



# Kurzfassungen

## Nanotechnologie – Chancen und Risiken

### **Eine Herausforderung für den Arbeitsschutz**

KKL Luzern, Schweiz  
4. und 5. Oktober 2010



Dr. Denis Bemer, INRS Nancy

## **Filtrierung von Nanoaerosolen**

Die Notwendigkeit einer von den Partikeln freien Luft ist für viele von industriellen Verfahren erforderlich. Die Filtration der Luft setzt sich folglich auf verschiedenen Stufen zusammen, um Personen zu schützen und bestimmte Herstellungsverfahren zu ermöglichen. Angesichts der rasanten Entwicklung der Nanotechnologie und einer möglichen Toxizität der Nanopartikel stellt sich die Frage nach der Leistungsfähigkeit von Faserfiltern wenn die Partikelgröße nur noch im Bereich von wenigen Nanometern liegt. Eine Studie wurde durchgeführt, um die Hypothese eines Rückganges der Wirksamkeit der Filter - theoretisch zu erwarten - gegenüber Nanopartikeln zu untersuchen. Zurzeit konnte im Rahmen dieser Studie bei keinem Filtertyp und bei keinen der getesteten Partikeln eine durch thermischen Rückprall-Effekt bedingte Leistungssenkung für Partikelgrößen über 3 nm beobachtet werden.

Dr. Markus Berges, IFA St. Augustin

## Exposition am Arbeitsplatz 2

Im Rahmen des europäischen NANOSH-Projekts wurde bis ins Einzelne versucht, Aerosole am Arbeitsplatz zu ermitteln. Dazu gehörte auch die Entwicklung einer Probenahmestrategie als erster Schritt in Verbindung mit strukturierten Beobachtungen und der Erfassung von Aktivitäts-Zeit-Mustern, Belüftungsbedingungen und der Sammlung kontextbezogener Informationen. Die Messungen umfassten die gesamte Gerätepalette, einschließlich eines Spektrometers (Mobility Particle Sizer), von Kondensationskernzählern, eines mehrstufigen Niederdruckimpaktors und einer Diffusionsbatterie (Diffusion Charger), die sich jeweils am Arbeitsplatz befanden. Gleichzeitig wurden in der Umgebung zu Vergleichszwecken Hintergrundmessungen durchgeführt. Neben den Online-Messungen wurden auch Aerosolproben genommen, sowohl mit ortsfesten Geräten, wie z.B. Elektrofiltern und personenbezogenen Probenahmepumpen, die außerdem mit einem speziell entwickelten Filter ausgerüstet waren, der im Hinblick auf eine Off-line-Analyse zur Charakterisierung und Identifizierung ein TEM-Grid umfasste. Bei der Manipulation mehrwandiger Kohlenstoff-Nanoröhren in Pulverform schienen unter Laborbedingungen keine Einzelröhren freigesetzt zu werden. Bei einer Leckage während der Herstellung von nanoskaligem  $\text{TiO}_2$  ließen sich einzelne Primärpartikel nachweisen. Beim Vergießen von nanoskaligem  $\text{TiO}_2$  zur Farbenherstellung wurden Partikel freigesetzt, doch war kein Unterschied gegenüber dem Umgang mit Mikrometergroßem Material zu verzeichnen. Eine TEM-Analyse ergab keinen Hinweis auf einzelne Nanopartikel. Das Sieben, Trocknen und Vergießen von nanoskaligem  $\text{ZnO}$  ergab Partikelkonzentrationen von weniger als 100 nm, doch ist die Herkunft im Hinblick auf Umgebungsquellen wie Motoremissionen und andere Prozesse zu überprüfen. Außerdem wird ebenso eine Analyse der Aktivitätsperioden im Vergleich mit nicht aktiven Zeiträumen wie eine TEM-Analyse berücksichtigt, um Belege für luftgetragene Nanopartikel zu finden.

Berges, M.<sup>1</sup>, Möhlmann, C.<sup>1</sup>, Pelzer, J.<sup>1</sup>, Bard, D.<sup>2</sup>, Mark, D.<sup>2</sup>, Brouwer, D.<sup>3</sup>, Stuurman, B.<sup>3</sup>, Jankowska, E.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>IFA-Institut für Arbeitsschutz, Sankt Augustin, Deutschland

<sup>2</sup>Health and Safety Laboratory, Harpur Hill, Buxton, Vereinigtes Königreich

<sup>3</sup>TNO Quality of Life, Zeist, Niederlande

<sup>4</sup>Zentralinstitut für Arbeitsschutz – Staatliches Forschungsinstitut, Warschau, Polen

Danksagung: Das NANOSH-Projekt wird über das EU-FP 6-Programm unterstützt (Vertrag NMP4-CT-2006-032777).

Daniel Bernard

## **Leitfaden für gute Praxis Nanomaterialien und GSU**

Die Gestaltung und Fertigung von Nanomaterialien basiert auf der Chemie, wobei deren Entwicklung im Rahmen der kontinuierlichen Ausarbeitung innovativer, immer leistungsfähiger werdender und neue Funktionen umfassender Materialien zu sehen ist. Durch ihre Tätigkeiten im Bereich der Forschung, der Entwicklung, der Produktion, der Anwendung und der Verarbeitung ist die chemische Industrie von sämtlichen Etappen der Entwicklung und des Einsatzes von Nanomaterialien unmittelbar betroffen.

Die chemische Industrie ist im Sinne einer optimalen Risikobeherrschung mit der Anwendung von Präventions- und Sicherheitspolitiken vertraut, und dies sowohl im Rahmen der Konzeption ihrer Produkte und Verfahren als auch bei dem Bau und dem Betrieb ihrer Anlagen.

Diese Politik gilt somit selbstverständlich für die Entwicklung der Nanomaterialien und führt zur Anwendung von Verfahren, die das zur Verfügung stehende Know-how, aber auch die Ungewissheit im Bereich ihrer Gefahren und Risiken berücksichtigt. Die betroffenen Industriebetriebe müssen die gesetzlichen Bestimmungen und Verwaltungsvorschriften beachten, insbesondere die des französischen Arbeitsgesetzbuches in Bezug auf die chemischen Stoffe, die die Risikobewertung und das Management sowie die Beherrschung der Sicherheits- und Gesundheitsrisiken für die Beschäftigten fordern.

