verbraucherprodukten. Verbraucherpolitische Forderungen und Erwartungen

Monika BÜNING (Berlin)

Zusammenfassung

Auf dem Markt gibt es immer mehr Produkte die Nanomaterialien enthalten, der Verbraucher kann dies allerdings nicht erkennen. Zurzeit gibt es auf EU-Ebene nur Regelungen für Kosmetika und Lebensmittel, die im Jahr 2013 in Kraft treten werden. Produktgruppen wie Textilien und Bedarfsgegenstände werden auch in Zukunft nicht gekennzeichnet sein. Aus diesem Grund fordern Verbraucherverbände eine generelle Kennzeichnungspflicht für verbrauchernahe Produkte, damit der Verbraucher einem seiner grundlegenden Rechte nachkommen kann, der Wahlfreiheit. Ein weiterer Schritt muss zudem eine Produktdatenbank sein, mindestens auf nationaler Ebene, besser noch auf EU-Ebene. In einer solchen Produktdatenbank müssen aus unserer Sicht verbrauchernahe Produkte mit Nanomaterialien, die auf dem deutschen bzw. EU-Markt zu kaufen sind, aufgelistet werden. Zudem muss dem Verbraucher die Möglichkeit gegeben werden, sich weiter über die Nanomaterialien und deren Wirkung in dem betreffenden Produkt zu informieren.

Abstract

Numerous products on the market contain nanomaterial which, however, in many cases is not transparent to consumers. Currently there are only EU regulations for cosmetics and food products in place, which will come into force in 2013. Other product groups, i.e. textiles or articles of daily use will not be labeled within the near future. Therefore, consumer organizations ask for a general labeling obligation for all articles of daily use, in order to insure the fundamental right of freedom of choice for consumers. Moreover, further steps have to be taken to create a product database, at least on national level, favorable on EU-level. Such a database must provide a list of articles of daily use, which are available on the German or EU-Market respectively. This product database must also provide information about the effects of nanomaterial in different products on the market.

Verbraucherinnen und Verbraucher werden heute im Supermarkt und Kaufhaus schon mit sogenannten Nanoprodukten konfrontiert. Putzmittel werden mit Nanoeffekt beworben, Silber in Socken soll vor Schweißgeruch schützen, Nanopartikel in Fensterputzmittel machen glauben, dass die Fenster nicht mehr so oft geputzt werden müssen. In Zahnpasta sollen Nanopartikel kleinste Löcher in Zähnen füllen – gleich beim Putzen, da erübrigt sich der Gang zum Zahnarzt; und auch Zahnbürsten gibt es dank Silber in der antibakteriellen Variante – da stellt sich die Frage, ob ich die Zahnbürste dann nicht mehr so oft wechseln muss? Nicht zuletzt findet sich auch Spielzeug, wie beispielsweise ein Teddybär mit antibakterieller Ausstattung, – dank Nano.

Aber wo ist nun wirklich Nano drin und wo nicht? Das ist die Frage! Denn zu erkennen sind Nanoprodukte nicht. Warum ist das so? Nun, Unternehmen können mit dem Begriff

Nano werben, auch wenn gar keine Nanopartikel in dem Produkt enthalten sind – andersherum gibt es aber auch (noch) keine Kennzeichnungspflicht für Produkte, die tatsächlich Nanopartikel enthalten.

Aus dieser Unsicherheit heraus fordern die Verbraucherzentralen und der Verbraucherzentrale Bundesverband, dass verbrauchernahe Produkte, zu denen wir beispielsweise Textilien, Kosmetika, Lebensmittel- und Lebensmittelverpackungen, aber auch Spielzeug zählen, gekennzeichnet werden. Die EU-Kosmetikverordnung sieht zukünftig eine Kennzeichnung vor, was wir sehr begrüßen. Der Begriff „nano“ wird in Klammern hinter dem Inhaltsstoff in Nanogröße in der Zutatenliste aufgelistet sein.¹ Um die Kennzeichnung für den Verbraucher mit Inhalt zu füllen, fordern wir zudem, dass ein öffentliches Produktregister geschaffen wird, in dem weitere Informationen zu den genutzten Nanopartikel auf verständliche Art und Weise erläutert werden. Kritiker einer Kennzeichnung von Nano in Verbraucherprodukten fragen, was diese dem Verbraucher bringen soll. Die Antwort aus Sicht des Verbraucherzentrale Bundesverbandes ist, dass eine Kennzeichnung eine Grundvoraussetzung für die Wahlfreiheit der Verbraucherinnen und Verbraucher ist. Natürlich ist es wichtig, dass weitergehende Informationen bereitgestellt werden. Dies ist aber im Zeitalter des Internets relativ einfach zu realisieren. Das Bundesumweltministerium hat in einer Studie prüfen lassen, ob ein Produktregister rechtlich machbar ist, der Auftragnehmer, das Öko-Institut, hat diese Frage mit einem klaren „Ja“ beantwortet (*Ökoinstitut* 2010). Ein EU-Produktregister wäre die beste Lösung, und die belgische EU-Ratspräsidentschaft hat sich ganz klar für ein EU-Produktregister ausgesprochen.

Neben der Kennzeichnung muss aber auch ganz deutlich vom Gesetzgeber klargestellt werden, dass auch nur dort Nano beworben und gekennzeichnet werden darf, wo auch Nano drin ist.

Weitere Forderungen und Erwartungen aus verbraucherpolitischer Sicht sind zum einen der Ausbau der Risiko- und Technikfolgenforschung in Deutschland. Der Anteil der öffentlichen Fördergelder, der in diesen Forschungsbereich geht, liegt derzeit knapp über 5 %, das reicht nicht aus. Vor allem Messmethoden, wie sie z. B. bei der Marktaufsicht benötigt werden, müssen geschaffen werden, denn was nützen Regelungen und Gesetze, wenn sie nicht überprüft werden können? Die Aufsichtsbehörden müssen in der Lage sein, zu prüfen, ob ein Produkt Nanopartikel enthält oder nicht. Aber nicht nur Test- und Messmethoden, auch die Risiken der Nanopartikel im menschlichen Körper sind noch nicht ausreichend erforscht – auch auf diesem Gebiet muss die Forschung vorangetrieben werden, aus unserer Sicht auch aus öffentlichen Geldern, um die Unabhängigkeit und die Neutralität der Ergebnisse zu gewährleisten.

Es muss aber auch eine breitere Diskussion über Risiken und Chancen der Nanotechnologien innerhalb der Gesellschaft geführt werden. Angebote wie der NanoTruck des Bundesministeriums für Bildung und Forschung sind aus unserer Sicht zu sehr auf die Chancen der Nanotechnologien fokussiert und führen nicht zu einer ausgewogenen Diskussion, die die unterschiedlichen Seiten der Nanotechnologien beleuchtet. Es ist wichtig, die unterschiedlichen Anwendungsbereiche differenziert darzustellen, denn die Hoffnungen, die im Bereich Energieeffizienz und Ressourcenschonung durch Nanotechnologien geweckt wurden, sind

¹ Verordnung (EG) Nr. 1223/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. November 2009 über kosmetische Mittel (Neufassung).

immens groß und sollten nicht durch überzogene Bewerbung von eventuell nicht einmal vorhandenen Nanopartikel in verbrauchernahen Produkten schon im Vorhinein zerstört werden.

Das heißt für uns, dass Unternehmen, die Produkte wie Lebensmittel, Lebensmittelverpackungen, Wasch- und Reinigungsmittel, Kosmetika, aber auch Textilien und Spielzeug herstellen, offen mit ihren Kunden kommunizieren müssen. Mehr Transparenz kann helfen, dass Gerüchte über Nanopartikel im Ketchup oder Fantasievorstellungen wie die Nanopizza sich in den Köpfen der Verbraucherinnen und Verbraucher nicht festsetzen. Ein Eurobarometer, eine Umfrage der EU, u. a. zum Thema Nanotechnologien,² das im Herbst 2010 veröffentlicht wurde, hat gezeigt, dass die EU-Bürger und auch die Deutschen neuen Technologien gegenüber nicht abgeneigt sind, es besteht eine große Offenheit gegenüber neuen Technologien. Mit dieser Offenheit sollten aber weder die Politik noch die Wissenschaft und auch nicht die Wirtschaft zu sehr spielen, denn schnell entstehen Unsicherheiten und Ängste, die dann nur mühsam wieder abgebaut werden können.

