

Informationen zum  
**ARBEITSSCHUTZ**



# Nanomaterialien – Herausforderung für den Arbeits- und Gesundheitsschutz

# Inhaltsverzeichnis

## Einleitung

- Nanotechnologien und Nanomaterialien ..... 4
- Welche Aufgabe haben Betriebsräte? ..... 4
- Struktur ..... 5

## I. Nanomaterialien – was ist neu, was versprechen wir uns, was ist zu beachten?

- Was sind Nanomaterialien? ..... 6
- Arten von Nanomaterialien ..... 8
- Was ist neu: Besondere Eigenschaften von Nanomaterialien ..... 10
- Was versprechen wir uns: Neue Werkstoffe und Anwendungen ..... 11
  - Anwendungsfelder ..... 11
  - Wann ist mit einer breiten Anwendung zu rechnen? ..... 12
- Lückenhaftes Wissen über Gesundheits- und Umweltwirkungen durch Vorsorge überbrücken ..... 13
  - Wirkungen auf die Gesundheit ..... 13
  - Wirkungen auf die Umwelt ..... 14
  - Gezieltes vorsorgendes Handeln ..... 14
  - Arbeitsschutz ..... 14
  - Verbraucherbereich ..... 15
  - Umwelt ..... 15

## II. Nanomaterialien – wo ist der Arbeitsschutz besonders gefordert?

- Eine erste Hilfe: Einteilung von Nanomaterialien in vier Gruppen ..... 16
  - Lösliche Nanomaterialien ..... 16
  - Biobeständige Nanomaterialien ohne spezifische toxische Eigenschaften und ohne faserförmige Strukturen ..... 17
  - Nanomaterialien mit spezifischen toxischen Eigenschaften ..... 17
  - Biobeständige faserförmige Nanomaterialien ..... 17
- Beschichtungen von Nanomaterialien können gesundheitliche Wirkungen erheblich ändern ..... 18
- Luftkonzentrationen von Nanomaterialien: Welche Maßangabe ist aussagekräftig? ..... 19

## III. Nanomaterialien – was gibt die Gefahrstoffverordnung vor?

- Tätigkeiten mit Nanomaterialien erfordern eine Gefährdungsbeurteilung ..... 20
- Schritt für Schritt durch die Gefährdungsbeurteilung ..... 20
  - Informationsermittlung ..... 20
  - Beurteilung der gesundheitsgefährdenden Eigenschaften ..... 21
  - Ermittlung der Exposition ..... 21
  - Ableitung der Schutzmaßnahmen ..... 22
    - Substitution ..... 22
    - Technische Maßnahmen ..... 22
    - Organisatorische Maßnahmen ..... 23
    - Persönliche Schutzmaßnahmen ..... 23
    - Schutz vor Brand- und Explosionsgefahren ..... 24

○ Prüfung der Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen .....	25
○ Arbeitsmedizinische Vorsorge .....	26
○ Information der Beschäftigten .....	27
○ Dokumentation der Gefährdungsbeurteilung .....	28
■ Lagerung von Nanomaterialien .....	28
■ Betrieblicher Umweltschutz bei Tätigkeiten mit Nanomaterialien .....	28

#### *IV. Nanomaterialien – was können Betriebsräte tun?*

■ Nutzung von Schutzbestimmungen in Gesetzen und Verordnungen .....	30
■ Handlungsmöglichkeiten von Betriebsräten im Rahmen der Gefahrstoffverordnung .....	31
– Überblick über den gesamten Aufgabenbereich .....	31
– Auswahl zentraler Themen und Festlegung einer Aufgabenreihenfolge .....	31
– Formulierung von Kontrollfragen .....	31
– Beschaffung von Unterstützung für die eigene Arbeit .....	32
– Festlegung von überprüfbaren Zielen .....	32
○ Prozessablauf .....	32
○ Prozesselemente .....	33
– Informationsbeschaffung .....	33
– Festlegen und Umsetzen der Schutzmaßnahmen .....	33
– Wirksamkeitsprüfung der Schutzmaßnahmen .....	34
– Information der Beschäftigten .....	34
○ Zuständigkeiten und Zeitvorgaben .....	35

#### *Anhänge*

■ Überblick: Handlungshilfen für den Arbeitsschutz .....	36
○ Handlungshilfen für den Arbeitsschutz .....	36
○ Websites zum Thema Nanotechnologie, auf denen ebenfalls Hinweise zum Arbeitsschutz zu finden sind .....	36
■ Glossar wichtiger Begriffe .....	37

# Einleitung

»Nanotechnologie« und »Nanomaterialien« waren bis vor kurzem ein Thema vor allem für Spezialisten. Erst in jüngster Zeit hat es die Presse und die breitere Öffentlichkeit erreicht. Was sich hinter beiden Begriffen genau verbirgt, lässt sich nicht leicht beschreiben. Klar ist nur, dass es um eine Technologie geht, die sich »kleinster« Strukturen bedient, es geht um Partikel, die aus wenigen Hundert bis einigen Tausend Atomen oder Molekülen bestehen – aber was ist daran neu, was ist daran Besonderes?

Der Begriff »Nanotechnologie« kann irreführend sein, denn bei der Nanotechnologie handelt es sich nicht um eine einzige Technologie oder Wissenschaft. Vielmehr bezeichnet der Begriff ein multidisziplinäres Gebiet, das Prozesse, Konzepte, Anwendungen und Materialien aus den Bereichen Physik, Chemie, Biologie, Ingenieurwissenschaften und Elektronik verwendet, deren gemeinsame Charakteristik diejenige der Größe im Nanobereich ist. Wegen der ganz unterschiedlichen Teilbereiche, die unter »Nanotechnologie« zusammengefasst werden, haben sich viele Fachleute angewöhnt, von »Nanotechnologien« zu sprechen, also den Begriff in der Mehrzahl zu verwenden.

## *Nanotechnologien und Nanomaterialien*

»Nanotechnologien« bezeichnen ein breites Feld neuer Technologien, die – wie andere neue Technologien – Chancen und Risiken mit sich bringen. Um eine neue Technologie interessant zu machen, wird viel über die Chancen und Potentiale geredet und geschrieben. Aus unserer Sicht müssen jedoch auch die Risiken thematisiert und bewertet werden. Notwendig ist eine rationale Debatte über die neuen Technologien. Verschweigen und Verharmlosen der Risiken löst fast unweigerlich Abwehrreaktionen aus, die häufig nicht nur rational begründet sind. Außerdem kann es auch dazu führen, dass die Entwickler und Träger der neuen Technologien deren Risiken unterschätzen und die Vorsorge vor vermeidbaren Risiken oder vor den Folgen von Schäden und Havarien vernachlässigen. Wenn sich dann Unfälle ereignen oder Schäden einstellen, verstärkt dies fast immer offen oder unterschwellig vorhandene Vorbehalte gegen die neuen Technologien als Ganzes. Schnell werden dann die unterschiedlichen Anwendungen der Technologien undifferenziert in einen Topf geworfen und unterschiedslos abgelehnt.

Damit eine derartige Situation nicht entsteht, soll diese Broschüre helfen,

- die Vielfalt der »Nanotechnologien« zu verstehen,
- zu erkennen, dass es sich bei Nanomaterialien um eine Vielzahl unterschiedlicher Stoffe mit völlig unterschiedlichen Eigenschaften und Wirkungen handelt, mit denen ein weites Spektrum verschiedenartiger Anwendungen entwickelt wird,
- zu verdeutlichen, dass erprobte Arbeitschutzmaßnahmen geeignet sind, Gesundheitsrisiken bei Tätigkeiten mit Nanomaterialien genauso zu vermeiden, wie dies für andere chemische Stoffe alltägliche Praxis ist,
- bewährte Arbeitsschutzstrukturen zu nutzen, um Tätigkeiten mit Nanomaterialien in das vorhandene Arbeitsschutz-Managementsystem im Betrieb zu integrieren.

### *Begriffe und Definitionen – Definition der NanoKommission*

Die NanoKommission der Bundesregierung hat »Nanotechnologien« so definiert:

»Der Begriff der Nanotechnologien umfasst verschiedene Verfahren zur Untersuchung und zur gezielten Herstellung und Anwendung von Prozessen, Strukturen, Systemen oder molekularen Materialien, die in mindestens einer Dimension typischer Weise unterhalb von 100 Nanometern liegen.«

Die Entwicklung, Herstellung und Verwendung von Materialien im Nanomaßstab – das heißt von Nanomaterialien – kann nach dieser Beschreibung als ein Teilbereich der Nanotechnologien verstanden werden. Nanomaterialien sind chemische Stoffe – zum Teil mit besonderen Eigenschaften. Wegen dieser besonderen Eigenschaften können von ihnen besondere Gefahren für Gesundheit und Umwelt ausgehen und damit besondere Herausforderungen für den Arbeitsschutz darstellen.

### *Welche Aufgabe haben Betriebsräte?*

Wenn es um das Thema »Gesundheits- und Umweltschutz bei Tätigkeiten mit Nanomaterialien« geht, sind Betriebsräte gefragt. Ganz allgemein haben sie die Aufgabe zu überwachen, dass der Arbeitgeber seinen Verpflichtungen zum Schutz der Gesundheit

der Beschäftigten sowie zum Schutz der Umwelt nachkommt. Betriebsräte haben umfassende Mitbestimmungsrechte bei der konkreten Ausgestaltung dieses Schutzes. Wenn das Wissen über mögliche gesundheits- und umweltgefährdende Eigenschaften von Nanomaterialien noch sehr begrenzt ist, sind ihre Aktivitäten besonders wichtig.

In der Broschüre sind Antworten auf folgende Fragen zu finden:

- Welche Vorgaben des Arbeitsschutzes sind bei Tätigkeiten mit Nanomaterialien zu beachten?
- Welche Leitfäden und Empfehlungen für Tätigkeiten mit Nanomaterialien werden angeboten, mit deren Hilfe Betriebe ihren Verpflichtungen im Arbeitsschutz nachkommen können?
- Welche Möglichkeiten haben Betriebsräte, um einen optimalen Schutz der Gesundheit der Beschäftigten bei Tätigkeiten mit Nanomaterialien zu erreichen?

Beantwortet werden diese Fragen im Textteil, der in vier Kapitel gegliedert ist.

## Struktur

Im **ersten Kapitel** werden zunächst die Besonderheiten vorgestellt, durch die sich Nanomaterialien auszeichnen. Einsatzmöglichkeiten und Verwendungszwecke in unterschiedlichen Technikbereichen werden dargestellt. Daran schließt sich ein Überblick über die prognostizierten Anwendungen dieser neuen Werkstoffe und die daran geknüpften ökonomischen Erwartungen an. Diesen Chancen werden Risiken für Gesundheit und Umwelt gegenübergestellt, die sich aus den großen Wissenslücken über Gesundheits- und Umweltwirkungen von Nanomaterialien sowie aus einzelnen Beobachtungen speisen, die Anlass zur Besorgnis geben.

Im **zweiten Kapitel** werden diese Befürchtungen aus der Perspektive des Arbeitsschutzes aufgegriffen. Dabei wird deutlich gemacht, dass Nanomaterialien hinsichtlich ihrer Gesundheitswirkungen nicht unterschiedslos in einen Topf geworfen werden dürfen, sondern sehr differenziert betrachtet werden sollten. Gleichzeitig wird daran erinnert, dass es der chemischen Industrie seit langem gelingt, Chemikalien, deren Gesundheitswirkungen bisher nicht oder nur zum Teil bekannt sind, so herzustellen und zu verarbeiten, dass es weder zu Gesundheits- noch zu Umweltschäden kommt.

Vertiefte Überlegungen zum Arbeitsschutz stehen im Mittelpunkt des **dritten Kapitels**. Ausgehend von den Anforderungen der Gefahrstoffverordnung wird beschrieben, wie in den einzelnen Schritten der Gefährdungsbeurteilung für Tätigkeiten mit Nanomaterialien fehlendes oder begrenztes Wissen durch Vorsorgebetrachtungen ersetzt werden kann. Konkretisiert wird dies durch Hinweise aus Handlungshilfen von Institutionen und Verbänden sowie aus Beispielen guter Praxis von Unternehmen der chemischen Industrie. Ergänzt wird das Kapitel um Hinweise zur Lagerung von Nanomaterialien sowie zum betrieblichen Umweltschutz.

Das **vierte Kapitel** ist den Handlungsmöglichkeiten von Betriebsräten gewidmet. Im Mittelpunkt steht hier die Mitbestimmung im Arbeits- und Gesundheitsschutz.

Ergänzt wird der Textteil durch einen **Anhang**, in dem sowohl eine Übersicht über Handlungshilfen für den Arbeitsschutz als auch ein Überblick über Websites gegeben wird, die Hinweise zum Thema »Nanomaterialien und Arbeitsschutz« anbieten. Schließlich sind in einem **Glossar** die wichtigsten Begriffe erläutert.

# I. Nanomaterialien – was ist neu, was versprechen wir uns, was ist zu beachten?

Viele Prognosen sagen voraus, dass die Bedeutung von Nanomaterialien und von Produkten, in denen Nanomaterialien enthalten sind, zunehmen wird. Grund dafür sind die besonderen Eigenschaften solcher Produkte.