Um die chemischen Industriebetriebe über die wissenschaftlichen sowie technischen Hinweise und die geltenden Verwaltungsvorschriften zu informieren, die für die Risikobewertung bzw. das Risikomanagement der Nanomaterialien, insbesondere für die « nanopartikulären Materialien » erforderlich sind, hat der französische Verband der Chemischen Industrie (UIC) im Anschluss an das Programm « Responsible Care® », einen Leitfaden für gute Praxis im Bereich der Produktion und der Entwicklung der Nanomaterialien erarbeitet. Dieser Leitfaden, der im März 2009 zum ersten Mal veröffentlicht wurde, soll entsprechend dem neuesten Kenntnisstand regelmäßig überarbeitet werden, um eine Anpassung der Präventions- und Sicherheitsmittel seitens der Industriebetriebe zu gewährleisten. Vorliegendes Dokument berücksichtigt insbesondere die Empfehlungen des französischen Amtes für Gesundheitsschutz in der Umwelt und am Arbeitsplatz – AFSSET<sup>1</sup>. Ähnliche Leitfäden sind in anderen europäischen Ländern, wie in Deutschland vom VCI<sup>2</sup> erstellt worden. Der vorliegende Leitfaden beschäftigt sich hauptsächlich mit der Risikovorbeugung und der Sicherheit am Arbeitsplatz. Die aufgewandten Mittel sind stark vom chemischen Aufbau, den chemisch-physikalischen, toxikologischen und ökotoxikologischen Eigenschaften der betroffenen Nanomaterialien sowie der berücksichtigten

Expositionsszenarien abhängig. Das Management der Nebenprodukte, der nicht normgerechten Produkte sowie der Abfallstoffe muss ebenfalls berücksichtigt werden. Von der Produktion bis hin zum Ende des Lebenszyklus der Produkte, die Nanomaterialien enthalten, sind sukzessiv verschiedene Industrieakteure im Laufe der Wertschöpfungskette betroffen (Produktion, Formulierung, Verarbeitung, Formgebung, wie Bearbeitung und Montage, Weiterverarbeitung am Ende des Lebenszyklus/Recycling). Folglich ist der gesamte Lebenszyklus der Nanomaterialien im Verfahren der Risikobewertung zu berücksichtigen und zu analysieren.

Die chemische Industrie ist sich über die Herausforderungen und Entwicklungsmöglichkeiten der Nanomaterialien im Klaren. Um den Markt mit Produkten zu versorgen, die für den Verbraucher unschädlich sind, verfügt sie über die erforderlichen Kompetenzen zur nachhaltigen Entwicklung dieser Produkte bei gleichzeitiger Beachtung der Sicherheits- und Gesundheitsvorschriften gegenüber ihren Beschäftigten sowie der Risikobeherrschung was die Verbreitung und die Auswirkungen auf die Umwelt anbelangt.

*Berater des französischen Verbandes der Chemischen Industrie im Bereich der Nanotechnologien* Wissenschaftlicher Berater der Firma Arkema

<sup>1</sup> *Les nanomatériaux, sécurité au travail* AFSSET Juli 2008

<sup>2</sup> *Responsible Production and Use of Nanomaterials*, 11/03/2008, Verband der Chemischen Industrie/VCI, Guidance for handling and use of nanomaterials at the work place

Dr. Thomas Brock, BG RCI, Heidelberg

## **Schutzmaßnahmen in Forschung und Entwicklung mit Nanomaterialien**

Neue Nanomaterialien werden wie die meisten Substanzen in Laboratorien hergestellt. Die Entwicklung neuer Produkte startet im Labormaßstab. Wegen des Umstandes, dass der größere Teil dieser es nicht bis in den Markt schaffen, werden die sicherheitsrelevanten Eigenschaften dieser Nanomaterialien nicht ausführlich untersucht. Dies bedeutet, dass die Begrenzung der Exposition die vernünftige Maßnahme zur Beherrschung der Risiken in Laboratorien darstellt. In der Tat teilen sie damit das Schicksal der meisten neuen Substanzen. Da freie Nanoobjekte, zumindest solche am kleineren Ende des Längenmaßstabs, ein Verhalten zeigen, das eher dem von Gasen als dem von Stäuben ähnelt, sind die etablierten Prinzipien der Expositionsbegrenzung sehr effektiv, wenn sie sachgemäß eingesetzt werden. Sie sind ebenfalls effektiv bei den eher staubartigen Fraktionen. Eine neuere Studie zeigt, dass es eher ein Problem zu sein scheint, Forscher in Laboratorien davon zu überzeugen, die vernünftigen Maßnahmen zu ergreifen [1].

Beispiele für effektive Maßnahmen sind: Gefährdungsbeurteilung, nicht nur für das Nanomaterial (Toxizität, Brennbarkeit), sondern zum Beispiel auch unter Berücksichtigung der Edukte oder Lösemittel (Exposition so niedrig wie vernünftig erreichbar) Herstellung und Handhabung von Nanomaterialien in geschlossenen Systemen, gelöst oder suspendiert in Flüssigkeiten oder in einer Matrix eingeschlossen. Abzüge oder Laminar-Flow-Bänke (nota bene: HEPA-Filterung ist für Nanoobjekte wirksam, jedoch nicht für Substanzen mit Dampfdruck): Die sachgerechte Benutzung bestimmt die Wirksamkeit der Maßnahme (so darf man beispielsweise die Luftströmung im Inneren des Abzugs nicht mit großen Apparaten blockieren) Vermeiden von Hautkontakt (Hygiene, geeignete Handschuhe, Kleidung und Schuhe tragen – Augenschutz im Labor als selbstverständlich angesehen) Geeigneter Atemschutz, wenn Nanoobjekte in die Luft gelangen können

Das Befolgen kluger Sicherheitsgrundsätze im Laboratorium ist zwingend. Zu weiteren Details siehe [2].

[1 ] F. Balas, M. Arruebo, J. Urrutia, J. Santamaria, Nature Nanotechnology **5**, 93 – 96 (2010)

[2] DGUV (ed.): Guidelines for Laboratories: Working Safely in Laboratories (BGI/GUV-I 850-0e), Heidelberg 2009 (see also [www.guidelinesforlaboratories.de](http://www.guidelinesforlaboratories.de) and [www.laborrichtlinien.de](http://www.laborrichtlinien.de))

Prof. Vicki Colvin, Rice University, Houston

### **Intelligente Strategien für das sichere Design von Nanoobjekten**

Auf Nanotechnologie beruhende Systeme sind vielversprechend, was die Lösung schwieriger Umweltprobleme angeht – von der Wasserreinigung bis hin zur Abfallentsorgung. Diese Lösungen müssen nicht nur kosteneffektiv und nachhaltig, sondern auch für den Menschen und die Umwelt sicher sein. Unsere zunehmend besseren Kenntnisse über die Schnittstelle zwischen Nanomaterialien und biologischen Systemen verleihen uns die entscheidende Fähigkeit, die letztgenannte Frage schon frühzeitig bei der Entwicklung von Nanotechnologien anzugehen. In diesem Vortrag geht es recht detailliert darum, wie sich die chemischen und physikalischen Eigenschaften gefertigter Nanomaterialien auf ihre biologischen Effekte in Modellsystemen auswirken. Drei Fallstudien, die von Fullerenen bis hin zu Metalloxiden reichten, verdeutlichen die unendliche Vielfalt der Merkmale und der biologischen Reaktion der Nanomaterialien. Die Zusammensetzung eines Nanomaterials ist der primäre Faktor bei der Beschreibung akuter biologischer Wirkungen, und bei den verschiedenen Beispielen können die Ladung und die Oberflächenbeschichtung genauso wichtig sein. Interessanterweise ist die Größe des anorganischen Materials selbst – ein bei der Anwendungsentwicklung so wichtiger Aspekt – im Falle dieser drei Beispiele für die Beschreibung der akuten biologischen Wirkung der Materialien von sekundärer Bedeutung. In allen Fällen führen die biologischen und ökologischen Kompartimente der Nanomaterialien zu einer deutlichen Veränderung ihrer hydrodynamischen Größe und Ladung. Das so entstehende biomodifizierte Material ist das entscheidende Element, das es zu verstehen und zu charakterisieren gilt, um die grundlegenden Korrelationen zwischen der anorganischen Nanomaterialphase, ihrer Zusammensetzung und Größe und den biologischen Ergebnissen herzustellen. Diese Korrelationen bilden die Grundlage für Leitlinien, die es den Forschern erlauben, neue Nanopartikel zu schaffen und sich auf Materialien zu konzentrieren, die „konzeptionell sicher“ sind.