Literatur

European Commission: Europeans and Biotechnology in 2010. Winds of Change? 2010

Ökoinstitut: Rechtliche Machbarkeitsstudie zu einem Nanoproduktregister. 2010

Monika BÜNING
Referentin für Umwelt, Produktsicherheit und
Normung im Verbraucherzentrale Bundesverband e. V.
Verbraucherzentrale Bundesverband e.V.
Federation of German Consumer Organisations
Markgrafenstraße 66
10969 Berlin
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 30 25800442
Fax: +49 30 258 00428
E-Mail: buening@vzbv.de

² Vgl. *European Commission* 2010.

Nano – das große Unbekannte

Alexandra CATERBOW und Doris MÖLLER (München)

Zusammenfassung

Nanotechnologie ist das neue Modewort der globalen Technologierevolution. Viele Heilsversprechen gehen mit der Entwicklung von neuen Nanomaterialien einher, doch wenige hielten bisher ihr Versprechen, oder stehen sogar im Verdacht gefährlich für Mensch und Umwelt zu sein. Bisher haben Konsumenten und Konsumentinnen keine Möglichkeit einer Wahlfreiheit beim Einkauf, da es keine Deklarationspflicht gibt, und auch viele Unternehmer und Händler sind oft nicht über die Inhaltsstoffe ihrer Produkte informiert. WECF fordert angesichts des bisherigen unzureichenden Wissenstands über die Risiken von Nanomaterialien, dass alle Nanomaterialien einer weitreichenden Risikobewertung unterzogen werden, sowie die Anwendung des Prinzips „No Data – No Market“, die Durchsetzung des Vorsorgeprinzips und des Prinzips der Herstellerhaftung. Außerdem sollte eine verpflichtende sofortige Kennzeichnung aller Produkte, die Nanomaterialien enthalten, eingeführt werden, und Produkte für Kinder und Schwangere nanofrei sein.

Abstract

Nanotechnology is the latest new buzzword in the global technology revolution. The development of new nanomaterials has raised many hopes, which have not been fulfilled so far. Even more, nanomaterials are under suspicion to be harmful to human health and the environment. Up to this point consumers cannot avoid products containing nanomaterials or take any informed decisions, since there is no mandatory labelling of nanomaterials in place. Even producers and retailers are often not aware of nanomaterials in their products. Taking the lack of reliable scientific information about the effects on human health and the environment into account, WECF calls for far reaching risk assessment, the implementation of the principles “No Data – No Market”, precautionary principle and producers liability. Furthermore, compulsory labelling of all products containing nanomaterials is needed and products for children and pregnant women should remain nano-free until valid data is available proving that its use is safe.

1. Was ist Nanotechnologie und wie wird sie genutzt?

Einfach dargestellt ist Nanotechnologie die Fähigkeit, winzige Strukturen bzw. Partikel in einem sehr kleinen Maßstab zu erzeugen und zu nutzen, der von einem einzelnen Atom bis zu einer Struktur von mehreren hundert Nanometern reicht. Um diesen Maßstab zu verdeutlichen: Die Breite eines menschlichen Haares beträgt 80 000 nm.

Als Verbraucher nutzen wir Nanotechnologie bereits in unseren Alltagsprodukten – in der Regel ohne es zu wissen. Die Zahl der Konsumgüter auf dem Weltmarkt, die Nanomaterialien enthalten, betrug bereits 2009 mehr als 1000. Da diese Materialien sehr schwer nachzuweisen sind und keine Meldepflicht besteht, ist die genaue Zahl unbekannt. Schätzungen gehen heute allerdings von einer weit größeren Zahl aus. Auch der Bereich der mit Nanomateriali-

en versehenen Kinderprodukte wie Schnuller, Zahnbürsten, Bürsten für Babyfläschchen und Plüschtiere wächst schnell (REJESKI 2009). Weitere übliche Anwendungen bestehen darin, Sonnenschutzmittel farblos zu machen, verpackte Lebensmittel frischer zu halten, die Aufnahme von Medikamenten zu verbessern, Cremes wirksamer zu machen, Bakterienhemmer in Bekleidung zu integrieren oder Oberflächen schmutzabweisend zu machen. Zu diesen Nanomaterialien der „ersten Generation“ zählen Nanopartikel (z. B. Metalloxide), Nanoröhren (nadelförmige Fasern), Nanodraht, Quantenpunkte und Kohlenstoff-Fullerene („Buckyballs“), um nur einige zu nennen.

Obwohl die Marktdurchdringung und somit die potenzielle Belastung für Verbraucher zunimmt, wurden die möglichen Auswirkungen auf die Gesundheit des Menschen und die Umwelt bislang nur in sehr begrenztem Maße untersucht. Wir essen künstliche Nanopartikel, atmen sie ein, tragen sie auf die Haut auf und spülen sie in unsere Flüsse, wissen aber immer noch nicht, was sie in unserem Körper oder in unserer Umwelt bewirken.

2. Sind Nanosubstanzen gefährlich?

Verglichen mit dem gleichen Stoff in der herkömmlichen „Grobform“, können Nanopartikel ganz andere Eigenschaften und toxikologische Profile aufweisen. Zum Beispiel ist Aluminium in der „großen Welt“ stabil, verhält sich als Nanopartikel aber wie ein Sprengstoff. Die Unterschiede hängen dabei mit verschiedenen Faktoren wie Größe, Form und Oberflächeneigenschaften wie Ladung, Reaktionsfähigkeit und Größe der Oberfläche zusammen. Die konkreten Eigenschaften werden ebenfalls von Quanteneffekten beeinflusst, die umso größer sind, je kleiner das Teilchen ist. Nach dem aktuellen Wissensstand lässt sich kein allgemeines Toxizitätsprofil für Nanomaterialien erstellen, da noch keine geeigneten Screening-Verfahren entwickelt wurden (*Center for International Environmental Law* 2009).

Die bislang durchgeführten Studien deuten darauf hin, dass viele Nanomaterialien über das Potenzial verfügen, oxidativen Stress zu erzeugen, der Entzündungen hervorruft und somit für Zellen bzw. genetisches Material toxisch sein kann (Zytotoxizität und Genotoxizität) (ASHARANI et al. 2009). Bei ersten Befunden wurde festgestellt, dass einige Kohlenstoffnanoröhren, wie Asbest, auf lange Sicht Mesotheliome (Krebs in der Lungenschleimhaut) verursachen können (RYMAN-RASMUSSEN et al. 2009). Manche Wissenschaftler warnen bei Kohlenstoffnanoröhren und anderen Nanosubstanzen, die eingeatmet werden können, sogar vor einer Zeitbombe, die mit Asbest vergleichbar wäre. Sind Nanopartikel erst einmal vom menschlichen Körper absorbiert, so können sie, weil sie so winzig sind, in die Zellen, die Plazenta und die Körpergewebe eindringen (WICK et al. 2009). Bei weiteren Studien wurde außerdem nachgewiesen, dass einige Nanopartikel Veränderungen der Herzfrequenz hervorrufen können (z. B. SCHULZ 2004).

Während über die Ökotoxizität von Nanomaterialien nur wenig bekannt ist, gibt es über die Abbaubarkeit und Anreicherung dieser Materialien bisher gar keine Studien (WIJNHOFEN et al. 2009). Besorgniserregend ist überdies der Mangel an geeigneten Methoden, um sie in der Umwelt feststellen zu können (*ENRHES* o. J.). Ökotoxikologischen Daten zufolge sind die am häufigsten verwendeten Nanopartikel für Organismen in der Umwelt als „extrem toxisch“ bis „schädlich“ einzustufen. Bemerkenswert ist, dass keine der Nanosubstanzen, die bisher untersucht wurden, als „nicht schädlich“ für die Umwelt eingestuft wurde (KAHRU und DUBOURGUIER 2009).

Zusätzlich belegen einige frühe Untersuchungen, dass die meisten Nanopartikel und ihre Produktionsprozesse sich im Vergleich zur Herstellung von Grundchemikalien viel stärker

auf die Umwelt auswirken (ŞENGÜL et al. 2008). Demzufolge würde der mögliche ökologische Nutzen von Nanomaterialien durch die Umweltkosten ihrer Produktion aufgehoben (KHANNA et al. 2008).