Um die Vielfalt der erwarteten Produkte auf Nanobasis besser zu verstehen, wird in diesem Kapitel zunächst erläutert, was Nanomaterialien sind:

## *Was sind Nanomaterialien?*

Eine zentrale Eigenschaft von Nanomaterialien ist ihre Größe – üblicherweise wird der Größenbereich zwischen 1 und 100 Nanometern als »Nanomaßstab« bezeichnet. Aber Vorsicht: Unterschiede in der Eigenschaft »Größe« führen nicht unbedingt zu Unterschieden von anderen Eigenschaften. Denn auf der Größenskala gibt es keine abrupten, sondern nur gleitende Übergänge – deshalb wäre es wenig sinnvoll, Materialien mit einer Abmessung von 110 Nanometern nicht mehr als Nanomaterialien anzusehen, solche mit 100 Nanometern aber noch. Bei derart geringen Größenunterschieden ist nicht zu erwarten, dass sich die Materialien in anderen Eigenschaften merkbar unterscheiden. Hinzu kommt, dass Nanomaterialien herstellungsbedingt nicht in genau einer Abmessung vorliegen, sondern durchweg in einer Größenverteilung, die sich über einen gewissen Bereich erstrecken kann und am oberen Ende Partikel umfassen kann, die größer als 100 Nanometer sind. Dies gilt auch für gröbere Materialien – auch sie liegen nicht in einer einzigen Abmessung vor, sondern als Größenverteilung. Daher kann es sein, dass die Größenverteilung bereits seit langem hergestellter Materialien mit sehr feiner Korngröße, wie zum Beispiel bestimmte Pigmente, ebenfalls Partikel umfasst, die kleiner als 100 Nanometer sind.

Hinzu kommt, dass Partikel auch dazu neigen, sich zu größeren Einheiten zusammenzulagern. Die Tendenz zur Zusammenlagerung ist zumeist umso stärker, je kleiner die Partikel sind. Daher wird vorgeschlagen, bei der Bestimmung der Größenverteilung nur Primärteilchen, also nicht zusammengelagerte Partikel zu berücksichtigen. Bei einer schwachen Bindung zusammengelagerter Partikel spricht man von Agglomeraten, bei einer starken Bindung von Aggregaten.

Bislang gibt es noch keine eindeutige Definition für Nanomaterialien, sondern nur eine Reihe von Vorschlägen. Sie stimmen zwar in den meisten Punkten überein, unterscheiden sich jedoch in Einzelheiten, was durchaus weitreichende Folgen haben kann, z.B. wenn es auf eine genaue Abgrenzung zwischen Nanomaterialien und Nicht-Nanomaterialien ankommt, wie etwa bei rechtlichen Regelungen. Fachleute aus aller Welt sind seit mehreren Jahren damit befasst, sich auf eine allgemeingültige Definition des Begriffs »Nanomaterialien« zu verständigen, also eine Norm für diesen Begriff zu schaffen, der dann als Grundlage in anderen Bereichen genutzt werden kann. In einem aktuellen Papier der EU-Kommission zur Frage der Definition wird zu Recht darauf hingewiesen, dass es sich dabei nicht um eine rein wissenschaftliche Frage handelt, sondern wegen der Auswirkungen innerhalb der Gesetzgebung auch um eine politische. Daher gibt es Überlegungen, zwischen einer allgemeinen, rein wissenschaftlichen Definition und speziellen Definitionen für bestimmte Rechtsbereiche zu unterscheiden.

Angesichts dieser Schwierigkeiten kann auch die Eingangsfrage »Was sind Nanomaterialien?« für diese Broschüre nicht in einem kurzen Absatz, sondern nur schrittweise beantwortet werden.

Zunächst einmal handelt es sich um Materialien, die in mindestens einer Raumrichtung (oder »Dimension«) sehr kleine Abmessungen aufweisen. **»Mindestens eine Raumrichtung«** soll bedeuten, dass es sich um flächige Gebilde wie Schichten oder Plättchen, um gestreckte Gebilde wie Stäbchen, Röhren oder Drähte, sowie um klumpenförmige Gebilde wie Partikel handeln kann. **»Sehr klein«** heißt im Bereich von Milliardstel Metern (gleichbedeutend mit Millionstel Millimetern): In Technik und Wissenschaft wird die Vorsilbe »Nano-« überall dort verwendet, wo das Milliardstel einer Größe bezeichnet werden soll – deshalb spricht man von »Nanometern«, wenn es um die Längeneinheit Milliardstel Meter geht.



### *Begriffe und Definitionen – Bezeichnungen*

Vorsilben, die in Technik und Wissenschaft zur Bezeichnung von Bruchteilen von Größen verwendet werden

Milli-: Tausendstel

Mikro-: Millionstel

Nano-: Milliardstel

Pico-: Billionstel

In den Diskussionen um Nanotechnologien und Nanomaterialien wird üblicherweise der Bereich zwischen 1 und wenigen 100 Nanometern (abgekürzt: nm) als Nanobereich bezeichnet – zu größeren Abmessungen hin schließt sich der Mikrobereich oder Mikrometerbereich an.

Ausdehnungen im Bereich weniger Nanometer entsprechen den Ausdehnungen großer Moleküle – die Ausdehnung einzelner Atome liegt im Bereich zwischen 0,1 und 1 Nanometer. Mit anderen Worten, Strukturen in diesem Größenbereich werden von vergleichsweise wenigen Atomen oder Molekülen gebildet. Um der Vorstellung solcher geringen Größen nachzuhelfen, wird häufig als Vergleich bemüht, dass ein menschliches Haar einen Durchmesser von etwa 50.000 Nanometern hat oder dass ein Nanometer sich zu einem Meter wie der Durchmesser einer Haselnuss zum Durchmesser der Erde verhält.

Nun trifft diese Beschreibung in Bezug auf die Abmessungen der Materialien aber auch auf viele andere Materialien zu. Zu ihnen gehören etwa ultrafeine Stäube und Aerosole oder auch Metaldämpfe und -rauche, wie sie in zahlreichen Prozessen an Arbeitsplätzen oder auch in der Natur entstehen. Zur Abgrenzung gegenüber solchen Materialien, die in natürlichen Prozessen oder als Nebenprodukte von Tätigkeiten und Aktivitäten entstehen, wird in einem weiteren Schritt zur Beschreibung von Nanomaterialien als Merkmal deren **»gezielte (oder beabsichtigte) Herstellung«** hervorgehoben.

Keine Einigung besteht hingegen über einen Vorschlag, als drittes Abgrenzungsmerkmal von Nanomaterialien auch **»neue Eigenschaften«** zu verlangen, über die sie gegenüber ähnlichen, aber bereits seit langem hergestellten Materialien verfügen. Auch für die Definition in dieser Broschüre werden wir das Merkmal »neue Eigenschaften« nicht voraussetzen. Als – durchaus beabsichtigte – Konsequenz bedeutet dies dann aber auch, dass bestimmte Materialien, die schon seit vielen Jahrzehnten hergestellt

und verwendet werden, nun als »Nanomaterialien« anzusehen sind, auch wenn dieser Begriff erst lange nach dem Beginn ihrer Nutzung eingeführt worden ist. Beispiele für derartige Materialien sind Industrieruß (Carbon Black), amorphe Kieselsäure, ultrafeines Titandioxid oder ultrafeine Pigmente, wenn deren Primärpartikel eine Größe von 100 nm oder weniger haben.

### *Begriffe und Definitionen – Nanomaterialien*

Ebenfalls zu findende Definition des Begriffs »Nanomaterialien«

Definition in der Kosmetik-Verordnung der EU  
Nanomaterial: 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 Nanometern.

#### Vorschlag der NanoKommission

[Quelle: Verantwortlicher Umgang mit Nanomaterialien. Bericht und Empfehlungen der NanoKommission der deutschen Bundesregierung 2008; [http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/nanokomm\\_abschlussbericht\\_2008.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/nanokomm_abschlussbericht_2008.pdf)]

*Nanomaterialien:* Als Nanomaterialien werden künstlich hergestellte Materialien verstanden, die vor allem durch das veränderte Oberflächen-Volumen-Verhältnis insbesondere in diesem Größenbereich häufig neuartige Eigenschaften entfalten. Eine international abgestimmte Definition liegt allerdings derzeit noch nicht vor. Nach dem Entwurf des Technischen Komitees der Internationalen Standardisierungs-Organisation (ISO Technical Committee 229), werden Nanomaterialien in verschiedene Gruppen untergliedert. Hierzu gehören:

*Nanoobjekte:* Materialien, die entweder in ein, zwei oder drei äußeren Dimensionen nanoskaliert (näherungsweise 1 bis 100 nm) sind. Typische Vertreter sind Nanopartikel, Nanofasern und Nanoplättchen. Zu den Nanofasern gehören elektrisch leitende Fasern (Nanowires), Nanoröhrchen (Nanotubes) und feste Nanostäbchen (Nanorods). Nanoobjekte kommen dabei häufig in Gruppen vor.

*Nanostrukturierte Materialien* haben eine innere, nanoskalige Struktur und treten in der Regel als Verbundsysteme von Nanoobjekten auf. Typische Vertreter sind Aggregate und Agglomerate. Diese sind laut ISO nicht in ihrer physikalischen Größe oder Form begrenzt.

### Arten von Nanomaterialien

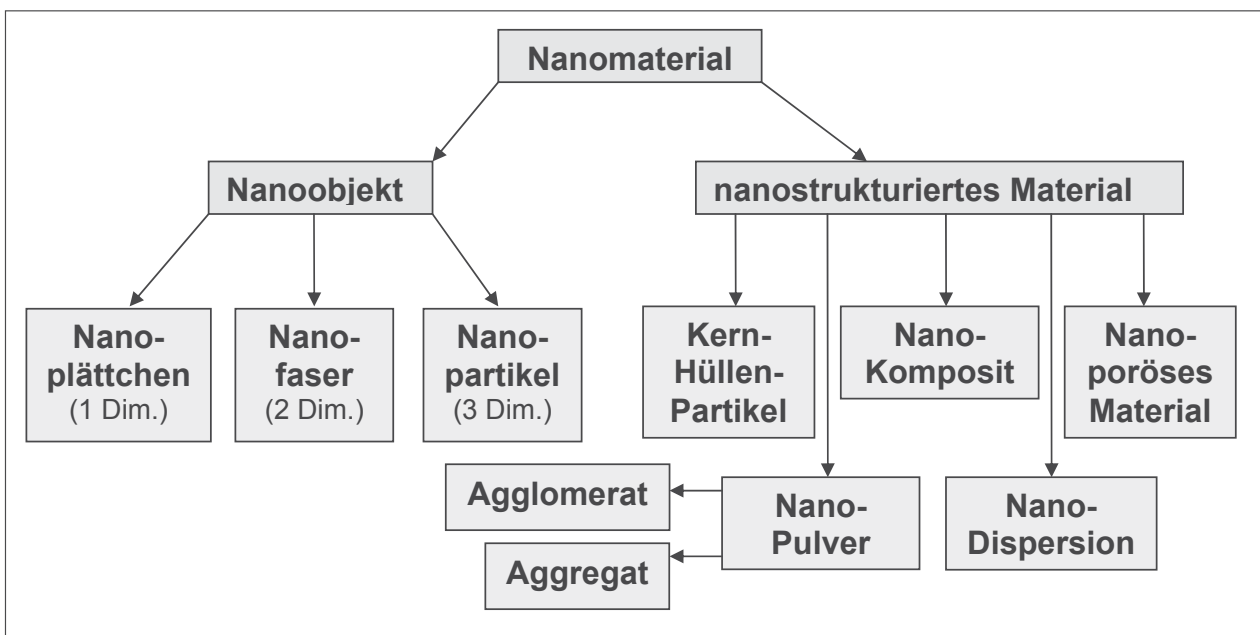
Unter dem Dach »Nanomaterialien« sind sehr unterschiedliche Arten und Formen von chemischen Stoffen versammelt. Ihre chemische Grundzusammensetzung kann sehr unterschiedlich sein – so finden sich Nanomaterialien, die in chemischer Hinsicht als Metalle und Metalllegierungen, Metalloxide und keramische Materialien, Materialien auf Kohlenstoffbasis, Polymere oder als zusammengesetzte Materialien (Komposite) zu beschreiben sind. Zudem gibt es biobasierte Nanomaterialien auf Basis von Lipiden und von Zellulose.

Auch das Formenspektrum von Nanomaterialien ist höchst vielgestaltig: Es gibt Materialien, die nur in **einer Dimension** Abmessungen im Nanobereich aufweisen, wie Nanoplättchen, Nanoschichten und Nanobeschichtungen. Beispiele für Materialien mit Abmessungen im Nanobereich in **zwei Dimensionen** sind Nanostäbe, Nanofasern, Nanodrähte und Nanoröhren. Objekte, die in allen **drei Dimensionen** über

Abmessungen im Nanobereich verfügen, sind Nanopartikel und Nanokapseln – das sind Nanoobjekte, bei denen ein Kern aus einer Substanz durch eine aus einer anderen Substanz bestehenden Nanohülle umgeben ist. Ferner existieren dreidimensionale nanostrukturierte Objekte wie Nanoschäume – feste Substanzen, die Hohlräume im Nanometerbereich enthalten.