Dr. Stefan Engel, BASF SE, Hazardous Chemicals Management

## **Definition des Begriffs „gefertigte Nanomaterialien“ und messtechnische Unsicherheiten**

Gefertigte Nanomaterialien besitzen ein gewaltiges Potential – von der Lösung großer gesellschaftlicher Aufgaben bis hin zu praktischen Lösungen im Alltag.

Eine international vereinbarte, wissenschaftlich fundierte Definition gefertigter Nanomaterialien wird zurzeit kontrovers diskutiert und liegt noch nicht vor. Damit ist noch nicht entschieden, wodurch ein Material als Nanomaterial eingestuft werden kann. Wichtige Etappen in der laufenden Diskussion sind die von dem Technischen Komitee 229 der ISO veröffentlichte Terminologie (EN ISO TS 27687, 2008), Stellungnahmen des Wissenschaftlichen Ausschusses der EU „Neu auftretende und identifizierte Gesundheitsrisiken“ (SCENIHR, Stellungnahme 012, 2009), die rechtlich verbindliche Definition in der Neufassung der Kosmetika-Verordnung (1223/2009 EG) sowie der Konventionsvorschlag des Verbands der Deutschen Chemischen Industrie (VCI).

Die mit dem skizzierten Definitionsproblem verknüpfte Frage, wie gefertigte Nanomaterialien sachgerecht charakterisiert werden sollen, ist nicht entsprechend gelöst. Einen bahnbrechenden Weg könnte das OECD Guidance Manual (ENV/JM/MONO(2009)20) aufzeigen, das im Rahmen des umfassenden Prüfprogramms der OECD für gefertigte Nanomaterialien erstellt wurde. Im Wesentlichen werden die meisten dieser Parameter auch im Anhang R7 der REACH-Verordnung beschrieben. Bei den laufenden REACH-Umsetzungsprojekten zu Nanomaterialien wird gegenwärtig geprüft, ob der technische Leitfaden möglicherweise angepasst werden muss, um speziell die Eigenschaften von Nanomaterialien zu berücksichtigen.

In dem Vortrag soll ein Überblick über den derzeitigen Stand der Definition von Nanomaterialien mit den entsprechenden Folgewirkungen gegeben und Ihnen ein Eindruck von dem Umfang und den Begrenzungen der verfügbaren Analysemethoden vermittelt werden.

Robert Falkner

## **Regulierung von Nanomaterialien**

Im Laufe der letzten zehn Jahre haben sich die führenden Nanotechnologie-Länder bemüht, Risikoregulierung für Nanotechnologien zu erarbeiten, aber sie haben feststellen müssen, dass Information nur bedingt vorhanden sind. Die Regulierung von Nanotechnologien wird durch einen hohen Grad von wissenschaftlichen Datenlücken, der Unkenntnis über Umwelt- und Gesundheitsgefahren und über der kommerziellen Anwendung von Nanotechnologie-Entwicklungen in der Weltwirtschaft geprägt. Die Präsentation gibt einen Überblick über die sich abzeichnende Regulierungen für Nanotechnologien der führenden Industrieländern und auf internationaler Ebene. In einem ersten Schritt identifiziert sie die wichtigsten Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen europäischen und US-Regulierungsansätze und untersucht das Potenzial für die regulatorische Konvergenz und Divergenz im transatlantischen Kontext. In einem zweiten Schritt sollte die international Koordination und Kooperation verbessert werden, mit dem Ziel die "Best Practices" zu etablieren und nationalen Lücken zu identifizieren.

Dr. Martin Fierz, Fachhochschule Nordwestschweiz, Windisch

### **Methoden zur quantitativen Bestimmung von Nanopartikeln (u. a. tragbares Messgerät)**

Viele der heute erhältlichen Standardmessgeräte für Nanopartikel in der Luft sind gross, schwer und teuer, brauchen Netzstrom und sind von Laien nicht bedienbar. Langsam setzt sich die Erkenntnis durch, dass es für Arbeitsplatzmessungen einfachere Methoden braucht - mindestens für eine erste Abklärung der Luftqualität - und verschiedene Hersteller bieten nun einfachere Geräte an. Ich werde einige dieser Geräte kurz vorstellen, wobei ich mich auf Geräte beschränke die batteriebetrieben und genügend klein sind, dass damit auch eine personengetragene Messung durchgeführt werden kann. Dies sind zur Zeit Lichtstreuungsmessgeräte, micro-Aethalometer, portables TEOM sowie zwei von uns an der FHNW entwickelte Geräte, die elektrische Diffusionsbatterie und der mini-Diffusion Size Classifier (mini-DiSC).



Dr. Eric Gaffet, Nanomaterials Research Group/CNRS, Belfort

## **Synthese von Nanomaterialien/ Nanopartikeln**

Seit den 80er Jahren sind durch zahlreiche wissenschaftliche Untersuchungen nachgewiesen worden, dass Nanoteilchen im Vergleich zu mikrostrukturierten Partikeln andere chemisch-physikalische Eigenschaften besitzen.

Die in Form von Pulver, Überzügen oder auch als Massivkörper vorliegenden Nanomaterialien bestehen aus Kristalliten, die eine Größe von unter 100 nm aufweisen. Im Vergleich zu herkömmlichen Materialien besitzen sie einen nicht zu vernachlässigenden Anteil an Korngrenzen. Der Volumenanteil kann zum Beispiel bei 10 nm großen Kristalliten 20 % erreichen, bei einer Dickenabmessung der Korngrenze von 0,7 nm.

Für die Herstellung der nanostrukturierten Materialien verfügt man über eine ausgesprochen breite Palette an physikalischen, chemischen und mechanischen Methoden. Hierzu zählt in der Hauptsache die mechanische Synthese.

Im Rahmen dieses Vortrags werden die verschiedenen Methoden zur Herstellung von pulverförmigen und/oder massiven nanokristallinen Materialien besprochen. Ferner erfolgt eine Beschreibung ihrer durch den Nano-Maßstab erzielten spezifischen Eigenschaften.