3. Fehlende Risikobewertungen und Forschungen

Ausgangsdaten zur Bewertung der Risiken für Mensch und Umwelt fehlen bzw. sind weitgehend unzureichend. Bislang haben weder die Industrie noch die Behörden angemessen reagiert oder auch nur den Willen gezeigt, diese Probleme ernsthaft anzugehen. Verglichen mit der Summe, die in die Entwicklung und Vermarktung neuer Produkte mit Nanomaterialien investiert wurde, fielen die Gelder für die Erforschung der Gesundheits- und Umweltrisiken geradezu winzig aus.

Es gibt bisher nicht einmal eine geeignete Methodik zur gründlichen Risikobewertung von Nanopartikeln. Ein Problem dabei ist, dass die Methoden und Geräte für Tests hinter der schnell voranschreitenden Produktentwicklung zurückbleiben. Um die mit Nanomaterialien verbundenen Gefahren sachgerecht bewerten zu können, müssen geeignete Testmethoden entwickelt und allgemein anerkannt werden. Bisher sind Kinder, Frauen und Männer sowie die Umwelt unbekannt und daher auch unkontrollierten Risiken ausgesetzt.

Viele Regierungen und die Industrie fördern die Nanotechnologie und behaupten dabei, dass sie nicht nur unser tägliches Leben revolutionieren, sondern auch Nutzen für die Umwelt mit sich bringen wird, wie eine saubere und effizientere Produktion, geringeren Energieverbrauch, Sanierung und Überwachung der Umwelt, Wasserfilterung und weniger Verschmutzung durch die Landwirtschaft.

In Wirklichkeit sind für die Verbraucher jedoch bisher nur recht gewöhnliche Produkte erhältlich, die einen fragwürdigen Zusatzwert, unbewiesene und teils übertriebene Behauptungen sowie möglicherweise sehr schwer wiegende Gesundheitsrisiken haben. Was soll man von einem Getränk, das nur Wasser und Nanosilber enthält, einem Nanosilber-Beißring, Nanosilber-Feuchttüchern oder einem Nanosilber-Babyfläschchen halten? Die Hersteller dieser Produkte behaupten, dass sie dem Immunsystem des Körpers helfen, Bakterien besser abzuwehren.¹ Höchstwahrscheinlich gefährden diese Produkte jedoch das normale Bakterienwachstum im Darm und das Immunsystem des Körpers (MEYER et al. 2009). Zwar kann Nanosilber wertvolle Dienste in der Medizin leisten, wo es zur Bekämpfung von Krankheitserregern dient. Der breite Einsatz von Nanosilber in Verbraucherprodukten kann jedoch dazu führen, dass sich Resistenzen gegen Nanosilber entwickeln und damit diese Anwendung für die Medizin verloren wäre.

4. Unwägbarkeiten und Risiken

Trotz des wachsenden Bewusstseins für die großen Unwägbarkeiten und Risiken, welche die (Öko-)Toxizität von Nanopartikeln mit sich bringen, sind diese und die Produkte, die sie enthalten, kaum reguliert. Die einzige Kennzeichnung weltweit beschränkt sich bisher auf die neue Kosmetikrichtlinie der EU, die 2013 in Kraft tritt.

¹ <http://www.nanotechproject.org/>.

Benötigt wird ein differenziertes Herangehen an die Risiken von Nanomaterialien und die Gefahren, die mit Nanomaterialien verbunden sind, wobei diese Differenzierung verschiedene Risiken und Probleme impliziert. Nanomaterialien und die dazugehörigen Produkte werfen zahlreiche Fragen zum Toxizitätsrisiko für die menschliche Gesundheit bzw. die Umwelt auf.

Die Nanotechnologie zieht ethische, rechtliche und politische Fragen nach sich, die viel weitreichendere Folgen für die menschliche Gesellschaft haben könnten, wie z. B. zur Konvergenz mit anderen Technologien und zu Grund- und Persönlichkeitsrechten. Hinzu kommen das Problem, dass unser Leben „künstlich gemacht“ wird, sowie Fragen zur steigenden Abhängigkeit von Technologien und ihren Experten. Diese müssen Gegenstand einer öffentlichen Debatte sein.

Im Hinblick auf die Nanotechnologie besteht eine riesige Wissensdifferenz zwischen Industrie- und Entwicklungsländern. Entwicklungs- und Schwellenländer tragen voraussichtlich unverhältnismäßig hohe Nanorisiken, indem sie Produktionsanlagen akzeptieren, die wohlhabende Länder ablehnen, oder vermehrt deren Abfälle deponieren und/oder weiter verwerten. Dies ist besonders deshalb gefährlich, weil Regulierungen in diesen Ländern oft gar nicht vorhanden, schwächer sind oder nicht eingehalten werden können.

Vor diesem Hintergrund fordert WECF (*Women in Europe for a Common Future*), für alle Nanomaterialien das Vorsorgeprinzip sowie den Grundsatz „No Data – No Market“ anzuwenden. Alle Nanomaterialien müssen als neue Stoffe betrachtet und vor ihrer Marktfreigabe Fall für Fall einer Risikobewertung unterzogen werden. Regulierungen müssen gewährleisten, dass Nanomaterialien keine schädlichen Folgen für die menschliche Gesundheit oder die Umwelt hervorrufen. Dabei sollte eine besondere Sicherheitsschwelle für schutzbedürftige Gruppen und insbesondere Kinder eingeführt sowie eine geschlechterspezifische Risikobewertung vorgenommen werden. WECF fordert, dass die Öffentlichkeit (auch in Entwicklungsländern) unverzüglich umfassende Informationen über die möglichen Risiken von Nanomaterialien und der Nanotechnologie sowie Zugang zu Angaben über die Produkte erhält, die Nanomaterialien enthalten.

5. Fehlende Regulierung

5.1 Ungenügende EU-Regulierung

Obwohl Stimmen aus Wirtschaft und Politik behaupten, dass der zulassungsrechtliche Rahmen ausreicht, lässt dieser die Besonderheiten von Nanomaterialien außer Betracht. Daher verabschiedete das Europäische Parlament im April 2009 eine Resolution,² in der die EU-Kommission aufgefordert wird, in den nächsten Jahren alle einschlägigen Rechtsvorschriften zu überprüfen, um bei allen Anwendungen von Nanomaterialien während ihrer gesamten Lebensdauer Sicherheit gewährleisten zu können. Die Resolution verlangt ebenfalls die Kennzeichnung von Nanomaterialien in Produkten aller Art. Bis heute werden Nanomaterialien nur in der neuen Kosmetikrichtlinie (EG) Nr. 1223/2009 und in zwei Passagen der Richtlinie über Lebensmittelzusatzstoffe (EG) Nr. 1333/2008 behandelt. Wenn die Kosmetikrichtlinie 2013 in Kraft tritt, wird sie eine vorherige Anmeldung, eine spezifische Risikobewertung und die Kennzeichnung von Nanomaterialien vorschreiben. Spezifische Bestimmungen für Nano wurden vom Euro-

² *European Parliament*, April 24th 2009: Regulatory Aspects of Nanomaterials.

päischen Parlament außerdem für die neue Verordnung über die Risiken gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten (*RoHS*) und die Biozidverordnung vorgeschlagen. Allerdings wurden diese Vorschläge nicht übernommen. Die *Novel-Food*-Verordnung über neuartige Lebensmittel und die Regeln zur Lebensmittelkennzeichnung sind im März 2011 gescheitert. Selbst eine Kennzeichnung von Nanomaterialien in Lebensmitteln wird vorerst nicht vorgeschrieben, obwohl sie bereits in frei käuflichen Nahrungsmitteln verwendet werden.