Einzelne Moleküle werden nicht zu den Nanomaterialien gerechnet, selbst wenn sie sehr groß sind. Allerdings gibt es Grenzfälle bei Materialien auf Kohlenstoffbasis: Fullerene – aus zahlreichen Kohlenstoffatomen zusammengesetzte sphärische, käfigförmige Moleküle – gelten als Nanomaterialien. Bekannt sind einwandige Fullerene, die von 28 bis mehr als 100 Kohlenstoffatome enthalten können. Stabilstes Fulleren ist das aus 60 Kohlenstoffatomen bestehende C60, das eine geschlossene Kugel mit 12 Fünf- und 20 Sechsecken in Form eines Fußballs bildet. Zu den Nanomaterialien werden ebenfalls Kohlenstoff-Nanoröhren gerechnet (englisch: Carbon Nanotubes – CNT), die eine eigene Gruppe von Nanomaterialien auf Kohlenstoffbasis bilden. Man kann sie sich als aufgerollte ein- oder mehrlagige Graphitschicht vorstellen – dementsprechend gibt es einwandige Kohlenstoff-Nanoröhren (englisch: Single-Walled Carbon Nanotubes – SWCNT) und mehrwandige Kohlenstoff-Nanoröhren (englisch: Multi-Walled Carbon Nanotubes – MWCNT). Ein weiteres Nanomaterial auf Kohlenstoffbasis ist Graphen, das

Abb.: Übersicht über die Begriffshierarchie »Nanomaterial« (Begriffe gemäß ISO/TS 27687 und ISO PDTS 80004-4)





aus einer einlagigen Schicht von Kohlenstoffatomen besteht, die in Sechsecken wie in einer Graphitschicht angeordnet sind.

Eine weitere Art von Nanomaterialien sind sogenannte Quantenpunkte (englisch: Quantum Dots). Bei ihnen handelt es sich um nanostrukturierte Halbleiter, die in Form eines Kristallgitters aus eini-

gen tausend Atomen halbleitender Materialien unterschiedlicher Art zusammengesetzt sind, wie zum Beispiel Indium-Gallium-Arsenid (InGaAs) oder Cadmiumselenid (CdSe). Durch das Mischungsverhältnis der verschiedenen Atomsorten lassen sich die elektronischen und optischen Eigenschaften der Quantenpunkte gleichsam maßschneidern.

## Übersicht Nanomaterialien

Arten von Nanomaterialien

[Quelle: Meta-Roadmap Nanomaterialien – Zukünftige Entwicklungen und Anwendungen; VDI Technologiezentrum GmbH (Hrsg.); [http://www.zukunftigetechnologien.de/pdf/Band85\\_Meta-Roadmap\\_Nanomaterialien.pdf](http://www.zukunftigetechnologien.de/pdf/Band85_Meta-Roadmap_Nanomaterialien.pdf)]

- Kohlenstoffbasierte Nanomaterialien
  - Fullerene
  - Graphit-Nanopartikel
  - Kohlenstoff-Nanoröhren
  - Graphen
  - Kohlenstoff-Aerogel
  - Kohlenstoff-Nanoschaum
- Nanostrukturierte Metalle und Legierungen
  - Nanopartikel aus Eisen- oder Cobalt (-Legierungen)
  - Silber-Nanopartikel
  - Gold-Nanopartikel
  - Platin-Nanopartikel
  - Nanopartikeläre Metallpulver
  - Nanokristalline Metalle
- Keramische Nanopartikel und Nanostrukturen
  - Aluminiumoxid-Nanopartikel
  - Titanoxid-Nanopartikel
  - Zinkoxid-Nanopartikel
  - Eisenoxid-Nanopartikel
  - Siliziumdioxid- und Metalloxyd-Nanopartikel
  - Nicht-Oxid-Keramiken-Nanopartikel (Nitride, Carbide)
- Polymere
  - Polymere Nanoschichtsysteme
  - Polymer-Nanopartikel
  - Polymer-Nanoröhren, -drähte und -fasern
  - Polymer-Nanostrukturen
  - Dendritische Polymere
- Nanostrukturierte Halbleiter
  - Silizium
  - III-V- und II-VI-Halbleiter
- Nanokomposite
  - Polymermatrix-Silikat-Nanokomposite
  - Polymere mit Kohlenstoff-Nanopartikeln
  - Kern-Schale-Nanopartikel
  - Nanokompositbeschichtungen
  - Keramikmatrixkomposite mit Kohlenstoff-Nanoröhren
  - Metall-Matrix-Komposite
- Biobasierte Nanomaterialien
  - Lipid-Nanocontainer
  - Cellulose-Nanofasern

## Was ist neu: Besondere Eigenschaften von Nanomaterialien

Werden Partikel aus so unterschiedlichen Stoffen wie Kohlenstoff, Silizium, Eisen oder Gold in ihrer Größe bis in die Nanodimension hinunter verkleinert, so zeigen sie häufig neue und unerwartete Eigenschaften, über die sie in Mikro- oder Makrogröße nicht verfügen. Je nach Material kann es sich beispielsweise um hohe Zugfestigkeit, hohe chemische Reaktivität, elektrische Leitfähigkeit oder besondere magnetische oder optische Eigenschaften handeln.

Ein häufig beschriebenes Beispiel für solche unerwarteten Eigenschaften ist der Farbwechsel von Gold, der bei abnehmender Partikelgröße auftritt: Während Gegenstände aus Gold und größere Goldpartikel goldgelb sind, erscheinen Goldpartikel im Bereich von 10–100 Nanometer Größe rot, sofern sie rund sind. Ringförmige Goldpartikel dieser Größe sind hingegen farblos. Allerdings ist der Effekt roter Goldpartikel nicht neu – er wird schon seit zweitausend Jahren für die Herstellung rubinroter Gläser genutzt. Neu ist lediglich, dass erst heute eine wissenschaftliche Erklärung dafür existiert.

Grundlage der besonderen Eigenschaften von Nanomaterialien sind in erster Linie zwei Effekte: Wegen der »Kleinheit« der Materialien befindet sich ein viel größerer Anteil der Atome oder Moleküle des Materials an dessen Oberfläche im Vergleich zu einem sehr viel größeren Klumpen desselben Materials – solange das Material stabil ist, sich also nicht löst und die einzelnen Atome oder Moleküle sich nicht im umgebenden Medium verteilen. Da aber nur die Atome oder Moleküle eines Materials an dessen Oberfläche chemisch oder biologisch wirksam gegenüber der Umgebung sind, verwundert es nicht, wenn Nanomaterialien – bezogen auf dieselbe Masse – eine höhere Reaktivität im Vergleich zu größeren Klumpen desselben Materials aufweisen. Hierauf beruht auch ein seit jeher bekannter Effekt schon bei gröberen Stäuben, nämlich die hohe Reaktivität und Explosionsgefährlichkeit von bestimmten Metallpulvern.

Veranschaulichen lässt sich die mit abnehmender Teilchengröße zunehmende Oberfläche an einem Beispiel: Packt man 50 kg Quarz in einen einzigen Würfel, so hat der eine Kantenlänge von 27 cm mit einer Gesamtoberfläche von 0,44 Quadratmetern. Packt man dieselbe Quarzmenge in Würfel von 1 Millimeter Kantenlänge, so ergibt sich eine Gesamtoberfläche von 120 Quadratmetern. Packt man die 50 kg schließlich in Würfel von 1 Nanometer Kantenlänge, erhält man eine Gesamtoberfläche von etwa 12 Quadratkilometern.

Als zweiter Effekt tritt im Nanobereich in Bezug auf physikalische Eigenschaften die nicht kontinuierliche Natur der Materie in Erscheinung: In diesem Bereich lassen sich physikalische Eigenschaften nicht mehr durch die für »große« Körper geltenden und uns vertrauten Gesetzmäßigkeiten der klassischen Physik beschreiben. Stattdessen treten Phänomene auf, die im atomaren und molekularen Bereich angesiedelt sind und die sich nur durch die dort geltenden Gesetzmäßigkeiten der Quantenphysik angemessen beschreiben lassen.

Wie bereits erwähnt, werden bestimmte Arten von Materialien – Industrieruß, amorphe Kieselsäure, Titandioxid, Pigmente – seit langem auch in Nanogröße hergestellt, ohne dass die sich aus ihrer »Kleinheit« eine Diskussion über die daraus resultierenden neuen Eigenschaften entwickelt hat. Erst als es mit der Entwicklung von Rastertunnel- und Rasterkraftmikroskop möglich wurde, einzelne Atome und Moleküle »sichtbar« zu machen und sie auf Oberflächen gezielt zu bewegen, bestand die Möglichkeit, die Herstellung von Nanostrukturen – nanostrukturieren Oberflächen und Nanomaterialien – nicht mehr eher »zufällig«, sondern auf kontrollierbare Weise zu betreiben.

Neben den bereits erwähnten Bestimmungsgrößen »chemische Zusammensetzung«, »Größe« und »Gestalt« gibt es zahlreiche weitere Einflussgrößen (auch als »Parameter« bezeichnet), die die Eigenschaften von Nanomaterialien beeinflussen. Hierzu können Parameter gehören wie Kristallstruktur, Größe der Oberfläche, Porosität des Materials, Oberflächenladung, Beschichtung der Oberfläche mit anderen chemischen Verbindungen, Löslichkeit, Agglomerations- und Aggregationsverhalten oder Reinheit (Gehalt an Verunreinigungen aus der Herstellung). Mit dieser Auflistung soll hier lediglich angedeutet werden, dass Nanomaterialien gezielt mit einer Vielfalt von besonderen Eigenschaften ausgestattet werden können, die wiederum die Basis für neue Werkstoffe oder für neue Anwendungen bilden. Dies macht die Materialklasse »Nanomaterialien« so interessant in technologischer und wirtschaftlicher Hinsicht als Ausgangsmaterial für die Herstellung von Folgeprodukten.

## Was versprechen wir uns: Neue Werkstoffe und Anwendungen

### Anwendungsfelder

Die Vielzahl der Nanomaterialien und die Vielfalt der Eigenschaften, die ihnen verliehen werden können, spiegelt sich in dem breiten Spektrum von Anwendungen wider, die sich bereits in der Entwicklung befinden oder an denen noch geforscht wird.

In einer Reihe von Broschüren sind in den vergangenen Jahren die Erwartungen an die Anwendungen von Nanomaterialien dargestellt worden. Um-

fassende Informationen liefern etwa der nano.DE-Report 2009 des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF), in dem die Markt- und Anwendungspotentiale für zehn Wirtschaftssektoren beschrieben sind ([http://www.bmbf.de/pub/nanode\\_report\\_2009.pdf](http://www.bmbf.de/pub/nanode_report_2009.pdf)), sowie eine inzwischen 15 Broschüren umfassende Reihe, die von der Aktionslinie Hessen-Nanotech herausgegeben wird (<http://www.hessen-nanotech.de/dynasite.cfm?dsmid=5374>) und in der ebenfalls detaillierte Einblicke in zahlreiche Anwendungsfelder zu finden sind.

### Übersicht Anwendungsfelder

Wirtschaftssektoren und Anwendungsfelder von Nanomaterialien

[Quellen: Meta-Roadmap Nanomaterialien – Zukünftige Entwicklungen und Anwendungen; VDI Technologiezentrum GmbH (Hrsg.); [http://www.zukunftigetechnologien.de/pdf/Band85\\_Meta-Roadmap\\_Nanomaterialien.pdf](http://www.zukunftigetechnologien.de/pdf/Band85_Meta-Roadmap_Nanomaterialien.pdf); nano.DE-Report 2009; BMBF (Hrsg.); [http://www.bmbf.de/pub/nanode\\_report\\_2009.pdf](http://www.bmbf.de/pub/nanode_report_2009.pdf)]

- Energie- und Umwelttechnik
  - Photovoltaik / Solarthermie
  - Windenergie
  - Brennstoffzellen / Wasserstoff
  - Fossile Energieträger
  - Energiespeicher
  - Hochtemperatur-Supraleiter
  - Thermoelektrische Energiewandler
  - Katalysatoren
  - Filter
  - Wasserversorgung und –aufbereitung
  - Messtechnik / Analytik
- Automobil
  - Leichtbau
  - Oberflächen / Beschichtungen / Lacke
  - Elektronik / Elektrik
  - Antriebsstrang
  - Katalysatoren
  - Fahrwerk / Reifen
- Maschinenbau
  - Oberflächen / Beschichtungen
  - Leichtbau
  - Messtechnik
- Hoch- und Tiefbau
  - Beton
  - Thermische Isolierung
  - Funktionalisierte Oberflächen
  - Beleuchtung
- Textil
  - Funktionalisierte Beschichtungen
  - Geruchsstoff/Wirkstoff abgebende Fasern
  - Fasern mit erhöhter mechanischer Festigkeit
  - Elektrisch leitfähige Fasern
  - Thermisch isolierende Fasern
- Informations- und Kommunikationstechnik/Optik
  - Nanoelektronische Bauelemente und ICs
  - Datenspeicher
  - Quantenkryptographie und Quantencomputer
  - Optische Datenübertragung
  - Displays
  - LEDs / Beleuchtung
  - Mikroskopie
- Medizin / Pharma
  - Diagnostik
  - Pharmazie / Wirkstoffentwicklung
  - Wirkstofftransport (Drug-Delivery-Systeme)
  - Wirkstoffe und Therapieverfahren
  - Implantate / Biomaterialien / Funktionale Nanostrukturen
- Sicherheitstechnik

Ein erheblicher Teil dieser künftigen Anwendungen liegt in den Bereichen Energie- und Umwelttechnik oder soll zu höherer Ressourceneffizienz führen, etwa durch bessere Wärmedämmung oder durch Gewichtsreduzierung von Fahrzeugen und Flugzeugen. Ein anderer bedeutender Teil der Anwendungen von Nanomaterialien betrifft den Medizinsektor.

labor zur marktreifen Serienfertigung erreicht sind? Differenzierte Prognosen hierzu sind in der kürzlich von der VDI Technologiezentrum GmbH herausgegebenen »Meta-Roadmap Nanomaterialien – Zukünftige Entwicklungen und Anwendungen« zu finden ([http://www.zukuenftigetechnologien.de/pdf/Band85\\_Meta-Roadmap\\_Nanomaterialien.pdf](http://www.zukuenftigetechnologien.de/pdf/Band85_Meta-Roadmap_Nanomaterialien.pdf)).