Dr. André Gazso, Österreichische Akademie der Wissenschaften, Institut für Technikfolgen-Abschätzung, Wien

## **Verwendung von Nanomaterialien in der Produktherstellung**

Nanotechnologien werden seit längerem als vielversprechender Bereich in Forschung und Entwicklung gehandelt. Entsprechend hohe Erwartungen setzt man in deren Anwendung. Bisher jedoch haben Sicherheits- und Risikoaspekte nicht ausreichend systematisch untersucht, um entsprechend belastbare und wissenschaftlich fundierte Aussagen über etwaige Gefahrenaspekte machen zu können. Gleichzeitig werden jedoch bereits von mancher Seite massive Bedenken gegen die Anwendung von Nanotechnologien und Nanomaterialien in Konsumprodukten geäußert. Gerade vor dem Hintergrund der eher unglücklich verlaufenen Debatte über die Biotechnologie ist eine wissenschaftlich entsprechend gut fundierte Politik gefordert. Die Europäische Kommission hat im Jahr 2005 einen Aktionsplan für Nanotechnologie verabschiedet, in dem sie eine "sichere, integrierte und verantwortliche" Strategie zur Forschung und Entwicklung im Bereich Nanotechnologien fordert und entsprechende Maßnahmen zu deren Umsetzung vorschlägt. Viele der nachfolgenden nationalen Nanotechnologie-Aktionspläne, so auch der aktuelle österreichische NAP vom März 2010, empfehlen koordinierte Maßnahmen v.a. in zwei Bereichen, nämlich (1) die verstärkte Förderung der Erforschung möglicher Auswirkungen der Nanotechnologien bzw. Nanomaterialien (v.a. Partikel) auf die menschliche Gesundheit, die Umwelt und andere sicherheitsrelevante Aspekte. (2) soll Risikokommunikation an wissenschaftlich zuverlässiger Information orientiert werden, um eine informierte öffentliche Debatte zu ermöglichen. Das ist umso notwendiger als Nanotechnologien – im Gegensatz zu anderen Technologien – kein homogenes Feld darstellen und daher spezielle Anforderung an die Diskussion stellen. Zum ersten ist der Begriff "Nanotechnologie" unklar, v.a. deshalb, weil eine entsprechend allgemein verbindliche Definition dazu noch fehlt, wenn es auch einige mittlerweile gebräuchliche Definitionsversuche gibt. Dennoch ist die Verwendung verschiedener Definitionen verwirrend und behindert eine entsprechend sorgfältige öffentliche Debatte statt sie zu fördern. Zu dem Mangel an Klarheit hinsichtlich des Begriffs trägt auch bei, dass im Zusammenhang mit Nanotechnologien eine Vielzahl an möglichen Anwendungen und Bezugnahmen diskutiert wird, auch solche, die bislang nicht in dieses Feld gehört hatten. Natürlich ist Nanotechnologie als solche auch interdisziplinär, sodass schon die Vielzahl beteiligter Wissenschaftsfelder eine klare Abgrenzung und Kategorisierung verhindert. Das zweite Problem, das sich stellt, ist die wachsende Diskrepanz zwischen dem verfügbaren Wissen über die Technologie selbst und dem Wissen über ihre möglichen Folgeerscheinungen. Erschwerend kommt noch hinzu, dass etwaige Entwicklungshorizonte nur sehr unscharf oder überhaupt nicht kommuniziert werden. Die wichtigste Anforderung ist jedoch, dass das öffentliche Interesse an seriöser Information über Nanotechnologien und deren Anwendungsfolgen stark zunimmt, während jedoch entsprechende Angebote noch sehr unvollkommen sind.

Aus diesem Grunde hat das Institut für Technikfolgen-Abschätzung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (ITA) im Jahre 2007 das Projekt "NanoTrust" gestartet, das vom Österreichischen Ministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BM:VIT) gefördert wird. Das Projekt wird mindestens bis 2013 laufen. Da der Fokus des Projekts auf möglichen Gesundheits-, Umwelt- und Sicherheitsaspekten der Nanotechnologien liegt, ist

das Team entsprechend interdisziplinär zusammengesetzt (Biologie, Physik, Jurisprudenz, Technikfolgen-Abschätzung).

Die Hauptaufgaben dieses Forschungsprojekts sind es (1) den aktuellen Wissensstand zu möglichen Gesundheits- und Umweltrisiken zu erheben, zu analysieren und zusammen zu fassen und (2) diese Informationen der interessierten Öffentlichkeit zur Verfügung zu stellen. Daraus ergeben sich bestimmte Aktivitäten, wie etwa

- die kontinuierliche Erarbeitung und Publikation spezieller Dokumente (Dossiers) zu speziellen Teilfragen des Forschungsgebiets
- die Organisation von Konferenzen und Workshops zu diesen Sachgebieten, wie etwa Lebensmittelproduktion, Konsumentenschutz, Risikomanagement
- der Aufbau eines entsprechenden nationalen und internationalen Netzwerks von Fachleuten zu diesen Themen

Alle Erhebungen und Diskussion zu möglichen Anwendungen und Produkten im Zusammenhang mit Nanotechnologien sind vor dem oben beschriebenen Hintergrund der gleichzeitig mangelnden Aussageschärfe und dem stetig wachsenden Informationsbedürfnis zu bewerten. Umso wichtiger ist es daher, in diesen Fragen einen möglichst regen und intensiven Wissensaustausch zu pflegen.

*NanoTrust – Ein Beitrag zur öffentlichen Debatte zu Nanotechnologien und deren möglichen Anwendungen*

Project homepage: <http://nanotrust.ac.at>

Alexander Graff, ÖSBS Leoben

### **Exposition am Arbeitsplatz 1 (Messung ultrafeiner (Nano-) Partikeln am Arbeitsplatz)**

Neben den Vorteilen, welche die Nanotechnologie unter anderem in Bezug auf neue Materialeigenschaften bietet, ist im Hinblick auf den Arbeitnehmerschutz Vorsicht geboten. Abgesehen von Forschungsergebnissen und epidemiologischen Studien über gesundheitliche Auswirkungen von ultrafeinen Aerosolteilchen ist die Datenlage im Bereich der Nanotechnologie über die gesundheitsrelevanten Aspekte der Exposition von Partikel < 100 nm zur Zeit noch unzureichend.

Die Österreichische Staub-(Silikose)-Bekämpfungsstelle (ÖSBS) befasst sich seit über 60 Jahren in Österreich mit der Messung und Beurteilung von Stäuben bzw. Staubinhaltsstoffen und Fasern am Arbeitsplatz. Neben der Ermittlung inhalativer Schadstoffkonzentrationen bei Tätigkeitsprozessen in der Arbeitswelt fokussiert sich nun das Interesse auf Partikel im submikronen Bereich. Ob es sich nun um ultrafeine Aerosolteilchen (z. B. Schweißrauch, Verbrennungspartikel aus Dieselmotoren, etc.) oder um Partikel im Zuge von Herstellungsprozessen in der Nanotechnologie handelt, spielt für die Messung der Teilchenkonzentrationen und der Beurteilung des Partikelkollektivs keine Rolle. Im Folgenden werden einige Beispiele von Expositionsmessungen, wie sie in der Praxis in den vergangenen Jahren stattgefunden haben, dargestellt und besprochen.