5.2 REACH ist nicht nanosicher

Ebenso ist auch die REACH-Verordnung, die zwar theoretisch für Nanomaterialien gilt, vor allem aus drei Gründen nicht so umfassend gestaltet, dass sie den Besonderheiten von Nanomaterialien gerecht werden kann. Zunächst deshalb, weil bei REACH eine Definition von Nanomaterialien bzw. Stoffen in Nanoform und -größe fehlt. Zweitens da die Methodik von REACH auf Grundchemikalien und den Grundsatz zugeschnitten ist, dass die Giftigkeit einer Chemikalie eher mit der Masse als mit der Oberfläche pro Volumen zusammenhängt. Schließlich verlangt REACH bisher keine Risikobewertung bei Stoffen, die in Mengen von weniger als 10 t/Jahr produziert oder importiert werden. Dieser Grenzwert ist für Nanomaterialien sehr hoch, da sie gewöhnlich in wesentlich geringeren Tonnagen gehandhabt werden. (Für Mengen von 1 bis 10 t werden bisher nur Grunddaten gefordert. [Stand Anfang 2011])

5.3 Außerhalb der EU

Auch andere Aufsichtsbehörden arbeiten an der Entwicklung erster Gesetze, mit denen sich die Probleme von Nanomaterialien regeln lassen. Kanada und Kalifornien haben zum Beispiel Schritte eingeleitet, um verbindliche Angabepflichten für die Nutzung von Nanomaterialien und deren Toxizitätsbewertung vorzuschreiben. Das kanadische Gesetz, das seit Januar 2009 in Kraft ist, betrifft inländische Unternehmen und Institutionen, die mehr als 1 kg Nanomaterial pro Jahr herstellen und verkaufen. Nach diesen neuen Vorschriften müssen diese Einrichtungen nun offenlegen, wie viel Nanomaterial sie anwenden, wie sie es einsetzen und was ihnen über dessen Toxizität bekannt ist. Das kalifornische Gesetz, gültig seit Februar 2009, beschränkt sich vom Geltungsbereich her auf Kohlenstoffnanoröhren, d. h. eine Klasse von Nanomaterialien, die in der Elektronik, Optik und bei biomedizinischen Anwendungen oft verwendet werden. Gemäß der neuen Vorschrift müssen Unternehmen, die in Kalifornien Kohlenstoffnanoröhren produzieren, importieren oder exportieren, bis Februar 2010 Angaben über deren Toxizität und Umweltfolgen offenlegen.

5.4 Auf internationaler Ebene

Im Jahr 2008 haben während des IFCS (*International Forum on Chemical Safety*) 71 Regierungen, 12 internationale Organisationen und 39 zivilgesellschaftliche Organisationen das *Dakar Statement on Manufactured Nanomaterials* (Erklärung von Dakar über künstliche Nanomaterialien) verabschiedet. In dieser Resolution wird gefordert, beim Umgang mit Nanotechnologien das Vorsorgeprinzip anzuwenden und alle Nanomaterialien zu kennzeichnen (*Intergovernmental Forum for Chemical Safety* 2008). Zurzeit werden Nanotechnologien und Nanomaterialien in zwei Arbeitsgruppen der OECD sowie in einer Arbeitsgruppe im Rahmen des SAICM-Prozesses (*Strategic Approach on International Chemical Management*) disku-

tiert. Bei den regionalen SAICM-Treffen in Afrika und Südamerika wurde einstimmig eine Resolution verabschiedet, die zur stärkeren Anerkennung der Position von Entwicklungs- und Schwellenländern auffordert. Die Resolutionen verlangen zum Beispiel, dass Müll, der Nanomaterialien enthält, nicht in Länder gebracht werden soll, die nicht über die Kapazität verfügen, diesen ordnungsgemäß zu handhaben. Nichtregierungsorganisationen (NRO) unterstreichen, dass eine Diskussion erforderlich ist, in die auch die Regierungen und die Zivilgesellschaften aus Entwicklungs- und Schwellenländern einbezogen werden. Daher bevorzugt WECF gemeinsam mit vielen anderen NRO ebenfalls SAICM und nicht die OECD als Gesprächsforum.

6. Mangel an Informationen

Abgesehen von Kosmetika, die nach 2013 in der EU verkauft werden, besteht für Verbraucher zurzeit kein Informationsrecht und für Unternehmen kein Zwang, Produkte, die Nanomaterialien enthalten, zu kennzeichnen bzw. zu registrieren. Sicherheitsstandards zum Schutz derjenigen, die mit den Substanzen in Berührung gelangen, wie z. B. Arbeiterinnen und Arbeiter, oder auch der Umwelt bestehen nicht. Somit gibt es für Verbraucher und Arbeitnehmer keine Möglichkeit, Belastungen zu vermeiden oder zu kontrollieren bzw. eine Verschmutzung der Umwelt durch Nanomaterialien zu verhindern.

7. Die Position von WECF zur Nanotechnologie

Die Nanotechnologie wird oft im Hinblick auf ihre Vorteile und Risiken diskutiert. WECF bestreitet nicht, dass die Nanotechnologie – wie andere neue Technologien auch – langfristige Gewinne und Vorteile für die Gesellschaft insgesamt bringen könnte. Um ein Gesamturteil zu ermöglichen, werden jedoch Daten zu den Gefahren, der Exposition, den Risiken und ethischen Folgen für die Menschen, die Umwelt und unsere Gesellschaft als Ganzes benötigt. Aus der Sicht von WECF ist es sehr bedenklich, dass Menschen ohne Risikobewertung Nanomaterialien ausgesetzt werden und nicht einmal entsprechende Regelungen bestehen. WECF fordert die Anwendung des Vorsorgeprinzips, um besonders die Gesundheit von Kindern zu schützen. Dabei ist es notwendig, an die Lehren aus der Vergangenheit und die teils verheerenden Auswirkungen einer Nutzung neuartiger Materialien ohne gründliche Risikobewertungen zu erinnern – man denke nur an Asbest. Um Gesundheits- und Umweltschäden zu vermeiden, müssen die Verbraucher und die breite Öffentlichkeit informiert und in die Entscheidungsfindung zu Nanotechnologie und Nanomaterialien einbezogen werden. Außerdem müssen Unternehmen verpflichtet werden, die Unbedenklichkeit ihrer Produkte auch langfristig sicherzustellen.

8. Kinder, Gender und Nanotechnologie

WECF tritt für eine giftfreie Zukunft ein. Belastungen von Menschen durch Nanosubstanzen können z. B. am Arbeitsplatz, an der Entsorgungsstelle, durch Reinigungsmittel, Kosmetika und Lebensmittelverpackungen auftreten. Risiken sollten nach Alter und Geschlecht differenziert

betrachtet werden. WECF ist besonders über die Auswirkungen von Nanomaterialien auf die Gesundheit von Frauen, Kindern und anderen schutzbedürftigen Gruppen besorgt. Studien an Mäusen zeigen (z. B. TAKEDA et al. 2009), dass, wenn Schwangere oder Stillende Nanosubstanzen ausgesetzt sind, auch deren Babys durch den Uterus (Gebärmutter) oder die Muttermilch ebenfalls diesen Nanopartikeln ausgesetzt sind. Die Folgen, die Nanomaterialien für die Entwicklung des Gehirns und anderer lebenswichtiger Organe des Fötus haben können, sind weitgehend unerforscht. Aber man weiß, dass Kinder empfindlicher sind als Erwachsene, weil ihre Körper und Organe noch nicht vollständig entwickelt und ihre Körpermasse geringer ist, so dass sie toxische Stoffe stärker aufnehmen und lebenslang Schäden davontragen können.

9. WECF-Forderungen zu Nanomaterialien

9.1 Nanosubstanzen sind als neue Stoffe zu behandeln

WECF fordert, dass Nanomaterialien als vollkommen neue Substanzen behandelt werden. Dazu gehört eine standardisierte Nomenklatur mit eigenen CAS-Nummern für Nanosubstanzen, um eindeutig zwischen diesen und den entsprechenden Grundchemikalien zu unterscheiden. Die entsprechenden Regelungen müssen ebenfalls angepasst werden.

9.2 Anwendung des Prinzips „No Data – No Market“ für alle Nanosubstanzen

WECF fordert die Anwendung des Prinzips „No Data – No Market“. Bei REACH muss dies unabhängig von der Tonnage geschehen. Die Anmeldung von Nanomaterialien unter den entsprechenden Grundchemikalien ist grundsätzlich zu verbieten. Alle Regelungen einschließlich REACH müssen nanosicher gemacht werden. Um spezifische Regulierungsanforderungen zu ermöglichen, ist umgehend eine breite und auch rechtlich bindende Definition von Nanomaterialien einzuführen. Diese Definition muss alle Partikel einschließen, die für den Nanobereich charakteristische Eigenschaften aufweisen, inklusive Aggregate und Agglomerate von Partikeln, die sich in Nanopartikel aufspalten können.

9.3 Nanosubstanzen müssen einer weit reichenden Risikobewertung unterzogen werden (Gesundheit, Umwelt)

Da es aufgrund der einzigartigen Eigenschaften von Nanosubstanzen oft unklar ist, wie stark sie den menschlichen Körper und die Umwelt schädigen können, ist eine umfassende Risikobewertung von Gefahren für Menschen und Umwelt unbedingt notwendig. Zudem ist oft auch nicht bekannt, wie sie mit anderen Chemikalien reagieren. Bevor eine breite Anwendung zugelassen wird, müssen diese Risiken erst durch unabhängige Stellen beurteilt werden.