### Übersicht Anwendungsfelder Energie- und Umwelttechnik

Anwendungsbeispiele von Nanomaterialien in den Bereichen Energie- und Umwelttechnik  
[Quelle: Verantwortlicher Umgang mit Nanomaterialien. Bericht und Empfehlungen der NanoKommission der deutschen Bundesregierung 2008; [http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/nanokomm\\_abschlussbericht\\_2008.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/nanokomm_abschlussbericht_2008.pdf)]

- Energiespeicherung
  - Lithium-Ionen-Batterien
  - Brennstoffzellen-Technologie
- Energie- und Ressourceneffizienz
  - Photovoltaik
  - Wärmeisolierung
  - Alternative Produktionsprozesse in der Chemie
  - Baustoffe, Beton
  - Leichtbauwerkstoffe
  - Lösbare Klebeverbinding

- Umweltschutz
  - Nanoporöse Filter
  - Nanobasierte Photokatalysatoren
  - Easy-to-clean und selbstreinigende Beschichtungen

Dies sind Bereiche, über deren Entwicklung auch unabhängig von rein wirtschaftlichen Gründen breites Einverständnis in der Öffentlichkeit besteht, das durchaus auch Gruppen einschließt, die eine eher »technikskeptische« Grundhaltung haben. Mit anderen Worten, die unterschiedlichen Anwendungsfelder von Nanomaterialien versprechen nicht nur technologische und ökonomische Chancen, sondern ein beträchtlicher Teil stößt auch bei Menschen auf ein positives Vorverständnis, die neuen technologischen Entwicklungen sonst häufig skeptisch gegenüberstehen.

### Wann ist mit einer breiten Anwendung zu rechnen?

Vielfach wird bei den für die Öffentlichkeit bestimmten Beschreibungen der Zeithorizont der jeweiligen Anwendungen nicht deutlich – handelt es sich noch um Entwicklungen im Forschungslabor, hat die Entwicklung von Produkten für den Markt bereits begonnen, werden erste Produkte bereits hergestellt? Wie lange wird es voraussichtlich dauern, bis die einzelnen Etappen auf dem Weg vom Forschungs-

Für 29 Anwendungsfelder und -bereiche aus sechs Wirtschaftssektoren ist für die dort jeweils zum Einsatz kommenden Nanomaterialien für den Zeitraum 2008 – 2020 angegeben, mit welchen der vier Phasen – Grundlagenforschung, angewandte Forschung, erste Anwendungen, Marktdurchdringung – in welchen Jahren zu rechnen ist.

Die in der VDI-Studie vorgelegten Schätzungen über die zeitliche Entwicklung der einzelnen Anwendungsbereiche bis zur Marktreife lassen große material- und branchenspezifische Unterschiede erkennen: So wird für einige wenige Bereiche bereits eine »Marktdurchdringung« festgestellt, während für andere diese Phase erst nach 2020 erwartet wird. Für viele Anwendungen wird der Beginn der Marktdurchdringung für die Mitte oder das zweite Drittel dieses Jahrzehnts abgeschätzt.

## Lückenhaftes Wissen über Gesundheits- und Umweltwirkungen durch Vorsorge überbrücken

Auf den ersten Blick scheint die Feststellung, dass das Wissen über Gesundheits- und Umweltwirkungen von Nanomaterialien lückenhaft ist, dem Hinweis zu widersprechen, dass einige dieser Stoffe bereits seit Jahrzehnten in großen Mengen hergestellt und verwendet werden. Diese Materialien sind durchaus auf eine Reihe ihrer Wirkungen hin untersucht worden – allerdings lassen sich die Ergebnisse nicht oder nur sehr begrenzt auf andere Nanomaterialien übertragen, da die Eigenschaften der verschiedenen Nanomaterialien höchst unterschiedlich sein können und das eben auch im Hinblick auf die Wirkungen auf Gesundheit und Umwelt.

### *Wirkungen auf die Gesundheit*

Für das Verständnis der gesundheitlichen Wirkungen von Nanomaterialien ist es hilfreich, zwischen zwei Arten dieser Wirkungen zu unterscheiden: zwischen Wirkungen aufgrund der speziellen chemischen Zusammensetzung der Materialien einerseits und Wirkungen aufgrund der Eigenschaft »beständige Partikel oder Fasern« andererseits, die weitgehend unabhängig sind von der speziellen chemischen Zusammensetzung des jeweiligen Materials. Beispielhaft für die erstgenannte Art sind toxische Wirkungen etwa von Quantenpunkten, die Arsen oder Cadmium enthalten – beides Stoffe, die unter anderem krebserzeugend wirken.

Demgegenüber ist die letztgenannte Art von Wirkungen grundsätzlich immer dann zu befürchten, wenn unlösliche oder schwer lösliche Partikel eingeatmet werden und sich in der Lunge ablagern können. Solche Wirkungen sind nicht nur für Nanomaterialien zu befürchten, sondern für eingeatmete biobeständige Stäube insgesamt: bekannt sind sie für grobe und feine Stäube, und auch für ultrafeine Stäube gibt es klare Anhaltspunkte für eine solche Wirkung.

In Versuchen, bei denen verschiedene Arten biobeständiger feiner und ultrafeiner partikelförmiger Stoffe in die Lunge von Ratten eingebracht wurden, sind chronische Entzündungsreaktionen und ein erhöhtes Auftreten von Lungentumoren beobachtet worden. Allerdings werden diese Untersuchungsergebnisse schon seit mehreren Jahren kontrovers diskutiert. Einige Wissenschaftler führen die beobachtete Wirkung nämlich auf eine Überladung der Lunge mit dem verabreichten Material zurück, die so unter realistischen Bedingungen, etwa an Arbeitsplätzen,

nicht vorkommt. Ohne Überladung, so ihre Meinung, werden auch keine Lungentumore verursacht. Dagegen sind andere Wissenschaftler der Ansicht, dass die Überladungs-Hypothese nicht bewiesen ist und dass daher aus Vorsorgegründen angenommen werden sollte, dass auch geringere Partikelkonzentrationen, wie sie an Arbeitsplätzen auftreten können, zu Lungentumoren führen können. Mit anderen Worten, aus wissenschaftlicher Sicht gibt es ernstzunehmende Hinweise, dass durch eingeatmete biobeständige Partikel Tumore in der Lunge verursacht werden können, also Lungenkrebs entstehen kann.

Neben solchen Hinweisen aus Tierversuchen auf eine krebserzeugende Wirkung von eingeatmeten Stäuben insgesamt – und damit auch von eingeatmeten Nanopartikeln – deuten Ergebnisse aus Langzeituntersuchungen ebenfalls auf eine schädigende Wirkung feiner und ultrafeiner Stäube hin. Es hat sich nämlich gezeigt, dass hohe Belastungen mit ultrafeinen Stäuben in der Umwelt zu einer Zunahme von langfristigen Gesundheitsschäden wie Atemwegserkrankungen und Herz-Kreislauf-Erkrankungen, etwa Schlaganfälle und Herzinfarkte, führen. Solche ultrafeinen Stäube, die unter anderem als Verbrennungsprodukte und als Abrieb in der industriellen Produktion und im Verkehr entstehen, haben dieselbe Größe wie Nanopartikel, ohne aber die speziellen Funktionalitäten aufzuweisen, mit denen Nanomaterialien gezielt versehen werden.

Diese Ergebnisse aus Langzeitversuchen und -beobachtungen werden durch Tierversuche gestützt, in denen nach der Verabreichung von Nanopartikeln mit der Atemluft, also bei Inhalation, Entzündungsreaktionen in Lunge und Atemwegen auftraten, die stärker waren als bei der Inhalation derselben Masse größerer Partikel derselben chemischen Zusammensetzung. In wieder anderen Tierversuchen wurde festgestellt, dass bestimmte Nanopartikel Biomembranen durchdringen und ins Zellinnere gelangen, aus den Lungenbläschen ins Blut übertreten oder auch die Blut-Hirn-Schranke überwinden können.

Inzwischen ist klar, dass sich das Verhalten von Nanomaterialien im Körper nicht nur durch die Teilchenart bestimmt, sondern im Einzelfall von sehr vielen Einflussgrößen abhängen kann, wie Größe und Form der Teilchen, Beschichtung und Ladung ihrer Oberfläche, Löslichkeit und auch dem Herstellungsverfahren. Bisher ist es nicht gelungen, übergeordnete Auswirkungen dieser Einflussgrößen zu erkennen. Deshalb

lassen sich die in einzelnen Untersuchungen gefundenen Ergebnisse noch nicht verallgemeinern, so dass im Grunde jedes einzelne Nanomaterial gesondert untersucht werden müsste, was aber angesichts der Vielzahl der Materialien und ihrer Variationen praktisch nicht möglich ist.

Die Summe der einzelnen Hinweise über die Wirkungen von feinen und ultrafeinen Stäuben sowie aus Untersuchungen an Tieren und Zellkulturen zusammen mit bestimmten Eigenschaften von Nanomaterialien – ihre höhere Reaktivität im Vergleich zu »gröberen« Materialien derselben chemischen Zusammensetzung sowie spezielle Funktionalitäten, mit denen sie gezielt versehen sein können – begründen die generelle Befürchtung, dass von ihnen möglicherweise besondere Schädigungswirkungen ausgehen können. Zudem gibt die geringe Größe Anlass zur Sorge, da sie in einer hohen Beweglichkeit resultiert und sowohl weite Verbreitung ermöglicht als auch den Transport im Körper erleichtert.

### *Wirkungen auf die Umwelt*

Während also hinsichtlich der gesundheitlichen Wirkungen von Nanomaterialien grobe, wenn auch – vor allem in Bezug auf langfristige Effekte – lückenhafte Erkenntnisse vorliegen, ist über Wirkungen auf die Umwelt bislang fast nichts bekannt. Grundlegende Fragen sind noch unbeantwortet – Ausbreitung in Wasser und Boden, Anlagerung an andere Partikel, Anreicherung in Sedimenten, Boden und Organismen, Beständigkeit und Veränderung von Nano-Eigenschaften und Funktionalitäten, um die wichtigsten zu nennen.

Diese Hinweise machen deutlich, dass wir erst am Anfang stehen und noch viele Fragen zu klären sind, bevor eine verlässliche Abschätzung der Risiken, die von Nanomaterialien für Gesundheit und Umwelt ausgehen könnten, möglich wird.

Solange dies aber so ist und die gegenwärtig noch bestehenden umfangreichen Wissenslücken über Eigenschaften und Verhalten von Nanomaterialien in Bezug auf Gesundheit und Umwelt nicht geschlossen sind, sollte aus Vorsorgegründen eine Belastung von Mensch und Natur mit freien, beständigen Nanomaterialien minimiert werden.

So einfach es klingt, vorsorgendes Handeln einzufordern, so schwierig ist es, im Einzelfall und in Hinblick auf die verschiedenen Schutzziele – Gesundheit von Beschäftigten und Verbrauchern, Umwelt – zu

beschreiben, wie dieses Handeln konkret aussehen sollte. Denn gleichzeitig sind auch andere Ziele – wie technologische und wirtschaftliche Entwicklung, Sicherung von Arbeitsplätzen – ausreichend zu berücksichtigen. Letztlich muss eine Balance der unterschiedlichen Ziele angestrebt werden.

### *Gezieltes vorsorgendes Handeln*

Angesichts dieser Problematik einer ausgewogenen Balance ist es sinnvoll, sich auf dem Weg zu konkreten Beschreibungen vorsorgenden Handelns zum Schutz von Gesundheit und Umwelt in einem ersten Schritt auf diejenigen Bereiche zu konzentrieren, in denen aller Voraussicht nach die größten Risiken bestehen könnten. Dies ist überall dort der Fall, wo beständige Nanomaterialien direkt auf Menschen einwirken können oder direkt in die Umwelt gelangen können. »Direkt« bedeutet dabei, dass die Nanomaterialien unmittelbar mit Lebewesen oder Umweltmedien in Kontakt treten können. Dies kann auch der Fall sein, wenn sie zunächst in andere Materialien oder in Produkte eingebettet sind, aus denen sie aber bei deren Verwendung oder Entsorgung unter Beibehaltung ihrer Nano-Eigenschaften wieder freigesetzt werden können.