Yves Guichard, *INRS, Forschungszentrum Lothringen*

### ***In-vitro* zytotoxische und gentoxische Auswirkungen der Metalloxid-Nanopartikel**

Die toxikologischen Eigenschaften der Nanopartikel (Partikel mit einer Abmessung von unter 100 nm) könnten sich sehr wohl von denen der Partikel mit größeren Abmessungen unterscheiden, insbesondere aufgrund der Bedeutung der vorhandenen Reaktionsflächen. Ein besseres Verständnis der toxikologischen Besonderheit von nanoskaligen Teilchen könnte zweifelsohne zu einer genaueren Risikobeurteilung bei der Exposition am Arbeitsplatz beitragen. Mit diesem Ziel vor Augen haben wir uns im Rahmen unserer Untersuchungen besonders für die *in-vitro* zytotoxischen und gentoxischen Auswirkungen der Metalloxid-Nanopartikel interessiert. Laut Fachliteratur besitzen die freien Radikale dieser Teilchen eine starke Aktivität mit verschiedenen zytotoxischen Auswirkungen, wie dem intrazellulären oxidativen Stress. Die zur Verfügung stehenden Informationen hinsichtlich der gentoxischen Eigenschaften der Metalloxid-Nanopartikel sind derzeit unzureichend und widersprüchlich. Unsere Untersuchungen beschäftigen sich mit den zytotoxischen (Hemmung des Zellenwachstums und intrazelluläre Generierung von reaktiven Sauerstoffspezies) und gentoxischen Auswirkungen (Bildung von Mikrokernen und Auslösung einer DNS-Beschädigung) von Titandioxid- ( $\text{TiO}_2$ ) und Eisenoxid-Partikeln. Synthetisch hergestellte nanoskalige bzw. submikrometrische Proben der Modifikationen des Titandioxids, Anatas und Rutil, sowie die Eisenoxide  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  und  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , wurden im Rahmen von *in-vitro*-Tests an Embryozellen des Syrischen Goldhamsters getestet. Die physikalisch-chemischen Eigenschaften der Proben (chemische Zusammensetzung und Struktur, Größe und spezifische Oberfläche) wurden analysiert. Die Aktivität der freien Radikale der Teilchen wurde ebenfalls ausserhalb der Zelle untersucht. Die Ergebnisse haben klar und deutlich gezeigt, dass nanoskalige Partikel im Vergleich zu den entsprechenden mikrometrischen Partikeln eine stärkere Hemmwirkung auf das Zellenwachstum haben (mit Ausnahme des Eisenoxids  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). Im Falle der Modifikationen des Titandioxids, Anatas und Rutil, hingen die Unterschiede bei der zytotoxischen Auswirkung mit der Aktivität der freien Radikale der Partikel zusammen. Die intrazelluläre Generierung von reaktiven Sauerstoffspezies war im Falle der nanoskaligen  $\text{TiO}_2$  Modifikation Anatas und des Eisenoxids  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ebenfalls ausgeprägter. Hingegen hatte die Partikelgröße keinen eindeutigen Einfluß auf den gentoxischen Effekt.

Dr. Bertrand Honnert, INRS Nancy

## **Herstellung und Einsatz von Nanomaterialien in Frankreich**

Vorliegende Abhandlung erörtert eine sektorielle Studie zur Herstellung und Verwendung von Nanoobjekten, die in verschiedenen industriellen Prozessen hergestellt werden. Das Ziel dieser Studie ist die vollständige Bestimmung der Typen der beteiligten Nanoobjekte, deren jeweiligen Mengen und die Ermittlung der Anzahl der potentiell betroffene Mitarbeiter. Im Rahmen der Studie werden folgende drei Phasen unterschieden: die Vorbereitungsphase, die Pilotphase und die Produktionsphase.

Die Vorbereitungsphase bestand in der Informationsbeschaffung durch:

- der Betriebe Erstellung einer Literaturübersicht
- Internetrecherche
- Besichtigung

Mit ihr konnten die wichtigsten Nanoobjekte ermittelt werden.

Zu diesen gehörten:

- Titandioxid,
- Industrieruß,
- Siliziumdioxid,
- Aluminiumoxid.

Ferner wurden auch Nanoobjekte erfasst, die aufgrund ihrer Tonnage von zweitrangiger Bedeutung sind, wie zum Beispiel Selten Erden, Kohlenstoff-Nanoröhren oder Nano-Ton.

Die Anzahl der Arbeitnehmer, die potentiell in der Produktionsphase diesen Nanopartikeln ausgesetzt sind, wird auf 2000 bis 4000 Personen geschätzt.

Um den Untersuchungsansatz weiter zu detaillieren, ist eine Pilotphase in den Branchen der Chemie, der Farben-, Druckfarben- und Lackherstellung, sowie in der Kunststoffindustrie durchgeführt worden.

Sie bestand aus dem Versand eines Fragebogens, der von den 1 048 Betrieben, die zu den o.g. Branchen gehören, auszufüllen war.

Beruhend auf einer 47%-Beantwortungsrate bestätigte es den Überblick über die Produktion und die Verwendung von Nanoobjekten, die während der Vorbereitungsphase ermittelt wurden, und ergänzt um folgende Nanopartikel. Weiterhin wurden Eisen- und Zinkoxyde und Kalzium-Karbonat ermittelt.

Vierzehn Betriebe haben die Absicht, Nanoobjekte in der Zukunft zu verwenden, in der Hauptsache Titandioxid und Kohlenstoff-Nanoröhren. Weiterhin zeigt diese Pilotstudie die Schwierigkeiten auf, die die betroffenen Betriebe bei der Einstufung und Kennzeichnung der Nanoobjekte auf der Basis der ihnen zur Verfügung stehenden Informationsquellen (Sicherheitsdatenblätter und Technische Datenblätter) haben.

Prof. Dr. Harald Krug, EMPA, St. Gallen

### **Toxikologische Prinzipien bei Nanoobjekten, speziell Nanopartikeln und –fasern**

Längst haben „Nanotechnologie-Produkte“ den Markt erobert, nicht nur in der industriellen Anwendung, sondern auch in verbrauchernahen Bereichen (Krug 2008). Man findet sie in Supermärkten, an Tankstellen, in Bekleidungshäusern. Viele zusätzliche Einsatzgebiete gibt es im medizinischen Bereich, aber auch andere Gebiete werden gerade erschlossen.

In diesem schnell wachsenden Umfeld neuer Produkte und Einsatzmöglichkeiten sehen sowohl Verbraucher als auch weitere gesellschaftliche Gruppen einen massiven Anstieg auch bei den möglichen gesundheitlichen Risiken. Deshalb muss die Frage erlaubt sein, inwieweit mögliche mit der Nutzung neuer Nanomaterialien auftretende negative Effekte gesellschaftlich akzeptabel sind.

Um mögliche Risiken von Nanomaterialien zu erfassen und abzuwägen, muss man verstehen, was das Besondere an den Nanoobjekten ist. Dazu sollen drei Prinzipien vorgestellt werden, die grundlegend für die möglichen biologischen Auswirkungen von Nanoobjekten sind. Dabei geht es um den erleichterten Transport durch Gewebebarrieren, die erheblich vergrösserte Oberfläche im Vergleich zu ihrem Volumen und den Einfluss der verschiedenen Materialien, aus denen Nanoobjekte produziert werden können. Alle drei Prinzipien haben einen direkten Bezug zur möglichen Toxizität der Nanoobjekte und an Beispielen sollen sie erläutert werden. Das Verständnis der biologischen Aktivität ist eine wichtige Voraussetzung für die zukünftige Anwendung und die Akzeptanz dieser neuen Materialien, die doch zur möglichen Lösung so vieler Probleme beitragen könnten.

Literatur:

Krug HF (2008): Nanotechnologie - Zwerge erobern den Alltag. Chemie Ingenieur Technik 80, 1653-1660.