Bewertungen müssen die Ungefährlichkeit des Produkts während des gesamten Lebenszyklus nachweisen. Diese Materialien sollten einer nach Geschlecht differenzierten Risikobewertung unter besonderer Berücksichtigung schutzbedürftiger Gruppen, insbesondere von Kindern, unterzogen werden.

Die Wissenslücken bei Nanosubstanzen müssen geschlossen werden. Die Forschungsförderung muss prioritär auf die Erforschung und Bewertung von Risiken ausgerichtet werden. Forschungsarbeiten zu den Folgen und Risiken von Nanomaterialien für Menschen und

Umwelt müssen den gesamten Lebenszyklus der Materialien abdecken. Eine gründliche Risikobewertung setzt die Entwicklung einer geeigneten Methodik und eine zuverlässige Datengrundlage voraus.

9.4 Durchsetzung des Vorsorgeprinzips und des Prinzips der Herstellerhaftung

WECF fordert Entscheidungsträger auf, bei Nanotechnologie das Vorsorgeprinzip und die Herstellerhaftung durchzusetzen. Damit können Unternehmen, die Nanomaterialien produzieren oder einsetzen, für mögliche Schäden durch ihre Produkte haftbar gemacht werden. Dies ist auch gerade dann notwendig, wenn die Daten noch nicht ausreichen, um die Risiken umfassend verstehen und managen zu können. Mit der Anwendung dieser Prinzipien bestünde für die Hersteller ein Anreiz, die Risiken zu untersuchen und zu bewerten, die mit der Nutzung von Nanomaterialien in ihren Produkten verbunden sind.

9.5 Verpflichtende sofortige Kennzeichnung aller Produkte, die Nanomaterialien enthalten

Alle Verbraucher sowie die Mitarbeiter in den Bereichen Produktion, Verarbeitung, Transport und Entsorgung haben das Recht, über die Materialien informiert zu werden, die sie produzieren oder anwenden, und zwar besonders dann, wenn deren Auswirkungen noch nicht bekannt sind. Ihr Informations- und Entscheidungsrecht muss in Bezug auf Nanotechnologie und Nanomaterialien ausdrücklich anerkannt werden. Die Verbraucher müssen die Gelegenheit erhalten, selbst zu entscheiden, ob sie das Risiko eingehen und sich dieser potenziellen Gefahr aussetzen möchten. Daher müssen Produkte, die Nanomaterialien enthalten, eindeutig gekennzeichnet werden. Öffentlich zugängliche Produktregister schaffen zusätzliche Transparenz.

9.6 Bürger müssen informiert und in die Entscheidungsfindung einbezogen werden

Eine „technologische Revolution“ erfordert stets die Beteiligung und Einbeziehung der Öffentlichkeit. Frauen und Männer müssen gehört und ihre Belange berücksichtigt werden. WECF fordert einen breit angelegten Bürgerdialog über die Risiken und die Vorteile von Nanotechnologie und Nanomaterialien. Die Verfahren zur Entscheidungsfindung sollten demokratisch sein und dahin gehend verändert werden, dass sie auch dynamische technologische Revolutionen wie die Nanotechnologie erfassen können.

Dies sollte auch im internationalen System gelten, d. h., dass Staaten das Recht haben sollten, die Produktion, Anwendung oder Entsorgung von Nanomaterialien in ihrem Land zu akzeptieren oder auch abzulehnen.

9.7 Alle Produkte für Kinder und Schwangere müssen nanofrei sein

Solange nicht eindeutig nachgewiesen ist, dass Nanomaterialien kein Gesundheitsrisiko darstellen, müssen zumindest alle Produkte für Kinder und Schwangere nanofrei sein. WECF hält den Verkauf von Produkten mit Nanopartikeln ohne angemessene Risikoforschung für unverantwortlich. Die Gesundheit unserer Kinder muss unter allen Umständen gewährleistet sein. Daher fordern wir, dass Produkte, die für Kinder bestimmt sind oder in ihrer Nähe genutzt werden, nanofrei sind, solange bis verlässliche Daten vorliegen, die nachweisen, dass das verwendete Nanomaterial sicher ist.

Literatur

- ASHARANI, P. V., LOW KAH MUN, G., HANDE, M. P., and VALIYAVEETIL, S.: Cytotoxicity and genotoxicity of silver nanoparticles in human cells. *ACS Nano* 3/2, 279–290 (2009)
- Center for International Environmental Law: Addressing Nanomaterials as an Issue of Global Concern. 2009
- ENRHES: Engineered Nanoparticles: Review of Health and Environmental Safety. 7th Framework Project. <http://nmi.jrc.ec.europa.eu/documents/pdf/ENRHES%20Review.pdf>
- European Parliament: Regulatory Aspects of Nanomaterials. 2009
- Intergovernmental Forum for Chemical Safety. Erhältlich unter: <http://www.who.int/ifcs/forums/six/en/index.html> (2008)
- KAHRU, A., and DUBOURGUIER, H.-C.: From ecotoxicology to nanoecotoxicology. *Toxicology*. doi:10.1016/j.tox.2009.08.016 (2009)
- KHANNA, V., BAKSHI, B. R., and LEE, L. J.: Carbon nanofiber production: Life cycle energy consumption and environmental impact. *J. Indust. Ecol.* 12/3, 394–410 (2008)
- MEYER, D. E., CURRAN, M. A., and GONZALEZ, M. A.: An examination of existing data for the industrial manufacture and use of nanocomponents and their role in the life cycle impact of nanoproducts. *Environ. Sci. Technol.* 43/5, 1256–1263 (2009)
- REJESKI, D.: Nanotechnology and consumer products. www.nanotechproject.org (2009)
- RYMAN-RASMUSSEN, J. P., CESTA, M. F., BRODY, A. R., SHIPLEY-PHILLIPS, J. K., EVERITT, J. I., TEWKSBURY, E. W., MOSS, O. R., WONG, B. A., DODD, D. E., ANDERSEN, M. E., and BONNER, J. C.: Inhaled carbon nanotubes reach the subpleural tissue in mice. *Nature Nanotechnology* doi: 10.1038/NNANO.2009.305 (2009)
- SCHULZ, H.: Cardiovascular effects of nanoparticles. http://www.akpf.org/health2009/data/Health-VERT-2009/ETH-Healt_effects/2004/Presentations/Schulz.pdf (2004)
- ŞENGÜL, H., THEIS T. L., and GHOSH, S.: Towards sustainable nanoproducts: An overview of nanomanufacturing methods. *J. Indust. Ecol.* 12/3, 329–359 (2008)
- TAKEDA, K., et al.: Nanopartikel, die von trächtigen Mäusen auf deren Nachkommen übertragen werden, können das Fortpflanzungs- und Hirnnervensystem schädigen. *Journal of Health Science* 55, 95–102 (2009)
- WICK, P., et al.: Barrier capacity of human placenta for nanosized materials. *Environmental health perspective*: <http://ehp03.niehs.nih.gov/article/info%3Adoi%2F10.1289%2Fehp.0901200> (2009)
- WIJNHOVEN, S. W. P., PEIJNENBURG, W., HERBERTS, C., HAGENS, W., WERNER, I., OOMEN, A., HEUGENS, E., ROSZEK, B., BISSCHOPS, J., GOSENS, I., VAN DE MEENT, D., KEKKERS, S., DE JONG, W., VAN ZIJVERDEN, M., SIPS, A., and GEERTSMA, R.: Nano-silver – a review of available data and knowledge gaps in human and environmental risk assessment. *Nanotoxicology* 2009, 1–30 (2009)

Alexandra CATERBOW und Doris MÖLLER
 WECF Germany
 St.-Jakobs-Platz 10
 80331 München
 Bundesrepublik Deutschland
 Tel.: +49 89 23239380
 Fax: +49 89 232393811
 E-Mail: alexandra.caterbow@wecf.eu

Dokumentation

Kommentar

Christan GRUGEL (Berlin)

Die Vorträge des Vormittags¹ haben einen guten Einblick in die Anwendungsmöglichkeiten der Nanotechnik gegeben. Eine Erkenntnis ist dabei besonders wichtig: Es gibt keine gemeinsamen Regeln, die man auf alle Beispiele anwenden kann.