Wenn man diese Überlegungen weiter verfolgt, lassen sich für die Bereiche Arbeitswelt, privater Verbrauch und Umwelt bestimmte kritische Situationen eingrenzen, für die vorsorgende Handlungsweisen vordringlich entwickelt werden sollten. Für den Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz ist ein solches vorsorgendes Handeln in den folgenden Kapiteln detailliert beschrieben.

### *Arbeitsschutz*

Kritische Situationen im Arbeitsschutz sind überall dort zu erwarten, wo Nanomaterialien außerhalb geschlossener Anlagen gehandhabt werden. Während der eigentliche Herstellungsprozess aus Gründen der Qualitätssicherung der Produkte durchweg in geschlossenen Anlagen erfolgt, kommt bei der Herstellung die Handhabung außerhalb geschlossener Anlagen in erster Linie bei begleitenden Tätigkeiten wie dem Befüllen und Entleeren von Anlagen, bei Abfüllvorgängen und Probenahmen vor sowie beim großen Bereich der Reinigungs-, Wartungs- und Instandsetzungstätigkeiten von Produktions- und Weiterverarbeitungsanlagen.



Ferner sind Bereiche, die der Produktion vor- und nachgelagert sind, als kritisch anzusehen. Hierzu zählen zum einen der Bereich der Forschung und Entwicklung (F+E). Zum anderen handelt es sich um die Weiterverarbeitung von Nanomaterialien, vor allem wenn diese in pulverförmigem Zustand eingesetzt werden. Auch hier ist davon auszugehen, dass erheblich unterschiedliche Schutzstandards anzutreffen sind, abhängig davon, ob die Weiterverarbeitung in geschlossenen Anlagen auf dem Niveau der Großchemie erfolgt oder aber in halboffenen Anlagen und unter Bedingungen, die nicht den heutigen technischen Möglichkeiten entsprechen. Ähnlich verhält es sich für die Nutzung von Gemischen, die Nanomaterialien enthalten, außerhalb geschlossener Anlagen oder Verfahren. Besonders kritisch ist hier generell die Handhabung von Pulvern sowie das Versprühen von Flüssigkeiten.

Kritisch ist ferner die mechanische oder thermische Bearbeitung von Produkten, die Nanomaterialien enthalten, wenn diese dabei freigesetzt werden können. Dies ist vor allem beim Schleifen, bei der spanenden Bearbeitung oder der Laserbearbeitung zu erwarten und betrifft auch Reparaturarbeiten an Teilen aus nanomaterialhaltigen Erzeugnissen im Verlauf der Nutzung des Produkts.

Schließlich können auch bestimmte Aktivitäten am Ende des Produkt-Lebenszyklus kritisch sein, etwa die Wiederaufarbeitung oder das Recycling von Produkten und Produktkomponenten.

### *Verbraucherbereich*

Für Verbraucher ist die Verwendung von nanomaterialhaltigen Lebensmitteln und Kosmetika als kritisch anzusehen, denn dort ist eine direkte Einwirkung ja gerade das Ziel der Produktnutzung. Ebenfalls kritisch für Verbraucher kann die Verwendung von Textilien sein, die mit Nanomaterialien beschichtet sind, wenn diese während des Tragens der Textilien aus dem Gewebe freigesetzt werden können. Wie in der Arbeitswelt sind ebenfalls im Haushalt und im Heimwerkerbereich Sprühanwendungen Nanomaterialhaltiger Flüssigprodukte als kritisch anzusehen.

### *Umwelt*

Aus Sicht des Umweltschutzes sind ebenfalls diejenigen Situationen als kritisch zu betrachten, die bereits unter dem Blickwinkel des Gesundheitsschutzes von Beschäftigten und Verbrauchern genannt worden sind. Überall dort, wo Nanomaterialien auf den Menschen einwirken können, haben sie immer auch die Möglichkeit, in die Umwelt zu gelangen. So ist davon auszugehen, dass zum Beispiel Kosmetika nach der Verwendung abgewaschen werden und dann nahezu vollständig im Abwasser enden. Zudem können Nanomaterialien bei der Reinigung bestimmter Nano-Produkte, vor allem beim Waschen von Textilien, die mit Nanomaterialien beschichtet sind, in zum Teil erheblichem Ausmaß freigesetzt werden und ebenfalls ins Abwasser gelangen.

Ferner können Nanomaterialien über Abluft, Abwasser und Abfall aus Produktions- und Weiterverarbeitungsprozessen die Umwelt belasten. Spezielle Hinweise zu diesem betriebsbezogenen Aspekt sind am Ende von Kapitel III zu finden. Als vermutlich größter Umwelteintrag ist schließlich das Ende der Verwendung von Produkten zu berücksichtigen. Letztendlich sind immer Fragen zu beantworten wie:

- Wo bleiben die produzierten Nanomaterialien »am Ende«?
- Wie verhalten sich Nanomaterialien in Kläranlagen, bei der Müllverbrennung oder in Recycling-Prozessen?
- Verlieren sich ihre Nano-Eigenschaften?
- Wenn ja, über welche Zeiträume?
- Werden Nanomaterialien, die in andere Materialien eingebettet sind, daraus wieder freigesetzt? Innerhalb welcher Zeiträume? Verfügen sie dann noch über ihre »Nano-Eigenschaften«?

Aus den Antworten, die gesondert für jeden Einzelfall, also material- und anwendungsspezifisch, gefunden werden müssen, wird sich dann abschätzen lassen, ob und in welchem Umfang vorsorgender Handlungsbedarf besteht.

## II. Nanomaterialien – wo ist der Arbeitsschutz besonders gefordert?

Bei Tätigkeiten mit Nanomaterialien muss die Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten vor Gefährdungen sowohl durch Brände und Explosionen als auch durch die gesundheitsschädigenden Eigenschaften der Stoffe geschützt werden.

Für viele pulverförmige Materialien besteht die Gefahr der Selbstentzündung oder einer Explosion in normaler Umgebungsluft. Zudem besteht bei unsachgemäßer Handhabung vielfach die Gefahr einer elektrostatischen Aufladung. Hinweise auf Vorkehrungen gegen diese Gefährdungen, die bei der Handhabung solcher Nanomaterialien auftreten können, sind in Kapitel III zu finden.

In einigen Arbeitsbereichen ist die Wahrscheinlichkeit für einen direkten Kontakt mit Nanomaterialien besonders groß:

- Forschung und Entwicklung
- Produktionsbegleitende Tätigkeiten: Füllvorgänge, Probenahme, Reinigung, Wartung, Instandhaltung
- Weiterverarbeitung
- Verwendung von Pulvern, Sprühanwendung von Flüssigkeiten
- Mechanische und thermische Bearbeitung
- Entsorgung: Wiederaufarbeitung, Recycling

Der im Arbeitsschutz vertraute Gedanke – als bestem Schutz vor möglichen schädigenden Wirkungen von Chemikalien gar nicht erst mit ihnen in Kontakt zu kommen – ist häufig nicht umsetzbar bzw. anwend-

bar. Die Aufnahme in den Körper ist auf drei Wegen möglich: über die Atmung, über die Haut und durch Verschlucken. Am einfachsten ist es, durch gezielte Hygiene das Verschlucken zu vermeiden. Eine Aufnahme über die Haut ist prinzipiell zwar vorstellbar, doch bildet die ungeschädigte Haut eine gute Barriere gegen Nanopartikel. Selbst wenn durch kleinste Hautverletzungen Nanopartikel in den Körper eindringen können, so ist nicht zu vermuten, dass ihr Beitrag zur Gesamtbelastung im Vergleich zur Belastung über die Atmung von großer zusätzlicher Bedeutung ist. Die Aufnahme über die Atmung hat am Arbeitsplatz die größte Bedeutung. Nanomaterialien können immer dann in die Atemluft geraten, wenn sie bei der Herstellung oder Verarbeitung in Form von Stäuben oder Aerosolen vorliegen oder in dieser Form freigesetzt werden. Wegen ihrer geringen Größen verbleiben Nanomaterialien, wenn sie einmal freigesetzt sind, länger als größere und damit schwerere Teilchen in der Luft. Wenn der eigentliche Arbeitsbereich, in dem sie entstehen, nicht abgetrennt ist, können sie deshalb auch in entfernte Bereiche verdriften und zu Belastungen bei dort Beschäftigten führen.

Zusätzlich zu diesen allgemeinen Betrachtungen lassen sich spezielle Anhaltspunkte für den Arbeitsschutz aus den individuellen Materialeigenschaften ableiten. Nicht alle Arten von Nanomaterialien müssen unterschiedslos behandelt werden. Eine erste, wenn auch grobe Differenzierung – und damit im Grunde eine Differenzierung von Schutzmaßnahmen – ist möglich.

### Eine erste Hilfe: Einteilung von Nanomaterialien in vier Gruppen

Für den gegenwärtigen Zeitraum unzureichenden Wissens über die gesundheitlichen Wirkungen von Nanomaterialien wird von Fachleuten für die Zwecke des Arbeitsschutzes eine grobe Einteilung in vier Gruppen empfohlen:

- lösliche Materialien
- biobeständige Materialien ohne spezifische toxische Eigenschaften und ohne faserförmige Strukturen
- Materialien mit spezifischen toxischen Eigenschaften
- biobeständige faserförmige Materialien

#### *Lösliche Nanomaterialien*

Handelt es sich bei dem Material ausschließlich um lösliche Nanopartikel, die aus einem Stoff bestehen, der sich in Untersuchungen nicht als gesundheitsschädigend erwiesen hat, so ist keine Gefährdung zu befürchten. Trotzdem sollte auch gegenüber solchen Stoffen eine Belastung vermieden werden.

Weisen lösliche Nanomaterialien gesundheitsschädigende Eigenschaften auf, so müssen sich die Arbeitsschutzmaßnahmen an diesen Eigenschaften ausrichten. Als Anhaltspunkt können diejenigen

Maßnahmen dienen, die für diesen Stoff getroffen werden, wenn er in größerer Form vorliegt. Für Luftführungssysteme und Filtermaterialien ist die unterschiedliche Partikelgröße zu berücksichtigen.

### *Biobeständige Nanomaterialien ohne spezifische toxische Eigenschaften und ohne faserförmige Strukturen*

Handelt es sich bei dem Material um biobeständige Nanopartikel, die aus einem Stoff bestehen, der sich in Untersuchungen nicht als gesundheitsschädigend erwiesen hat, so müssen sich die Arbeitsschutzmaßnahmen an den generellen Maßnahmen bei Belastungen mit Ultrafeinstäuben ausrichten. Da es für biobeständige Ultrafeinstäube ernstzunehmende Hinweise auf krebserzeugende Wirkung gibt, die derjenigen durch Dieselruß-Partikel ähnelt, ist eine Minimierung der Belastung erforderlich.

Materialien in dieser Stoffklasse sind beispielsweise Industrieruß, Titandioxid, Aluminiumoxid, Aluminiumsilikat und Zirkonoxid. Sie wurden früher auch als »inerte Stoffe« bezeichnet.

### *Nanomaterialien mit spezifischen toxischen Eigenschaften*

Besteht das Nanomaterial aus einem oder mehreren Stoffen, der oder die gesundheitsschädigende Eigenschaften aufweisen, so müssen sich die Arbeitsschutzmaßnahmen an diesen Eigenschaften ausrichten. Gleichzeitig sind die Maßnahmen so einzurichten, dass eine deutlich geringere Belastung erreicht wird, als dies für die betreffenden Stoffe in größerer Form erforderlich wäre. Grund dafür ist die Annahme, dass die Bioverfügbarkeit von Nanomaterialien angesichts ihrer größeren spezifischen Oberfläche im Vergleich zu größeren Partikeln erhöht ist.

Besondere Maßnahmen sind zu treffen, wenn das Material als krebserzeugend eingestufte Stoffe enthält wie die folgenden:

- Arsen oder Arsenverbindungen (etwa in Quantenpunkten oder Quantum Dots)
- Cadmium oder Cadmiumverbindungen (etwa in Quantenpunkten oder Quantum Dots)
- Chrom(VI)-Verbindungen
- Nickel oder Nickelverbindungen (wie Nickelsulfid oder Nickeloxid)
- Kristallines Siliziumdioxid (Quarz)

Beachtet werden muss ferner, dass die Toxizität von Nanomaterialien durch Beschichtung (coating) mit anderen Verbindungen verstärkt werden kann. Im Einzelfall können auch Nanomaterialien ohne spezifische toxische Eigenschaften durch Beschichtung spezifische Toxizität erlangen.

### *Biobeständige faserförmige Nanomaterialien*

Weist das Material biobeständige faserförmige Strukturen auf, so können asbestähnliche Wirkungen zunächst nicht ausgeschlossen werden und die Arbeitsschutzmaßnahmen müssen sich an denen für Tätigkeiten mit Asbest ausrichten. Hintergrund für diese weitreichenden Anforderungen ist zum einen das sogenannte »Faserprinzip«, gemäß dem faserförmige Stäube, deren Bestandteile lang, dünn und biobeständig sind, bei Inhalation grundsätzlich geeignet sind, Lungenkrebs zu verursachen. Zum anderen sind in Tierversuchen mit bestimmten, wenig biegsamen Kohlenstoff-Nanoröhren (Carbon Nanotubes - CNTs) Hinweise auf das Auftreten von Mesotheliomen, einer Krebserkrankung des Rippen- und Bauchfells, festgestellt worden. Dabei haben sich die untersuchten CNTs als mindestens so wirksam erwiesen wie der ebenfalls untersuchte Blauasbest.