Krug HF und Wick P (2010) Nanotoxikologie – eine interdisziplinäre Herausforderung. eingereicht bei: Angewandte Chemie



**Prof. Dr. Harald F. Krug**

Leiter des Departments „*Materials meet Life*“ und Mitglied des Direktoriums der Empa (St. Gallen). Promotion an der Universität Göttingen, Postdoc an der GSF München und danach das Forschungszentrum Karlsruhe sind wichtige Stationen seiner Forscherkarriere. Die Habilitation an der Universität Karlsruhe und aktuell die Titularprofessur für Toxikologie an der Universität Bern bilden den akademischen Teil. Als Sprecher des NanoCare Konsortiums (2006-2009), Arbeitspaketleiter in mehreren europäischen Projekten und Mitglied der *DECHEMA Arbeitsgruppe "Responsible production and use of nanomaterials"* sowie als *Nano-Botschafter am "Deutschen Museum München"* ist er intensiv mit den Problemen der Nanotechnologie vertraut.

Prof. Krug erhielt 2006 den cwi-Award der Deutschen Keramischen Gesellschaft und in 2007 den Forschungspreis des Landes Baden-Württemberg zu "Ersatz- und Ergänzungsmethoden zum Tierversuch".

Prof. Claus-Michael Lehr, Universität des Saarlandes

## **Nanopartikel in der Medizin:**

### **„Drug Delivery“ durch biologische Barrieren mit Hilfe von Nanopartikeln als Träger**

Unser Forschungsschwerpunkt liegt seit zehn Jahren auf den biologischen Barrieren im Gastrointestinaltrakt, der Haut und der Lunge. In diesem Vortrag werden einige unserer neuesten Ergebnisse oder Daten zu noch laufenden Studien auf diesen drei Gebieten vorgestellt, entweder zur Entwicklung neuer In vitro-Modelle oder zu neuen Arzneistoff-Trägersystemen, bei denen sich die Nanogröße vielfach als Vorteil erwiesen hat. Entzündliche Darmerkrankungen wie der Morbus Crohn oder die Colitis ulcerosa sind schmerzhaft für den Patienten und darüber hinaus wegen der vermehrten Schleimproduktion und dem Auftreten von Diarrhö schwer zu behandeln. Wir konnten belegen, dass das Antiphlogistikum Rolipram bei Verabreichung mit aus biologisch abbaubarem PLGA bestehenden Nanopartikeln bei Ratten verglichen mit der in wässriger Lösung gegebenen gleichen Arzneistoffdosis zu einer länger anhaltenden Linderung von Colitissyndromen und einer Verminderung der zentralnervösen Nebenwirkungen führte. Im Hinblick auf die perkutane Arzneistoffverabreichung liegt eine interessante neue Hypothese vor, wonach Nanopartikel entlang den Haarschäften eindringen und sich so in den Haarfollikeln ansammeln können. Bei der Applikation von mit Flufenaminsäure beladenen PLGA-Nanopartikeln wurden diese vorwiegend in den Interzellulärspalten zwischen den Keratinozyten festgestellt. Die beobachtete Zunahme der epidermalen Penetration lässt sich demgegenüber mit einem azidischen Mikroklima um die hydrolysierenden Polymerpartikel herum erklären, das zu einer Verminderung der Dissoziation und einer ausgeprägteren Lipophilie/besseren Penetration der Flufenaminsäure führt. Diese Daten weisen darauf hin, dass neben der geringen Größe die chemische Zusammensetzung solcher Nanomaterialien gleichermaßen ihre Bedeutung hat. Die Lungen stellen wegen ihrer großen Oberfläche und ihrer ausgezeichneten Durchblutung einen hervorragenden alternativen Applikationsweg für Arzneistoffe dar – sowohl im Hinblick auf die lokale als auch auf die systemische Wirksamkeit. Da sie nicht der mukoziliären oder makrophagealen Clearance unterliegen, könnten inhalative Nanopharmazeutika möglicherweise als Plattform für pulmonale Applikationssysteme mit verzögerter Freisetzung dienen. Schließlich können zur Förderung der zellulären Transfektion auch Nanoplexe beitragen, die zwischen biologisch abbaubaren polymerischen Trägern und DNA/RNA-basierten Arzneistoffen gebildet werden. Wir verwenden diesen Ansatz zurzeit für die Einschleusung Telomerase-inhibierender Antisense-Nucleotide in pulmonale Tumorzellen.

Dr. Myriam Ricaud, INRS Paris

**Evaluation und Prävention der beruflichen Risiken – Kontext, Herausforderungen und Perspektiven** - Technische Arbeitsschutzmaßnahmen beim Umgang mit Nanomaterialien

Rieseninvestitionen und beinahe unbegrenzte Erwartungen im Zusammenhang mit der Herstellung und dem Einsatz von Nanopartikeln und Nanomaterialien haben in vielen Sektoren schon zu vielfältiger industrieller Produktion geführt, mit entsprechender beruflicher Exposition gegenüber Nanopartikeln. Über diese Chemikalien und ihre potentiellen Gesundheitsgefahren ist noch vieles unbekannt und die berufliche Exposition ist schwer zu charakterisieren. Eine quantitative Risikoabschätzung ist deshalb in den meisten Arbeitssituationen eine schwierige Aufgabe. Um so wichtiger ist es, überall dort, wo mit Nanomaterialien umgegangen wird – in Unternehmen, Forschungslaboratorien, Universitäten, usw. –, über die ganze Lebensdauer der Produkte ein Vorsorgekonzept umzusetzen und spezifische Präventionsprozeduren einzuführen. Ziel dieser sicheren Arbeitsverfahren, die mit der Veröffentlichung neuer gesicherter Kenntnisse über die schädlichen Auswirkungen von Nanopartikeln immer wieder aktualisiert werden sollen, besteht darin, berufliche Exposition zu vermeiden oder zumindest weitgehendst zu reduzieren. Dabei sollen kollektive, im Arbeitsverfahren integrierte Schutzmassnahmen immer den Vorrang haben: geschlossene Systeme, Automatisierung, Kapselung der Arbeitsmittel, Quellenabsaugung, Filtrierung der Luft in den Arbeitsstätten, etc. Außerdem sollen die Arbeits- und Expositionsbedingungen regelmäßig kontrolliert werden.

Myriam RICAUD, INRS, Département Expertise et Conseil Technique, Pôle Risques Chimiques, 30 rue Olivier Noyer, 75680 Paris Cedex 14

PD Dr. Michael Riediker, Institut für Arbeit und Gesundheit (IST) / Lausanne, CH

### **Was ist "Nano"? Einführung in die Problematik; wo ist überall "Nano", wo geht die Entwicklung hin?**

Die Nanotechnologie ermöglicht die Erzeugung von kleinsten Strukturen mit Abmessungen bis hinunter zu wenigen Nanometern. Die Eigenschaften solcher nanostrukturierter Materialien unterscheiden sich oft deutlich vom ursprünglichen, makroskaligen Material, was neue Anwendungen in verschiedensten Bereichen unseres Alltags ermöglicht. Veränderte Eigenschaften können aber auch ein Potential für neue negative Effekte darstellen. Während nun gewisse Stimmen eine neue industrielle Revolution voraussagten, fürchteten andere einen bevorstehenden Weltuntergang.