Die Nutzung der Nanotechnik erfordert die Betrachtung jeden Einzelfalls. So sind in dem von Herrn Dr. JORDAN vorgestellten Beispiel einer Krebstherapie mit nanoskaligen Eisenpartikeln Größe und Coating für die Wirkung entscheidend. Die Partikel müssen in der Lage sein, in Zellen einzudringen und aufgrund ihrer ferromagnetischen Eigenschaften und Größe



Abb. 1 Christian GRUGEL (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz) kommentiert die Vorträge des Vormittags (Quelle: acatech / Thomas DASHUBER)

¹ Siehe Programm der Veranstaltung auf S. 145 in diesem Band.

eine ausreichende Energiemenge aus einem elektromagnetischen Wechselfeld aufzunehmen. Der therapeutische Effekt dieser Behandlung ist dann auf die Schädigung der Krebszellen durch die übertragene thermische Energie zurückzuführen.

Andere nanoskalige Metallpartikel, etwa nanoskaliges Gold, das von den Römern bereits zum Färben von Glas verwendet wurde, nutzen andere Eigenschaften der Partikel. Nach quantenmechanischen Berechnungen sollen nanoskalige Metallpartikel unterhalb einer kritischen Größe und bei niedriger Temperatur sogar ihre metallischen Eigenschaften verlieren. Unter diesen Randbedingungen können die Elektronen dann nicht mehr als Elektronengas beschrieben werden.

Eine andere Eigenschaft von Nanopartikeln nutzt man bei UV-Filtern von Sonnenschutzcremes, wie aus dem Vortrag von Herrn Professor IDEN zu ersehen war. Winzige Partikel aus Zinkoxid oder Titandioxid wirken für ultraviolettes Licht als Spiegel, die diese Strahlen zurückwerfen. Die längerwelligen Strahlen des sichtbaren Lichts werden an den nanoskaligen Partikeln nur gebeugt. Sie laufen gewissermaßen um die Hindernisse herum. Die unterschiedliche Wechselwirkung nanoskaliger Partikel mit sichtbarem Licht und kürzerwelligem ultraviolettem Licht ist dabei für die Wirkung als UV-Filter verantwortlich. Dadurch wird die Herstellung durchsichtiger Sonnenschutzmittel mit hohen Lichtschutzfaktoren möglich.

Auch die von nanoskaligen Materialien ausgehenden Risiken müssen in jedem Einzelfall gesondert bewertet werden. Wie bei klassischen toxikologischen Aufgabenstellungen sind auch hier Exposition und Wirkung zu betrachten. Wie Sie aus dem Vortrag von Frau Professor DANIEL gesehen haben, gibt es eine ganze Reihe offener Fragen zur Durchlässigkeit der Darmwand für nanoskalige Partikel. Der Vortrag von Herrn Dr. THIER-KUNDTKE hat deutlich gemacht, dass durch das Einatmen nanoskaliger Fasern eine ähnliche Schädigung der Lunge auftreten kann, wie sie aus dem Einatmen von Asbestfasern bekannt ist. Deshalb verwundert es nicht, dass ein Hauptaugenmerk derzeit auf den Risiken liegt, die mit dem Einatmen von Nanotubes verbunden sind. Allerdings zeigen gerade diese Experimente, dass die Längenverteilung der Fasern einen erheblichen Einfluss auf die Wirkung hat. Erschwert werden die für die Risikobewertung notwendigen Betrachtungen von Exposition und Wirkung dadurch, dass geeignete Messverfahren für nanoskalige Materialien nur für wenige Fälle zur Verfügung stehen. Lässt sich die Lokalisation der nanoskaligen Eisenpartikel aus dem therapeutischen Einsatz noch gut mittels MRT-Untersuchungen nachweisen, so lassen sich Nachweisverfahren für Nanopartikel, die mit Stabilisotopen markiert wurden, nur in Einzelfällen einsetzen. Offen sind insbesondere belastbare Aussagen über Wege und Verbleib nichtlöslicher, schwer abbaubarer nanoskaliger Materialien in der Umwelt. In diesem Zusammenhang müssen Fragen beantwortet werden, wie schnell nanoskalige Partikel z. B. über die Bildung von Agglomeraten in feste Materialien eingebaut werden. Die vielen Beispiele für die Verwendung nanoskaliger Silberpartikel zeigen, dass auch geklärt werden muss, welche Wirkung diese Partikel entfalten, wenn die Produkte nach ihrer Verwendung im Abfall landen.

Diese Fragen müssen einzelfallbezogen für jede Anwendung geklärt werden. Sie sind nicht über eine Kennzeichnung lösbar. Eine Kennzeichnung von Produkten mit nanoskaligen Materialien erscheint auch nur dann aussagekräftig, wenn die Verbraucher Hinweise bekommen, welche besonderen Eigenschaften auf die Nanoskaligkeit zurückgeführt werden können und wie diese Produkte zweckmäßigerweise verwendet werden.

In vielen Bereichen, nicht nur beim Einsatz neuer technischer Möglichkeiten, stehen wir vor der Herausforderung, Entscheidungen auch dann treffen zu müssen, wenn die Risiken nicht vollständig eingeschätzt werden können. Hierfür wurde das Vorsorgeprinzip entwickelt.

Je größer die Unsicherheiten in der Risikoeinschätzung sind, desto umfassender müssen die Schutzmaßnahmen getroffen werden. Mit dem Zugewinn weiterer Erkenntnisse können die Maßnahmen dann zurückgeführt werden, wenn klar ist, dass eine ausreichende Sicherheit auch ohne die jeweils betrachtete Maßnahme erreicht werden kann. Dieses Vorsorgeprinzip wurde in der Vergangenheit beim Umgang mit BSE (Bovine Spongiforme Enzephalopathie) oder mit der Vogelgrippe erfolgreich angewandt. Auch beim Umgang mit nanoskaligen Materialien sollte es das Mittel der Wahl sein.

Die unterschiedlichen Einsatzfelder und die damit verbundenen möglichen Risiken machen es erforderlich, einzelne Anwendungsgebiete jeweils gesondert zu regeln. Ein Gesetz über Nanomaterialien kann dies nicht leisten. Der für Lebensmittel und kosmetische Mittel bereits eingeschlagene Weg mit spezifischen Regelungen in den entsprechenden Fachgesetzen, z. B. unter Anwendung existierender Verordnungsermächtigungen zur Zulassung oder Kennzeichnung von Produkten mit nanoskaligen Bestandteilen, bietet hierfür geeignete Regelungsmöglichkeiten.

In Deutschland ist die Reaktion der Verbraucher auf Produkte mit nanoskaligen Bestandteilen noch nicht festgelegt. Im europäischen Ausland wird der Einsatz derartiger Produkte in einer deutlich emotionaleren Diskussion kritischer bewertet. Ob es ausreicht, wie von Herrn Professor RENN vorgeschlagen, die Kommunikation über die Nanotechnologie mit transparenten und verständlichen Informationen zu verbessern, ist zu bezweifeln. Verbraucher gewinnen immer dann einen realistischen, von der eigenen Wahrnehmung getragenen Zugang zu neuen Technologien, wenn sie neben der notwendigen Information über mögliche Risiken eigene Erfahrungen mit den Produkten dieser Technik sammeln können. Ein gutes Beispiel dafür ist die Liberalisierung der Telekommunikationsmärkte. Die frühe Verfügbarkeit von Mobiltelefonen hat dazu geführt, dass die Diskussion über die Risiken längerwelliger elektromagnetischer Strahlung unter dem Eindruck eigener Erfahrungen der Verbraucher mit der Mobiltelefonie geführt wurde. Eine Risikodiskussion ohne die Verfügbarkeit entsprechender Produkte hätte in der Öffentlichkeit zu einer Fokussierung auf die Risiken geführt. Diese Einschätzung spricht dafür, klar herauszustellen, welche Produkte mit nanoskaligen Bestandteilen angeboten werden und welche Eigenschaften auf die Nanoskaligkeit zurückgeführt werden können.

Nicht zuletzt sollten Wirtschaft und Wissenschaft keine überzogenen Erwartungen wecken, was durch den Einsatz nanoskaliger Bestandteile möglich wird. Die Verbraucher werden ihnen diese Visionen glauben und dazu passend überzogene Befürchtungen entwickeln. Es ist ein Gebot der Vernunft, sich an der Wirklichkeit zu orientieren. Diese ist, was die Möglichkeiten für Produkte mit nanoskaligen Bestandteilen betrifft, spannend genug.