Allerdings scheinen nicht alle CNTs asbestähnliche Wirkungen aufzuweisen, worauf die Untersuchungen zweier Unternehmen an den von ihnen hergestellten Produkten hindeuten. Trotz der Ähnlichkeit der beiden Produkte unterscheiden sich deren Testergebnisse deutlich: Für das eine Produkt reicht möglicherweise ein Schutzniveau aus, wie es für nicht faserförmige biobeständige Nanomaterialien erforderlich ist, während für das zweite Produkt ein Schutzniveau notwendig ist, das mit dem für nanoförmigen krebserzeugenden Quarzstaub vergleichbar ist.

Festzuhalten ist, dass für biobeständige faserförmige Nanomaterialien, zu denen unter anderem alle Arten von Carbon Nanotubes gehören, nur dann keine asbestähnlichen Eigenschaften angenommen werden sollten, wenn der Hersteller dies für sein jeweiliges Produkt durch Untersuchungen nachgewiesen hat. Dann kann auch dem Sicherheitsdatenblatt entnommen werden, welches Schutzniveau erforderlich ist.

Als Ergebnis der Betrachtung dieser vier Gruppen lässt sich zusammenfassen:

Abgesehen von löslichen Nanomaterialien ohne gesundheitsschädigende Wirkungen, die derzeit in der Praxis vermutlich keine bedeutende Rolle spielen, ist bei Tätigkeiten mit Nanomaterialien mindestens ein Schutzniveau wie für biobeständige Ultrafeinstäube erforderlich. Für solche Stäube bietet der Allgemeine Staubgrenzwert keinen ausreichenden Schutz. Angesichts ernstzunehmender Hinweise auf krebserzeugende Wirkung scheint nach gegenwärtigem Wissensstand mindestens ein Schutzniveau erforderlich, bei dem Belastungen von  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  nicht überschritten werden.

Allerdings gilt dieses Ergebnis nicht ohne Vorbehalte, die im Folgenden erläutert sind. Zum einen können Nanomaterialien beschichtet oder funktionalisiert sein, wodurch sich die gesundheitlichen Wirkungen beträchtlich von denen unbeschichteter, ansonsten aber identischer Materialien unterscheiden können. Zum anderen ist ungewiss, ob die Angabe einer Massenkonzentration (üblicherweise in Milligramm pro Kubikmeter –  $\text{mg}/\text{m}^3$  – oder in Mikrogramm pro Kubikmeter –  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) als Konzentrationsangabe für Nanomaterialien überhaupt aussagekräftig ist, oder ob stattdessen nicht andere Maße – Teilchenzahlkonzentration oder Oberflächenkonzentration – besser für die Beschreibung gesundheitlicher Wirkungen geeignet sind.

## Beschichtungen von Nanomaterialien können gesundheitliche Wirkungen erheblich ändern

Um das Verhalten von Nanomaterialien zu beeinflussen oder um ihre Agglomeration zu verhindern, werden die Oberflächen der Partikel häufig beschichtet oder chemisch verändert. Dies kann durch die Anlagerung einer dünnen Schicht aus andersartigen Molekülen geschehen oder, besonders bei kohlenstoffhaltigen Nanomaterialien, durch den Einbau funktioneller Gruppen. Durch derartige Modifikationen, die primär auf die Gestaltung der Materialeigenschaften abzielen, kann sich gleichsam als Nebenwirkung auch das biologische Verhalten und damit das toxische Potential der Materialien verändern.

Gegenwärtig lassen sich noch keine Vorhersagen machen, wie sich bestimmte Beschichtungen oder chemische Veränderungen im Einzelfall auf gesundheits- oder umweltbeeinträchtigende Eigenschaften auswirken. Angesichts der Vielzahl der möglichen Modifikationen ist nicht zu erwarten, dass das erforderliche Wissen rasch verfügbar sein wird.

## Luftkonzentrationen von Nanomaterialien: Welche Maßangabe ist aussagekräftig?

Zur Beschreibung der toxischen Wirkung von Stoffen wird deren Konzentration in der Luft üblicherweise als Volumenkonzentration (Milliliter pro Kubikmeter – ml/m<sup>3</sup> oder ppm) oder als Massenkonzentration (Milligramm pro Kubikmeter – mg/m<sup>3</sup>) angegeben. Bei Versuchen, in denen Ratten und Mäuse unterschiedlich große Partikel desselben Nanomaterials eingeatmet haben, hat sich gezeigt, dass die Schädigung durch dieselbe **Masse** unterschiedlich großer Partikel unterschiedlich ist: danach erscheinen kleinere Partikel stärker wirksam als größere Partikel. Bezieht man allerdings die gemessene Wirkung auf die gesamte **Oberfläche** der eingeatmeten Partikel, dann wird kein Unterschied zwischen kleineren und größeren Partikeln sichtbar.

Dies kann man sich so erklären, dass für die schädigende Wirkung vor allem diejenigen Moleküle verantwortlich sind, die sich an der Oberfläche der Partikel befinden, während die Moleküle im Inneren der Partikel kaum wirksam sind. Da sich bei kleineren Partikeln vergleichsweise mehr Moleküle an der Oberfläche befinden als bei größeren Partikeln, reicht eine geringere Gesamtmasse an kleineren Partikeln aus, um die Wirkung auszulösen.

In anderen Untersuchungen ist allerdings gefunden worden, dass sich die dort beobachteten Wirkungen am besten mit der **Anzahl** der eingeatmeten Partikel beschreiben lassen. Da kleinere Partikel eine geringere Masse als größere Partikel haben, ist auch hier offensichtlich, dass – bezogen auf dieselbe Masse – kleinere Partikel wirksamer zu sein scheinen als größere Partikel.

Noch ist nicht geklärt, welche der Maßangaben (auch als »Metrik« bezeichnet) für die Beschreibung toxischer Wirkungen am geeignetsten ist. Gegenwärtig wird empfohlen, bei entsprechenden Untersuchungen oder bei Luftmessungen neben der Maßangabe »Massenkonzentration« noch die Teilchenzahlkonzentration anzugeben.

## III. Nanomaterialien – was gibt die Gefahrstoffverordnung vor?

Tätigkeiten mit Nanomaterialien machen immer eine **Gefährdungsbeurteilung** erforderlich, auch wenn das betreffende Nanomaterial nicht als »gefährlicher Stoff« eingestuft worden ist. Die einzelnen Schritte der Gefährdungsbeurteilung sind die

- Informationsermittlung,
- Beurteilung der gesundheitsgefährdenden Eigenschaften,
- Ermittlung der Exposition,
- Ableitung der Schutzmaßnahmen,
- Prüfung der Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen,
- arbeitsmedizinische Vorsorge,

- Information der Beschäftigten sowie
- Dokumentation der Gefährdungsbeurteilung.

Für die **Lagerung** von Nanomaterialien gelten ebenfalls die Vorgaben der GefStoffV. Hinweise zu diesem Thema werden in einem eigenen Abschnitt gegeben.

Der **betriebliche Umweltschutz** steht zwar außerhalb des Regelungsbereichs der GefStoffV, doch ist es durchweg sinnvoll, bei der Planung und Umsetzung der Schutzmaßnahmen für den Arbeitsschutz die Anforderungen aus dem Bereich des Umweltschutzes gleich mit zu berücksichtigen.

### Tätigkeiten mit Nanomaterialien erfordern eine Gefährdungsbeurteilung

Für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen ist eine Gefährdungsbeurteilung durchzuführen – wenn die Stoffe und Gemische als »gefährlich« eingestuft und gekennzeichnet sind, weil sie entzündlich oder gesundheitsschädigend sind.

Doch können auch Stoffe, obwohl sie nicht als gefährlich eingestuft sind, gleichwohl Gefahrstoffe sein? Muss für sie dann ebenfalls eine Gefährdungsbeurteilung durchgeführt werden? Diese Fragen sind in Hinblick auf Nanomaterialien von erheblicher Bedeutung, denn viele gebräuchliche Nanomaterialien sind nicht als »gefährlich« eingestuft und dementsprechend nicht gekennzeichnet – so die typischen »biobeständigen Nanomaterialien ohne spezifische toxische Eigenschaften und ohne faserförmige Strukturen« wie beispielsweise Industrieruß oder Titandioxid.

Die Antworten sind ein eindeutiges »Ja«: In der GefStoffV werden in die Definition des Begriffs »Gefahrstoffe« (§ 2 Absatz 1 GefStoffV) auch »Stoffe und Zubereitungen« einbezogen, die »auf Grund ihrer physikalisch-chemischen, chemischen oder toxikologischen Eigenschaften und der Art und Weise, wie sie am Arbeitsplatz vorhanden sind oder verwendet werden, die Gesundheit und die Sicherheit der Beschäftigten gefährden können«. Diese Beschreibung umfasst zum Beispiel alle beständigen mineralischen Stäube, unabhängig von der Größe der Staubteilchen. Für die Eigenschaft »Gefahrstoff« kommt es für sie also nicht auf ihre chemische Zusammensetzung an, sondern auf ihre Beständigkeit: Entsprechend sind alle biobeständigen Nanomaterialien ebenfalls als Gefahrstoffe zu behandeln, unabhängig von ihren toxischen Eigenschaften.

### Schritt für Schritt durch die Gefährdungsbeurteilung

#### Informationsermittlung

Startpunkt der Gefährdungsbeurteilung ist stets die Informationsermittlung. Grundlegendes Hilfsmittel ist dabei das Sicherheitsdatenblatt (SDB) beziehungsweise das mit der neuen REACH-Verordnung geschaffene erweiterte Sicherheitsdatenblatt (eSDB). Das eSDB ist ein SDB mit einem Anhang, in dem so genannte Expositionsszenarien zusammengestellt sind. In einem Expositionsszenario ist beschrieben,

unter welchen Bedingungen eine bestimmte Verwendung des betreffenden Stoffes erfolgen kann, ohne dass die menschliche Gesundheit oder die Umwelt dabei geschädigt werden.

Für Nanomaterialien, für die vom Hersteller ein eSDB geliefert werden muss, stehen damit für große Teile der Gefährdungsbeurteilung in Zukunft umfassende Hilfen zur Verfügung. Allerdings ist die Pflicht zur Lieferung eines Sicherheitsdatenblattes daran geknüpft,



dass der betreffende Stoff als »gefährlich« eingestuft sein muss. Gleiches gilt für die Entwicklung von Expositionsszenarien.

Wegen dieser Einschränkung der Pflicht ein SDB bzw. ein eSDB zu liefern, kann für eine komplette Gruppe wichtiger Nanomaterialien – nämlich der biobeständigen ohne spezifische toxische Eigenschaften und ohne faserförmige Strukturen – für die Gefährdungsbeurteilung nicht automatisch auf Unterstützung durch ein SDB gerechnet werden. In diesem Fall sollte versucht werden, vom Lieferanten oder Hersteller auf freiwilliger Basis ein SDB zu erhalten. Da die Informationen in einem SDB bei weitem nicht so umfassend sind wie in einem Expositionsszenario, sollte überdies versucht werden, auf freiwilliger Basis zusätzlich ebenfalls Expositionsszenarien für die Verwendung von Nanomaterialien zu bekommen.

Ein weiteres absehbares Problem ist der Umfang der im SDB zu liefernden Informationen: Da die Inhalte von SDB lange vor der Diskussion über Nanomaterialien und ihre speziellen Eigenschaften entwickelt und festgelegt worden sind, umfassen die Pflichtangaben im SDB nicht Angaben zu Größen, die aus heutiger Sicht zur Beurteilung von Nanomaterialien erforderlich sind. Vor diesem Hintergrund hat der VCI bereits 2008 in seinem »Leitfaden zur Informationsweitergabe in der Lieferkette beim Umgang mit Nanomaterialien über das Sicherheitsdatenblatt« empfohlen, entsprechende Inhalte auf freiwilliger Basis im SDB zu übermitteln.

Enthält also ein Sicherheitsdatenblatt für Nanomaterialien die vom VCI empfohlenen Informationen nicht und erscheinen sie für die Gefährdungsbeurteilung erforderlich, so sollte der Hersteller oder der Lieferant unter Verweis auf die VCI-Empfehlungen um entsprechende Informationen gebeten werden.

### *Beurteilung der gesundheitsgefährdenden Eigenschaften*

Vielfach bestehen noch große Wissenslücken über die gesundheitsschädigenden Eigenschaften von Nanomaterialien. Häufig offenbart bereits ein Blick ins SDB den Umfang der Datenlücken. Doch auch dort, wo solche Angaben zu finden sind, sollte stets die Frage gestellt werden, ob sie aus Untersuchungen am vorliegenden Nanomaterial gewonnen worden sind oder ob die Untersuchungen an ähnlichen, aber nicht identischen Materialien durchgeführt worden sind. Dabei kann es sich um chemisch gleiches Nanomaterial handeln, das allerdings nicht oder

mit anderen Verbindungen beschichtet war, oder um den chemisch gleichen, jedoch in größerer Form vorliegenden Stoff. Für solche Klärungen sind Gespräche mit dem Hersteller unumgänglich.