Die Zeit dieser extremen Hoffnungen oder Ängste ist vorbei. Die Nanotechnologie ist bereits fester Bestandteil unseres Alltags geworden. Die meisten modernen Computer basieren auf Schaltkreisen im Nanomassstab, Nanomaterialien werden in der Medizin, selbstreinigenden Textilien, hochfesten Fahrradrahmen, verbesserten Sonnenschutzmitteln oder Reinigungsmitteln eingesetzt. Der anfängliche Rummel hat sich gelegt - nun kommt die Realität. Für Wissenschaftler, Ingenieure und Gesetzgeber, welche einen maximalen Nutzen der Nanotechnologie bei geringsten sozialen, umwelttechnischen, wirtschaftlichen und gesundheitlichen Auswirkungen sicherzustellen haben, bedeutet dies einen beträchtlichen Arbeitsaufwand.

Der Dialog zwischen den einzelnen Interessensvertreter zu einer verträglichen Zukunft von Nanomaterialien begann vor einigen Jahren. Derzeit herrscht Einigkeit bezüglich Bedarf nach gemeinsamen Messmethoden, standardisierten Ansätzen zur Gefährdungsbeurteilung sowie überschaubaren und schnellen Werkzeugen zur Risikobeurteilung. Diese sollen die Verbreitung sicherer Arbeitsverfahren fördern und gewährleisten, dass Sicherheits- und Gesundheitsaspekte bereits in die frühesten Phasen von Material- und Produktentwicklungen einfließen. Erst seit jüngster Zeit befasst sich die Wissenschaft mit nanospezifischen Gefährdungen und Expositionen. Solange diese Untersuchungen kein sauberes Verständnis von "Nanorisiken" gewährleisten, sind vorsorgliche Schutzmassnahmen zu treffen. Die entsprechenden Arbeiten haben bereits begonnen und auch die Rahmenbedingungen der europäischen REACH-Verordnung werden dazu beitragen, das Ziel einer gesundheitsverträglichen Zukunft mit Nanomaterialien zu erreichen.

Dr. Klaus Günter Steinhäuser, UBA Dessau

**Stand der Diskussion in der OECD (OECD Working Party on Manufactured Nanomaterials:  
Internationale Maßstäbe für die Sicherheit von Nanomaterialien)**

Im Jahr 2006 setzte die OECD die Working Party on Manufactured Nanomaterials (WPMN) ein mit dem Ziel, international abgestimmte Methoden und Strategien zu entwickeln, um die potenziellen Gesundheits- und Umweltrisiken von Nanomaterialien zu erfassen und zu beherrschen. Grund für diese Entscheidung war die Unsicherheit in allen Industriestaaten, in Bezug auf Fragen der Sicherheit mit der rasanten Entwicklung der Nanotechnologie nicht Schritt halten zu können. Immer deutlicher wurden die Hinweise, dass nanoskalige Materialien in Bezug auf Umweltverhalten und Toxizität sich anders verhalten als grobkörniges Material. Es wurden deshalb zunächst sechs Arbeitsgruppen gegründet, die sich verschiedenen Themen der Nanosicherheit widmen und Publikationen für die Öffentlichkeit erstellen (siehe: [www.oecd.org/env/nanosafety](http://www.oecd.org/env/nanosafety)). Inzwischen sind acht Arbeitsgruppen aktiv, die folgende Themen bearbeiten:

OECD Projektdatenbank zur Information und Analyse über die Nanosicherheitsforschung (SG 1/2)

- Sicherheitstests über eine repräsentative Auswahl hergestellter Nanomaterialien (SG3)
- Hergestellte Nanomaterialien und Testguidelines (SG 4)
- Zusammenarbeit zu freiwilligen und regulatorischen Programmen zur Nanotechnologie (SG 5)
- Zusammenarbeit zur Risikobewertung (SG 6)
- Rolle alternativer Methoden in der Nanotechnologie (SG 7)
- Expositionsmessung und Expositionsminderung (SG 8)
- Zusammenarbeit zum nachhaltigen Umgang mit hergestellten Nanomaterialien (SG 9).

Kernstück der Aktivitäten der WPMN ist die Sicherheitsprüfung von inzwischen 13 wichtigen und verbreiteten Nanomaterialien (SG 3). Verschiedene Mitgliedstaaten bilden Konsortien für jeweils einen Stoff und finanzieren gemeinsam die Testung nach insgesamt mehr als 50 Endpunkten zu den physikalisch-chemischen Eigenschaften, zur Toxizität und Ökotoxizität sowie zum Umweltverhalten. Ziel sind gesicherte Ergebnisse, die über das Gefahrenprofil Auskunft geben und gleichzeitig Erkenntnisse zur Eignung und zum Anpassungsbedarf von Testverfahren für Chemikalien. Dies ist notwendig, da die aktuellen Daten zu Nanomaterialien oft widersprüchlich und schwer interpretierbar sind.

Die WPMN sieht in Nanomaterialien jedoch nicht nur Risiken für Gesundheit und Umwelt. Deshalb wurde als jüngste Gruppe die SG 9 gegründet, die an ausgewählten Beispielen untersuchen soll, welcher Nutzen für Umwelt und Gesundheit sich aus einigen Nanoanwendungen ergeben kann, in welchem Verhältnis dieser Nutzen zu den potenziellen Risiken steht. Dabei soll möglichst der gesamte Lebenszyklus der ausgewählten Nanomaterialien betrachtet werden.

PD Dr. Michael Stintz, TU Dresden

### **Bestimmung der physikalischen und chemischen Aktivitäten**

Synthetische Nanomaterialien (manufactured nanomaterials MNM) sind gezielt hergestellte Partikel, Substanzen oder Materialien, die eine oder mehrere interne oder äußere Dimensionen im Nanometerbereich von etwa 1 bis 100 nm aufweisen.

Für viele synthetische Nanomaterialien haben die Hersteller bereits Charakterisierungsmethoden und -protokolle entwickelt. Diese sind meist an wohldefinierte Messbedingungen und Materialzustände gebunden, wie z.B. Hochvakuum bei den üblichen Elektronenmikroskopen. Diese Methoden erlauben oft bereits die Identifizierung der Materialien, wie sie für Handels- und behördliche Zwecke benötigt werden.

Aber diese "Fingerabdruck-Methoden" decken nicht die Erfordernisse einer kompletten physikalisch-chemischen Charakterisierung ab, um die anwendungsrelevanten Eigenschaften der Endprodukte zu verstehen oder vorherzusagen.

Ein vertieftes Verständnis der Gesundheits-, Sicherheits- und Umweltauswirkungen erfordert die Beachtung zusätzlicher Messgrößen, wie Zusammensetzung, chemische Oberflächeneigenschaften, Partikelgröße/Größenverteilung, Agglomerationszustand/Aggregation, Form, Oberfläche, Oberflächenladung, Löslichkeit und Dispergierbarkeit.

Weiterhin ist die Messung unter den typischen Anwendungsbedingungen oder -zuständen erforderlich unter Einbeziehung der umgebenden gasförmigen, flüssigen oder festen Phasen.

Exemplarisch werden Messmethoden und -ergebnisse der Nanopartikel-Freisetzung von Kompositmaterialien und von Pulvern erläutert sowie Erfordernisse der Standardisierung aufgezeigt.