Dr. Christan GRUGEL
Leiter der Abteilung Verbraucherpolitik
Bundesministerium für Ernährung
Landwirtschaft und Verbraucherschutz
11055 Berlin
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 30 185290
Fax: +49 30 185293179

Rapports aus den Workshops

Medizin

Katja BECKER ML (Gießen)

Der Workshop „Nanotechnologie in der Medizin“ wurde eingeleitet mit einem Impulsreferat von Thomas SCHMITZ-RODE mit dem Titel „Nanotechnologie pro Gesundheit: Technologievorschau im Rückblick“ (vgl. seinen Beitrag in diesem Band). Das Referat von Herrn SCHMITZ-RODE wurde in der Diskussion dahingehend ergänzt, dass Deutschland sich im Jahre 2010 offenbar auch international in der Spitzengruppe in Bezug auf nanotechnologisch orientierte Forschung befinde. In einigen Bereichen habe Deutschland die Vereinigten Staaten sogar bereits überholt. Auch die Möglichkeiten, Forschungsgelder einzuwerben, seien heute deutlich besser als im Jahre 2004.

Der zweite Schwerpunkt der Diskussion widmete sich der Frage, ob es Initiativen gebe, die sich der wissenschaftstheoretischen Betrachtung von Nanotechnologie und ihren Folgen widmen. Werden Nutzenpotentiale der Nanotechnologie von der theoretischen Seite betrachtet? Lassen sich Prozesse, die mit der Nanotechnologie assoziiert sind, modellieren oder vorhersagen? Gibt es im Bereich der Nanotechnologie selbstorganisatorische Prozesse? Es herrscht Einigkeit, dass dieses Thema derzeit noch unterbewertet wird und dass es noch viele Jahre dauern wird, bis man genügend Daten und Erfahrung gesammelt hat, um fundierte wissenschaftstheoretische Überlegungen anstellen zu können. In diesem Zusammenhang wurden auch Vergleiche mit der Systembiologie gezogen.

Der dritte Schwerpunkt der Diskussion lag auf den Risiken der Nanotechnologie und ihrer Bewertung. Bei diesem Punkt kamen sehr unterschiedliche, teilweise auch kontroverse Meinungen zum Ausdruck. Einerseits wurde betont, dass Nanopartikel, die im Bereich der Medizin eingesetzt werden, dem Medizinproduktegesetz unterliegen. Daher werden diese Nanopartikel sehr detailliert in Bezug auf ihr Wirkprofil sowie auf Aufnahme, Verteilung, Metabolisierung, Elimination und Toxizität untersucht. Die Zulassung solcher Nanopartikel unterliegt also sehr engen Regularien. Deutlich wurde, dass sich diese sogenannten Designerpartikel in der Medizin deutlich von anderen Nanopartikeln unterscheiden, die sehr viel unspezifischer und unkontrollierter, beispielsweise in der Umwelt und der Nahrung, eingesetzt werden. Letztgenannte Partikel sind in Bezug auf ihre Wirkungen auf Mensch und Umwelt sehr viel weniger charakterisiert und in ihrer Zulassung reguliert. Kritisch wurde sogar angemerkt, ob selbst das Medizinproduktegesetz stringent und tiefgehend genug sei, um die Risiken von Nanopartikeln in der Medizin adäquat einschätzen zu können. Folgende Schritte wurden in dem Workshop als wichtig erachtet, um mit der Problematik des Risikos von Nanopartikeln umzugehen:

- a) Notwendig sind die Definition und Entwicklung von Methoden, die die Risiken, die der Einsatz von Nanopartikeln mit sich bringt, untersuchen und einstufen können.

- b) Als wichtige Voraussetzung hierfür ist das eigentliche Erkennen und Wahrnehmen dieser Risiken essentiell.
- c) Notwendig ist eine systematische Einteilung der Nanopartikel in Bezug auf ihre biologischen und physikochemischen Eigenschaften, ihren Einsatz bzw. ihre Anwendungsgebiete, ihre Wechselwirkung mit anderen Molekülen und Materialien unter verschiedenen Bedingungen, ihre Halbwertszeit, ihr Verhalten im menschlichen Körper, in anderen Lebewesen sowie in der Umwelt und ihre Toxizität (beispielsweise auch in Langzeituntersuchungen auf Fruchtbarkeit).

In der Diskussion wurde des Weiteren festgestellt, dass derzeit die Chancen der Nanotechnologie ihre Risiken bei weitem überwiegen, insbesondere bei der Krebstherapie oder anderen medizinischen Anwendungen. Diese Chancen könnten jedoch nur gewahrt werden, wenn man sich der Risikodebatte mit allen zur Verfügung stehenden Mitteln stellt. Eine Balance zwischen stringenter Produktentwicklung und effizienter Risikoforschung schien insbesondere aus Sicht der Wirtschaft essentiell. Dieser Balance steht die derzeitige Finanzierungssituation im Bereich der nanotechnologischen Forschung entgegen. So werden derzeit offenbar nur ca. 5 % der zur Verfügung stehenden Mittel in die Risikoforschung gegeben, 95 % werden hingegen in der Technologieentwicklung eingesetzt.

Der vierte und letzte Fokus der Diskussion befasste sich mit der Frage, welche Maßnahmen man ergreifen könnte, um die Glaubwürdigkeit der Wissenschaft in Bezug auf Nanotechnologie für Bürgerinnen und Bürger zu verbessern. Folgende Punkte wurden hierbei herausgearbeitet:

- Am Beispiel von Leuchtturmprojekten könnte die Entwicklung eines Produktes im Detail dargestellt werden. Wenn solche Prozesse transparent gemacht werden, sind auch die Bürger vollständig aufgeklärt, was die Glaubwürdigkeit der Wissenschaftler erhöht.
- Aufklärung zum Thema Nanotechnologien in der Schule.
- Das Abhalten von wissenschaftlichen Foren in der Öffentlichkeit, das Erstellen und Verteilen von Broschüren.
- Klare Gegenüberstellung von Chancen und Risiken der Nanotechnologie.
- Das Publikmachen auch von internationalen Aktivitäten und Projekten im Bereich der Nanotechnologie.
- Vermitteln der Chancen der Nanotechnologie durch die Kunst, wie beispielsweise Performance, Musik oder Ausstellungen.

Gerade an diesen Schnittstellen zwischen Wissenschaft und Gesellschaft gibt es also für die Wissenschaftsakademien eine Fülle möglicher Aufgaben. Gleichzeitig könnten die Akademien aber auch zum systematischen Sammeln von Daten zu Nanopartikeln, zum Einschätzen ihrer Risiken und ihres Verhaltens und damit zum Erstellen einer Nanoproduktdatenbank beitragen.

Prof. Dr. Katja BECKER
Biochemie und Molekularbiologie
Interdisziplinäres Forschungszentrum
Justus-Liebig-Universität Gießen
Heinrich-Buff-Ring 26–32
35392 Gießen
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 641 9939120
Fax: +49 641 9939129
E-Mail: katja.becker@uni-giessen.de

Ernährung

Hermann E. GAUB ML (München)

Biomoleküle sind Nano-Objekte, Verdauung zerkleinert die Nahrung bis in diese Längenskala, Mechanik (Kauen, Darm) bis in die Mikrometerskala, danach Enzymatik. Nahrungsmittel-Aufbereitung (garen) moderiert und / oder unterstützt diesen Prozess.

Zubereitung von Speisen verändert die nanoskaligen Eigenschaften der Nahrungsmittel (Protein-Denaturierung ↔ Dehydrierung der Kollagenfasern beim Garen). Die Kunst des Kochens ist seit Jahrtausenden praktizierte Nahrungs-Nanotechnologie.

Aufschluss von Geschmacksstoffen durch Mikroemulsionen.

An jeder dieser Stellen kann Einfluss genommen werden! Zum Guten oder zum Schlechten. Kontrolle makromolekularer Eigenschaften: *Molecular Cuisine*, Kolloide, Polyelektrolyte, Phasenübergänge Sol/Gel-Übergänge, *Mouth-Feeling*.

Verdauung: Nanoskalige „Häppchen“ an Biomolekülen (Proteine, Polysaccharide, Nucleinsäuren, Lipide) werden im Darmepithel gefiltert, aufgenommen, modifiziert und in den Blutkreislauf überführt.

Indirekte Effekte, Wechselwirkung der Nanopartikel mit der mikrobiellen Darmflora?