Werden Datenlücken festgestellt, dann führt der in der GefStoffV vorgegebene Weg, bestimmte gesundheitsschädigende Wirkungen für den Zweck der Gefährdungsbeurteilung zu unterstellen (s. § 6 Absatz 12 GefStoffV) angesichts der insgesamt noch sehr beschränkten Kenntnisse über die gesundheitlichen Wirkungen von Nanomaterialien und der Unzulässigkeit, vorhandene Kenntnisse über ein Material auf ein anderes, nicht identisches Material zu übertragen, vermutlich nur sehr begrenzt weiter.

Aus diesem Grund wird sowohl im »Leitfaden für Tätigkeiten mit Nanomaterialien am Arbeitsplatz«, der 2007 gemeinsam von der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) und dem VCI herausgegeben worden ist (verfügbar im Internet unter: [http://www.baua.de/nn\\_43190/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/Nanotechnologie/pdf/Leitfaden-Nanomaterialien.pdf](http://www.baua.de/nn_43190/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/Nanotechnologie/pdf/Leitfaden-Nanomaterialien.pdf)), als auch im unternehmens-eigenen »Leitfaden zur sicheren Herstellung und bei Tätigkeiten mit Nanopartikeln an Arbeitsplätzen der BASF SE« (verfügbar im Internet unter: [http://www.basf.com/group/corporate/de/function/conversions:/publish/content/sustainability/dialogue/in-dialogue-with-politics/nanotechnology/images/BASF-LeitfadenArbeitssicherheitNanopartikel\\_de.pdf](http://www.basf.com/group/corporate/de/function/conversions:/publish/content/sustainability/dialogue/in-dialogue-with-politics/nanotechnology/images/BASF-LeitfadenArbeitssicherheitNanopartikel_de.pdf)) empfohlen, die Exposition mit Nanomaterialien zu minimieren. Im BASF-Leitfaden wird dies dahingehend konkretisiert, dass die Exposition die unbelastete Umgebungsluft nicht übersteigen sollte. Mit anderen Worten, bei Messungen sollte keine Erhöhung der Hintergrundbelastung durch ultrafeine Stäube aus allen möglichen anderen Quellen festgestellt werden können.

### *Ermittlung der Exposition*

Zur Ermittlung der Exposition mit Nanomaterialien über die Atemluft stehen unterschiedliche Messverfahren zur Verfügung, mit denen die Massenkonzentration, die Konzentration der Partikelanzahl oder die Größenverteilung der Nanopartikel bestimmt werden können. Allerdings sind diese Verfahren noch nicht standardisiert, so dass die Ergebnisse nur bedingt untereinander verglichen werden können. Um überhaupt eine Vergleichbarkeit von Messungen mit unterschiedlichen Verfahren zu ermöglichen, muss in jedem Fall neben dem Messergebnis auch das verwendete Messverfahren angegeben werden.

Trotz dieser Schwierigkeit lassen sich Arbeitsplatzmessungen, mit denen etwa die Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen überprüft werden soll, sinnvoll durchführen, wenn dafür dasselbe Verfahren bzw. derselbe Gerätetyp genutzt wird. Genauere Informationen über Messverfahren für die betriebliche Praxis sind sowohl im BAuA-/VCI-Leitfaden für Tätigkeiten mit Nanomaterialien am Arbeitsplatz in Abschnitt IV, Stand und Entwicklungen der Messtechnik bei Nanopartikeln, zu finden (verfügbar im Internet unter: [http://www.baua.de/nn\\_43190/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/Nanotechnologie/pdf/Leitfaden-Nanomaterialien.pdf](http://www.baua.de/nn_43190/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/Nanotechnologie/pdf/Leitfaden-Nanomaterialien.pdf)) als auch auf der Website »Ultrafeine Aerosole und Nanopartikel am Arbeitsplatz« im Abschnitt »Messtechnische Empfehlungen«, die vom IFA, dem Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, erstellt worden ist (Internet-Adresse: <http://www.dguv.de/ifa/de/fac/nanopartikel/messtechnik/index.jsp>).

Erschwerend kommt zusätzlich hinzu, dass die angesprochenen Verfahren keine Angaben über die Art, also die chemische Zusammensetzung der gemessenen Partikel liefern: Mit ihnen kann nicht unterschieden werden, ob es sich bei den gemessenen Teilchen um Nanopartikel oder um ultrafeine Staubpartikel aus der Hintergrundbelastung durch andere Staubquellen handelt, beispielsweise um Abgase aus Dieselmotoren oder um Schweißrauch. Um das zu klären, sind zusätzliche Untersuchungen mit Elektronenmikroskopie und Röntgen-Fluoreszenz-Analyse oder Elektronenstreuung erforderlich, die einen hohen Aufwand erfordern.

### *Ableitung der Schutzmaßnahmen*

Vor der Ableitung von Schutzmaßnahmen muss geklärt sein, welche Gefährdungen von den verwendeten Nanomaterialien in Bezug auf Gesundheitsschäden sowie auf Brand- und Explosionsgefahren ausgehen können. Weiter muss geklärt sein, ob es zu einer Exposition der Beschäftigten kommen kann, welcher Expositionsweg – Atemwege oder Haut – auftreten kann, welche Höhe und Dauer die Exposition haben kann und wie häufig sie vorkommt. Die Antworten auf alle diese Fragen können Einfluss auf die festzulegenden Maßnahmen haben.

Bei der Auswahl der Maßnahmen muss die Rangfolge der Schutzmaßnahmen beachtet werden: Gemäß dem STOP-Prinzip ist zunächst eine Substitution zu prüfen, dann sind technische Maßnahmen zu treffen, danach organisatorische Maßnahmen anzuwenden. Erst, wenn all dies nicht ausreicht, muss als letztes

Mittel auf persönliche Schutzmaßnahmen zurückgegriffen werden.

### *Substitution*

Da Nanomaterialien durchweg gezielt eingesetzt werden, scheidet ihr Ersatz durch nicht-nanoförmige, also gröbere Materialien, in der Regel aus. Substitution schließt aber auch ein, Materialien in einer Form zu verwenden, bei denen es zu keiner oder lediglich zu erheblich geringeren Expositionen kommt. Im Fall von Nanomaterialien kann das bedeuten, anstelle von Nanomaterialien in Pulverform oder von Pulvern, die Nanomaterialien enthalten, dasselbe Material in Form von Granulaten, Pasten oder in einer Flüssigkeit, also als Suspension, zu verwenden. Beim Einsatz von Suspensionen ist darauf zu achten, dass es bei Befüllvorgängen oder anderen Tätigkeiten außerhalb geschlossener Systeme nicht zu Aerosolbildung kommt.

Als Unterstützung bei der Festlegung der Schutzmaßnahmen sollten stets auch die Informationen des Herstellers oder Lieferanten im SDB beziehungsweise im erweiterten SDB einschließlich Expositionsszenario genutzt werden. Darüber hinaus ist ebenfalls Anhang I, Nr. 2 der GefStoffV, Partikelförmige Gefahrstoffe, zu berücksichtigen, sofern sich die Verwendung pulverförmiger Nanomaterialien oder von Pulvern, die Nanomaterialien enthalten, nicht vermeiden lässt.

### *Technische Maßnahmen*

Hinsichtlich technischer Maßnahmen sollte überall dort, wo dies möglich ist, einem geschlossenen System der Vorzug gegeben werden oder versucht werden, vorhandene Anlagen, die nicht geschlossen sind, zu kapseln. Andernfalls sind Absaugungen vorzusehen. Tätigkeiten im Forschungs- und Laborbereich sollten ebenfalls nicht offen erfolgen, sondern unter Abzügen oder in Handschuhkästen. Das gilt auch für Tätigkeiten mit Flüssigkeiten – es ist nämlich beobachtet worden, dass bei der Ultraschall-Behandlung von Suspensionen feinste Aerosole freigesetzt wurden, die wiederum die betreffenden Nanomaterialien enthielten.

Auch bei Verwendung geschlossener oder gekapselter Systeme und Anlagen wird es Tätigkeiten geben, die ein Öffnen der Anlagen erfordern, etwa für Probenahmen sowie für Reinigungs- und Wartungsarbeiten. Für derartige Tätigkeiten sind spezielle Betriebsanweisungen zu erstellen, die durchweg die Verwendung von persönlicher Schutzausrüstung vorsehen werden, deren Einzelheiten allerdings von

den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten abhängen.

#### *Organisatorische Maßnahmen*

Zu den organisatorischen Maßnahmen, die berücksichtigt werden sollten, gehört die Begrenzung der Anzahl der möglicherweise exponierten Beschäftigten genauso wie die Abgrenzung der Arbeitsbereiche, in denen es zu einer Exposition kommen kann, und ein Zutrittsverbot für Unbefugte. Ferner sind solche Arbeitsbereiche regelmäßig zu reinigen, Ablagerungen oder verschüttete Stoffe sollten vorzugsweise feucht aufgewischt werden. Größere Mengen müssen mit einem Industriestaubsauger mit wirksamen Feinstaubfiltern aufgenommen werden. Schließlich ist für Arbeitsbereiche, in denen eine Exposition der Beschäftigten mit Nanomaterialien vorkommen kann, die messtechnische Überwachung der Raumluft vorzusehen.

#### *Persönliche Schutzmaßnahmen*

Als Atemschutz sind Filtermasken der Filterklassen P3 oder P2 geeignet, wie Untersuchungen gezeigt haben. Eine umfassende Darstellung der Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Atemschutzgeräte ist z.B. in der weiter unten genannten Broschüre »Sichere Verwendung von Nanomaterialien in der Lack- und Farbenbranche – Ein Betriebsleitfaden« in Abschnitt 6.4, Personenbezogene Schutzmaßnahmen, enthalten.

Handschuhe zum Schutz vor Hautkontakt müssen eine ausreichende mechanische Stabilität aufweisen. Für Schutzkleidung ist festgestellt worden, dass Membranmaterial einen deutlich besseren Schutz bietet als gewobenes Material. Bei der Verwendung von Atemschutz sind die bestehenden Tragezeitbegrenzungen zu beachten sowie die Regelungen zu arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchungen.

#### *Hinweise zum Arbeitsschutz*

Hinweise aus dem »Leitfaden zur sicheren Herstellung und bei Tätigkeiten mit Nanopartikeln an Arbeitsplätzen in der BASF SE«

[http://www.basf.com/group/corporate/de/function/conversions:/publish/content/sustainability/dialogue/in-dialogue-with-politics/nanotechnology/images/BASF-LeitfadenArbeitssicherheitNanopartikel\\_de.pdf](http://www.basf.com/group/corporate/de/function/conversions:/publish/content/sustainability/dialogue/in-dialogue-with-politics/nanotechnology/images/BASF-LeitfadenArbeitssicherheitNanopartikel_de.pdf)

Eine erhöhte inhalative Exposition muss durch geeignete Schutzmaßnahmen ausgeschlossen werden.

Die Exposition der Beschäftigten sollte die unbelastete Umgebungsluft nicht übersteigen.

Nanopartikel werden soweit möglich in geschlossenen Systemen hergestellt und verwendet.

- Sind Arbeitsschritte mit möglicher Emission von Nanopartikeln notwendig, die nicht in geschlossenen Systemen durchgeführt werden können, werden zusätzliche technische und organisatorische Maßnahmen zur Staubminderung eingesetzt.

Als bewährte technische Maßnahme kann eine zusätzliche Objektabsaugung eingesetzt werden.

Darüber hinaus werden die technischen Maßnahmen durch persönliche Schutzmaßnahmen ergänzt.

Geeignete persönliche Schutzmaßnahmen zur Vermeidung inhalativer Exposition stellen Atemschutzfilter der Filterklasse P2 und P3 dar.

Ein höheres Schutzniveau kann bei Bedarf durch Verwendung dicht schließender Partikelfilter, beispielsweise durch eine Vollmaske mit P3-Atemschutzfilter oder durch umgebungsluftunabhängige Atemschutzgeräte erreicht werden.

- Arbeitsbereiche, in denen eine Emission von Nanopartikeln möglich ist, werden durch Arbeitsplatz- oder Expositionsmessung überwacht.

Hinweise aus dem »Bayer Code of Good Practice zum Umgang bei Herstellung und On-Site-Gebrauch von Nanomaterialien«

- Die Expositionswerte müssen auf der Höhe der Hintergrundbelastung gehalten werden.
- Lässt sich eine Arbeit nicht in einem geschlossenen System durchführen, ist ein wirksames lokales Entlüftungssystem zu verwenden.
- Um die Exposition gegenüber Nanomaterialien weiter zu reduzieren, dürfen die Arbeitsplätze nicht mittels Trockenwisch- oder Druckverfahren gereinigt werden; vielmehr sind ein geeignetes HEPA (Hoch Effiziente Partikel Abscheidung)-Filtersystem und nasses Wischen erforderlich.
- In Fällen, in denen eine Exposition nicht durch technische oder organisatorische Schutzmaßnahmen vermieden werden kann, sind geeignete persönliche Schutzmaßnahmen zu treffen.