Dr. Christoph Studer, Bundesamt für Gesundheit, Bern

### **Aktionsplan synthetische Nanomaterialien**

Die Nanotechnologien und die gezielte Anwendung von Nanomaterialien sind Forschungs- und Entwicklungsfelder mit zunehmender Bedeutung für die Wirtschaft. Neben den Möglichkeiten, die Nanomaterialien bieten, müssen auch die Risiken für Mensch und Umwelt erforscht und rechtliche Regelungen überprüft und wenn nötig angepasst werden. Der Bundesrat hat dies erkannt und am 9. April 2008 mit Aktionsplan Synthetische Nanomaterialien ein Arbeitsprogramm verabschiedet, das aufzeigt, was in den nächsten Jahren getan werden muss, um die Voraussetzungen für eine sichere Verwendung von Nanomaterialien zu schaffen:

- Dabei sind die nötigen regulatorischen Rahmenbedingungen und Hilfsmittel für eine verantwortungsvolle Herstellung, Verwendung und Entsorgung synthetischer Nanomaterialien zu erarbeiten.
- Die Forschung über mögliche Risiken für Mensch und Umwelt beim Umgang mit Nanomaterialien soll gestärkt und die benötigten international harmonisierten Prüfmethoden erarbeitet werden.
- Der öffentliche Dialog über Chancen und Risiken der Nanotechnologie ist zu fördern.
- Industrie und Forschung sollen zu einer vermehrten Zusammenarbeit bei der Entwicklung und Markteinführung nachhaltiger Anwendungen der Nanotechnologie bewegt werden.

Im Bereich „Regulatorische Rahmenbedingungen“ wurde als zentrales Element der Vorsorgeraster für synthetische Nanomaterialien erarbeitet. Der Vorsorgeraster ist eine Bewertungsmethode, die auf der Basis des heute vorhandenen Wissens eine erste Abschätzung der Gesundheits- und Umweltrisiken von Nanoprodukten ermöglicht. Er deckt den gesamten Lebenszyklus von Produkten ab und hilft zu klären, ob vorsorglich Schutzmassnahmen oder zusätzliche Abklärungen getroffen werden müssen.

Dr. Eva Valic, AUVA Wien

### **Toxikologische Auswirkungen von Nanopartikel – Aufnahmewege, Ausscheidung und Wirkungsweise**

Durch enorme Verkleinerungen oder Materialmanipulationen bis auf atomare, molekulare und makromolekulare Ebenen werden Nanopartikel erzeugt, die völlig andere Eigenschaften haben können im Vergleich zu den Ursprungsmaterialien. Dadurch eröffnen sich enorme Möglichkeiten die Effizienz der verschiedensten Produkte wesentlich zu verbessern. Die Entwicklung der Nanotechnologie, auch Nanorevolution genannt, wird als eine neue industrielle Revolution bezeichnet. Die Herstellung und die Verwendung von Nanopartikel/ Nanomaterialien nehmen rapid zu und stellen eine Herausforderung für die Arbeitssicherheit dar.

Jedoch, was auf der einen Seite einen gewünschten Effekt darstellt, kann im menschlichen Körper unerwünschte Nebenreaktionen hervorrufen. Einige Eigenschaften der Nanopartikel sind besonders besorgniserregend z.B. sehr hohe Reaktivität, die Fähigkeit durch die Körper- und Zellbarrieren durchzudringen und deren Unlöslichkeit (Biopersistenz).

Derzeit sind spezifische toxikologische Daten, um eine Risikoeinschätzung durchzuführen, unzureichend da noch wenige Studien für einzelne Partikel vorliegen, die Expositionszeiten für mögliche chronische Effekte sehr kurz sind oder die Applikationswege in Tierversuchen nicht den realen Bedingungen in der Arbeitswelt entsprechen.

Thorsten Weidl, TÜV SÜD Industrie Service GmbH, München

### **Untersuchung und Bewertung der Risiken und Schutzmaßnahmen bei der Verarbeitung von Nanomaterialien, insb. Nanopartikeln**

Bei den aktuellen Diskussionen in der Nanotechnologie kommt immer wieder das Gespräch auf die damit verbundenen Risiken. Dabei steht fast immer das Risiko für den Verbraucher im Mittelpunkt. Dabei sind die Risiken in der Produktion, in der die Nanomaterialien häufig im unverarbeiteten Zustand vorkommen grundsätzlich höher zu bewerten, da eine Matrix die den direkten Kontakt mit dem Material unmöglich macht, fehlt.

Es gibt zwar einige allgemeine Hilfestellungen zum Umgang mit Nanomaterialien, wie z. B. den VCI-Leitfaden zur Arbeitssicherheit oder verschiedene Aktionspläne, eine fallspezifische Anleitung, welche Sicherheitsmaßnahmen bei bestimmten Nanomaterialien einzuhalten sind, ist damit jedoch nicht gegeben. Um dies zu erreichen müssen die Arbeitsschritte in der Produktion einzeln analysiert werden, den verwendeten Nanomaterialien potenzielle Inkorporationspfade zugeordnet werden und das Risiko das bei diesen Inkorporationspfaden besteht – soweit es die bei der Verwendung von Nanomaterialien bestehenden Unsicherheiten zulassen – bestimmt werden. Ausgehend von diesen Ergebnissen können dann zielgerichtet Maßnahmen zur Sicherstellung der Arbeitssicherheit ergriffen werden.

Dazu wurde von der Bühler AG im Jahr 2007 ein spezifisches Risikomanagementsystem eingeführt. Dieses Risikomanagementsystem, entwickelt von der TÜV SÜD Industrie Service GmbH (München) und der Innovationsgesellschaft mbH (St. Gallen), wurde in das bestehende Qualitätsmanagementsystem (ISO 9001) integriert. Durch regelmäßiges Überprüfen ob die vorgegebenen Kriterien eingehalten werden ist sichergestellt, dass das eingeführte Sicherheitsniveau auch dauerhaft eingehalten wird.

Dr. Olivier Witschger, INRS Nancy

### **Belastung durch Nanopartikel in der Atemluft: Aktuelle Methoden und Anforderungen**

Bei der Herstellung von Nanopartikeln und Nanomaterialien oder beim Umgang mit diesen Stoffen besteht für Arbeiter und Forscher die Gefahr einer Belastung über die Atemwege. Bis jetzt liegen jedoch nur wenige Daten vor. Das liegt hauptsächlich daran, dass bei Nanoaerosol die Messung der Exposition keine einfache Aufgabe darstellt. Im Vergleich mit traditionellen Aerosolen, für die entsprechende Messverfahren und Messtechnik etabliert wurden, bestehen signifikante Unterschiede. Zwar wurden neulich in Veröffentlichungen wie ISO TR/27628 (2006) und ISO TR/12885 (2008) Anleitungen zur Abschätzung der Nanoaerosolbelastung vorgeschlagen. Dabei fehlt es noch an ausreichend aussagekräftigen wissenschaftlichen Daten darüber, welche Partikelgrößen und welche für den Gesundheitsschutz relevanten Parameter zur Charakterisierung der Exposition zu messen sind – Partikelzahl in bestimmten Größenbereichen, Oberfläche, Gewichtskonzentration oder andere –, sowie zu den geeigneten Instrumenten und Methoden. Der Stand der Technik und die heutigen messtechnischen Lösungen zur Charakterisierung der Belastung durch Nanoaerosol werden aufgrund von Messungen vor Ort vorgestellt und Anforderungen im Hinblick auf künftige Messungen werden diskutiert.