- Menschengemachte Nanomaterialien können potentiell diese Pfade in den Blutkreislauf nutzen, deshalb ist Vorsicht angemahnt!

Das Impulsreferat von Antje GROBE (vgl. ihren Beitrag in diesem Band) relativierte die Meldungen über Nanopartikel in Nahrungsmitteln; Siliziumoxidpartikel in Schokoguss und Ketchup sind mikroskalig.

Aus der Diskussion ergaben sich folgende drängenden Fragen und zusammenfassenden Statements:

- Gibt es eine Liste der Nanomaterialien, die in Lebensmitteln eingesetzt werden? Welche Verunreinigungen entstehen durch den Fertigungsprozess?
- Was ist über die medizinische Wirkung der Nanopartikel bekannt?

Um diese Fragen beantworten zu können, fehlen die grundlegenden Informationen. Deshalb die Forderung an Wissenschaft und Förderinstitutionen:

- Adäquate Analysen-Methoden entwickeln und einsetzen!
- Sinnvolle Überwachung wird erst damit möglich.

Herausforderungen für die Forschung:

- Quantitativer Nachweis von Nanopartikeln im Organismus extrem schwierig;
- Charakterisierung der Partikel nicht trivial;
- Modifikation der Nanopartikel durch Wechselwirkung mit Biomolekülen (Lipid/Proteinadsorption);
- katalytische Aktivität und deren Modulation durch Adsorbatmoleküle;
- Membrangängigkeit der Nanopartikel / aktive Resorption, Endozytose;

- intrazellulärer Transport;
- Migration im Gewebe.

Die Diskussion hinterfragte Notwendigkeit und Wert von „Food Invention“ (Design von Textur, Geschmack und Aussehen neuer Lebensmittel).

- Natürlichkeit von Nahrung ist ein Erwartungswert: Wo liegt der Mehrwert von Lebensmitteln mit Nanomaterialien für den Endverbraucher?

Die Diskussion offenbarte zudem ein weitverbreitetes Defizit in der Definition von Nanomaterialien, insbesondere hin zu den weichen Materialien (Mizellen, Inkapsulation von Geschmacksstoffen):

- Begriffsklärung wäre hilfreich organische/anorganische/mineralische/metallische Nanopartikel.
- Defizit in Technologiekenntnis führt zu Misstrauen: Mehr Bildung und Aufklärung! Das Deutsche Museum wird hier ermutigt, sich weiterhin zu engagieren!

Prof. Dr. Hermann E. GAUB
Lehrstuhl für Angewandte Physik
Biophysik und molekulare Materialien
Amalienstraße 54
80799 München
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 89 21803172
Fax: +49 89 21803172
E-Mail: gaub@physik.uni-muenchen.de

Kosmetik

Harald FUCHS ML (Münster)

Ein Impulsreferat wurde gehalten von Alexandra CATERBOW, „Women in Europe for a Common Future“ (vgl. Beitrag in diesem Band).

Wesentliche Aussagen der Diskussion:

- Fortschritt und hohes Technologiepotenzial durch Nanotechnologie, jedoch hohes Gefahrenpotenzial durch noch weitgehend unerforschte Langzeitwirkungen von Nanoteilchen auf menschlichen Organismus, beispielsweise in Kosmetik, Nahrungsmitteln, aber auch in Textilien und in der Umwelt.
- Mögliche (Maximal-)Konsequenz: Verbot aller nanoskaligen Systeme, bis alle potenziellen Gefahrenmomente erforscht sind.
- Es folgte eine intensive Diskussion der Vor- und Nachteile im Plenum.
- Industrievertreter führen an, dass z. B. TiO₂-Nanotechnologien nachweislich keine Schädigungen hervorgerufen haben.
- Vertreter der Forschung führen an, dass zur Beurteilung möglicher Gefahrenquellen eine intensive Forschung an Nanotechnologie-Systemen unerlässlich ist und ein Moratorium auch die Beurteilung natürlicher Nanotechnologie-Systeme ausschließen würde (Umwelteinflüsse). Darüber hinaus ist den Beteiligten aus Forschung und Industrie bewusst, dass jegliche Verharmlosung potenzieller Gefahren, wie dies in anderen Technologiefeldern geschehen ist, durch intensive öffentliche Auseinandersetzung mit den Forschungsergebnissen sowie den technischen Vor- und Nachteilen jeweils diskutiert werden muss, bevor eine Breitenanwendung erfolgt.

Konsens ergab sich vor allem in diesem letzten Punkt.

Prof. Dr. Harald E. FUCHS
Westfälische Wilhelms-Universität
Physikalisches Institut
Wilhelm-Klemm-Straße 10
48149 Münster
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 251 8333621
Fax: +49 251 8333602
E-Mail: fuchsh@uni-muenster.de

Programm

Nano im Körper Chancen, Risiken und gesellschaftlicher Dialog zur Nanotechnologie in Medizin, Ernährung und Kosmetik

9. November 2010, 10:30–17:00

	Referenten	Titel
10:30 Beginn	Günter STOCK Präsident Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften	Begrüßung
	Wolfgang HEUBISCH Bayerischer Staatsminister für Wissenschaft, Forschung und Kunst	Grußwort
	Wolfgang HECKL Deutsches Museum, Technische Universität München / acatech	Einführung
10:50 Panel 1	Andreas JORDAN MagForce Nanotechnologies AG	Ein neues Nanomedizin-Produkt vor der Markteinführung: Thermo- therapie mit magnetischen Nano- partikeln
	Hannelore DANIEL ML Technische Universität München / Leopoldina	Nano in Lebensmitteln – ein Feld der kognitiven Dissonanz
	Rüdiger IDEN nanid scientific consulting /acatech	Nanomaterialien für Kosmetikan- wendungen
11:20 Panel 2	Jürgen THIER-KUNDKE Bundesinstitut für Risikobewertung	Risikobewertung, Risikowahrneh- mung und Risikokommunikation der Nanotechnologie aus der Sicht des gesundheitlichen Verbraucherschutzes

Programm

	Referenten	Titel
	Ortwin RENN Universität Stuttgart / acatech, BBAW	Zukunft braucht Dialog – Dialog schafft Zukunft
	Christian GRUGEL Bundesministerium für Ernährung Landwirtschaft und Verbraucherschutz	Reaktion auf die Vorträge des Vormittags
12:00	Thomas VILGIS Max-Planck-Institut für Polymer- forschung, Mainz	Molekulargastronomische Lecker- bissen: Nano im Buffet?
12:15	Mittagspause	Buffet, Ausstellungsbegehung
13:30	Panel 3 Gerhard SCHMID Munich Re	Das Risikoprofil der Nanotechno- logie aus Sicht der Munich Re
	Monika BÜNING Verbraucherzentrale Bundes- verband e. V.	Nano in Verbraucherprodukten? Verbraucherpolitische Forderungen und Erwartungen
	Sarah HÄUSER Bund für Umwelt und Naturschutz	Auf eigene Gefahr – Nano in Verbraucherprodukten
	Wolf-Michael CATENHUSEN NanoKommission	Ziele, Arbeitsweise und Ergebnisse der NanoKommission
14:30	Workshops	
	Medizin	
	Thomas SCHMITZ-RODE RWTH Aachen / acatech	Impulsvortrag: Nanotechnologie pro Gesundheit: Technologievorschau im Rückblick
	Katja BECKER ML Biochemie und Molekularbiologie Interdisziplinäres Forschungszentrum Gießen	Rapporteur

Referenten

Titel

Ernährung

Antje GROBE
Stiftung Risiko-Dialog /
Universität Stuttgart

Impulsvortrag:
Risikobewertung und Risikowahr-
nehmung von Nanotechnologien:
Lebensmittel im Fokus der öffent-
lichen Debatte

Hermann E. GAUB ML
Universität München

Rapporteur

Kosmetik

Alexandra CATERBOW
Women in Europe for a Common
Future

Impulsvortrag:
Nano in Kosmetik – eine Gefahr?

Harald FUCHS ML
Westfälische Wilhelms-Universität
Münster

Rapporteur

15:30 Kaffeepause

16:00 Vorstellung der Ergebnisse im Plenum,
Plenum-Diskussion

Herbert GLEITER ML
Leopoldina

Schlusswort

Gesamtmoderation:
Wolfgang M. HECKL

17:00 Ende



ISSN: 0369-5034

ISBN: 978-3-8047-3058-8