In den meisten Fällen kann ein angemessener Schutz vor Nanomaterialien in der Luft durch den Einsatz eines luftreinigenden Atemschutzfilters (z.B. FFP2/FFP3- oder N95/N100 oder Äquivalent) erreicht werden.

Hinweise von der Website »Nanotechnologie bei Evonik«, Abschnitt »Gesundheitsschutz für Mitarbeiter«

<http://nano.evonik.com/sites/nanotechnology/de/verantwortung/sichere-produktion/pages/default.aspx>

- Bei der Herstellung feinteiliger Stoffe wird weitestgehend ohne Partikelemission in geschlossenen Anlagen produziert.
- Technische Maßnahmen wie Filter, Absaugeinrichtungen und bei Bedarf auch persönliche Schutzausrüstung sorgen in Produktionsbetrieben für einen optimalen Umwelt- und Arbeitsschutz.
- Am Arbeitsplatz sichern wiederkehrende Partikelmessungen die Wirksamkeit der Maßnahmen ab.

Detaillierte Hinweise zu Schutzmaßnahmen sind inzwischen in einer Reihe von Leitfäden und Hand-

lungshilfen zu finden. Hier die wichtigsten in deutscher Sprache:

- BAuA-/VCI- Leitfaden für Tätigkeiten mit Nanomaterialien am Arbeitsplatz, Abschnitt III: Empfehlungen zum Schutz der Arbeitnehmer beim Umgang mit Nanomaterialien
- IFA-Website »Ultrafeine Aerosole und Nanopartikel am Arbeitsplatz«, Abschnitt »Schutzmaßnahmen bei ultrafeinen Aerosolen und Nanopartikeln am Arbeitsplatz«
- Nanomaterialien: Arbeitsschutzaspekte, Abschnitt 8: Empfehlungen zum Schutz von Arbeitnehmern (herausgegeben von der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg)
- Sichere Verwendung von Nanomaterialien in der Lack- und Farbenbranche – Ein Betriebsleitfaden, Abschnitte 5: Design for Safety, und 6: Arbeitsschutz in der Produktion (herausgegeben vom Hessischen Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung)
- SUVA-Website »Nanopartikel an Arbeitsplätzen«, Abschnitt »Vorläufige Empfehlungen zum Schutz der Arbeitnehmenden« (SUVA: Schweizerische Unfallversicherungsanstalt)

Die Internet-Adressen für diese Unterlagen können dem Anhang der Broschüre entnommen werden.

*Hinweise zum Arbeitsschutz bei speziellen Tätigkeiten*

Eine kurzgefasste Übersicht über Schutzmaßnahmen für die Herstellung, bei Füllvorgängen, bei der Reinigung von Produktionsanlagen sowie der Entsorgung von Nanomaterialien ist in der – allerdings nur auf Englisch verfügbaren – Broschüre »First results for safe procedures for handling nanoparticles« zu finden, die im Rahmen des von der EU finanzierten Nanosafe-Projekts entstanden ist: [http://www.nanosafe.org/home/liblocal/docs/Dissemination%20report/DR6\\_s.pdf](http://www.nanosafe.org/home/liblocal/docs/Dissemination%20report/DR6_s.pdf)

*Schutz vor Brand- und Explosionsgefahren*

In der Diskussion über mögliche Gefährdungen durch Nanomaterialien stehen zwar meistens mögliche Gesundheitsschädigungen im Mittelpunkt, dabei sollte aber nicht übersehen werden, dass gerade von pulverförmigen Materialien eine beträchtliche Brand- und Explosionsgefährdung ausgehen kann. Als Faustregel kann gelten, dass die erforderliche Zündenergie mit abnehmender Teilchengröße abnimmt. Von Materialien, die bei makro- oder mikro-

großer Korngröße noch vergleichsweise inert sind, kann in Nanogröße eine erhebliche Gefährdung ausgehen.

Spezielle Hinweise zu dieser Thematik für Herstellung, Füllvorgänge und Reinigungstätigkeiten sind – allerdings nur auf Englisch – in der bereits oben genannten Broschüre »First results for safe procedures for handling nanoparticles« zu finden, die elektronisch verfügbar ist: [http://www.nanosafe.org/home/liblocal/docs/Dissemination%20report/DR6\\_s.pdf](http://www.nanosafe.org/home/liblocal/docs/Dissemination%20report/DR6_s.pdf).

### *Prüfung der Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen*

Wenn Schutzmaßnahmen abgeleitet und getroffen worden sind, ist schließlich zu prüfen, ob sie so wirksam sind wie vorab unterstellt worden ist beziehungsweise in welchem Umfang sie wirksam sind. Handelt es sich um Maßnahmen zum Schutz gegen luftgetragene Exposition, so geschieht dies üblicherweise über Expositionsmessungen.

Liegen Messergebnisse vor, dann müssen sie bewertet werden. Die Bewertung kann dabei auf zwei Arten erfolgen – als relativer Vergleich und als absoluter Vergleich. Beim relativen Vergleich wird das Messergebnis für die Exposition entweder mit der Höhe der Exposition vor der Einrichtung der Maßnahmen oder mit der Höhe der Exposition ohne die betreffende Tätigkeit, also mit der Hintergrundbelastung durch ultrafeinen Staub und Aerosole verglichen. Ein Vergleich mit der Situation ohne die getroffenen Schutzmaßnahmen sollte eine deutliche Verringerung der Belastung ergeben, bei einem Vergleich mit der Hintergrundbelastung sollte sich – bei gut wirksamen Maßnahmen – keine zusätzliche Belastung zeigen.

Eine zweite Möglichkeit bietet sich durch einen absoluten Vergleich – hierzu wird jedoch eine Messlatte benötigt, die der Bewertung zugrunde zu legen ist. Üblicherweise werden Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) für diesen Zweck genutzt. Allerdings existieren derzeit noch keine solchen Grenzwerte für Nanomaterialien, da das Wissen über die gesundheitsschädigenden Wirkungen solcher Stoffe gegenwärtig noch zu lückenhaft ist. Als Messlatte darf nicht der Allgemeine Staubgrenzwert herangezogen werden, der ausdrücklich keine Gültigkeit für ultrafeine Stäube – und das schließt Nanomaterialien mit ein – hat. Zwar weiß man, dass ein Grenzwert für ultrafeine Stäube deutlich niedriger als der Allgemeine Staubgrenzwert sein muss, doch lässt sich dessen genaue Höhe bislang noch nicht beziffern.

Um für die Zwischenzeit bis zum Vorliegen von AGW trotzdem eine Messlatte zur Verfügung zu haben und den mit den Schutzmaßnahmen erzielten Minimierungserfolg beurteilen zu können, ist die Setzung von »Beurteilungswerten« vorgeschlagen worden, differenziert nach den in Kapitel II skizzierten Gruppen von Nanomaterialien. Eine Übersicht über diese Vorschläge findet sich im unten stehenden Kasten. In weitergehenden Überlegungen wird darauf hingewiesen, dass bei der Setzung solcher Beurteilungswerte zusätzlich die Größe und die Dichte der Nanopartikel berücksichtigt werden sollten. Dieser Vorschlag ist durchaus plausibel, hätte aber auch eine komplexere Struktur der Beurteilungswerte zur Folge. Eine ausführliche Diskussion dieses Themas enthält die IFA-Website »Ultrafeine Aerosole und Nanopartikel am Arbeitsplatz« im Abschnitt »Maßstäbe zur Beurteilung der Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen« (Internet-Adresse: <http://www.dguv.de/ifa/de/fac/nanopartikel/beurteilungsmassstaebe/index.jsp>).

#### *Beurteilungswerte*

##### Biobeständige Nanomaterialien ohne spezifische toxische Eigenschaften und ohne faserförmige Strukturen

Für diese in Kapitel II näher beschriebenen Nanomaterialien wird empfohlen, als Luftkonzentration einen Schichtmittelwert von  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  generell nicht zu überschreiten. Diese Empfehlung deckt sich z.B. mit der Empfehlung des US-amerikanischen Arbeitsschutzinstituts NIOSH, das bereits 2005 für nanoskaliges Titandioxid einen Wert von ebenfalls  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  als Obergrenze genannt hat. Vor kurzem haben Wissenschaftler gleichfalls für nanoskaliges Titandioxid DNEL-Werte gemäß den entsprechenden behördlichen Empfehlungen abgeleitet. Je nach zugrunde gelegten Untersuchungen haben sie Werte von 17 und  $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$  errechnet.



#### Nanomaterialien mit spezifischen toxischen Eigenschaften

Für solche Materialien sind zunächst die Grenzwerte zugrunde zu legen, die für den Stoff in Nicht-Nanoform gelten, und als Mindestanforderung zu betrachten. Handelt es sich um schwer lösliche Materialien, sollte in jedem Fall der im vorigen Abschnitt genannte Schichtmittelwert von  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  eingehalten werden, auch wenn der stoffspezifische Grenzwert höher ist.

Für Silber-Nanopartikel haben Wissenschaftler beispielhaft DNEL-Werte abgeleitet. Je nach zugrunde gelegten Untersuchungen haben sie Werte von 0,1 und  $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  errechnet, entsprechend 1.200 und 4.000 Teilchen/ $\text{cm}^3$ .

#### Biobeständige faserförmige Nanomaterialien

Solange für das jeweilige Produkt, das zu dieser Materialgruppe gehört, nicht durch Untersuchungen etwas anderes nachgewiesen ist, muss aus Vorsorgegründen davon ausgegangen werden, dass es ähnlich wie Asbest wirken und Lungenkrebs oder Rippen- oder Bauchfellkrebs (Mesotheliome) verursachen kann. In diesem Fall sollte ein Schichtmittelwert von 10.000 Fasern/ $\text{m}^3$  eingehalten werden. Angesichts der Feinheit von Kohlenstoff-Nanoröhren ist eine derart geringe Luftkonzentration für einzelne, nicht-agglomerierte Fasern messtechnisch zur Zeit noch nicht nachweisbar.

Zwei Unternehmen haben für von ihnen hergestellte mehrwandige Kohlenstoff-Nanoröhren (MWCNT) Ende 2009 DNEL-Werte für ihre Produkte, die als große Agglomerate vorliegen, veröffentlicht. Bei den zugrunde liegenden Tierversuchen war für diese Produkte kein Hinweis auf eine krebserzeugende Wirkung beobachtet worden. Für das eine Produkt wird ein DNEL-Wert von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  angegeben, für das zweite ein Wert von  $2,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Der Unterschied ist darauf zurückzuführen, dass die beiden Produkte unterschiedlich starke Entzündungswirkung in den Atemwegen der untersuchten Ratten ausgelöst haben: Das eine Material hat sich wie ein biobeständiges Nanomaterial ohne spezifische toxische Eigenschaften verhalten, das andere dagegen wie ein biobeständiges Nanomaterial mit spezifischen toxischen Eigenschaften.

Generell lässt sich keine Aussage treffen, welche der beiden Bewertungsarten – die relative oder die absolute – die »vorsichtiger« ist: In Bezug auf ultrafeine Partikel wird als Hintergrundbelastung für unbelas-

tete Räume – wie zum Beispiel Büros – üblicherweise ein Wert von 20.000 Partikel/ $\text{cm}^3$  (entsprechend 20 Milliarden Partikel/ $\text{m}^3$ ) zugrunde gelegt. Aus der Tabelle auf der oben angegebenen IFA-Website kann man ersehen, dass mit zunehmender Größe und Dichte der Partikel eine immer geringere Anzahl erforderlich ist, um eine bestimmte Massenkonzentration zu erreichen. Um zum Beispiel eine Massenkonzentration von  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  zu erreichen, genügen bereits 5.600 Titandioxid-Partikel mit einem Durchmesser von 200 nm oder 18.000 Silberpartikel mit einem Durchmesser von 100 nm. Mit anderen Worten: Für »schwere« (wie Silber oder Gold) und »große« Nanopartikel (Durchmesser im Bereich 100 nm und mehr) führt der Vergleich mit der Hintergrundbelastung zu einem schlechteren Schutzniveau als der Vergleich mit geeigneten Beurteilungswerten. Dagegen ist die Situation genau umgekehrt für »leichte« und »kleine« Nanopartikel.

Für erste Nanomaterialien liegen seit kurzem DNEL-Werte vor. Ohne hier auf weitere Einzelheiten einzugehen, zeichnet sich derzeit ab, dass für Konzentrationen mit Massenbezug selbst bei biobeständigen Nanomaterialien ohne spezifische toxische Eigenschaften und ohne faserförmige Strukturen Expositionswerte von  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  oder darunter angestrebt werden sollten. Für Nanomaterialien mit spezifischen toxischen Eigenschaften werden zum Teil deutlich geringere Konzentrationen diskutiert, die im Bereich weniger Mikrogramm pro Kubikmeter oder sogar unterhalb von  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  liegen. Derart niedrige Konzentrationswerte lassen sich nur bei Verwendung geschlossener Systeme oder Anlagen erreichen.

#### *Arbeitsmedizinische Vorsorge*

Arbeitsmedizinische Vorsorge besteht aus zwei Elementen: Eine allgemeine arbeitsmedizinisch-toxikologische Beratung (§ 14 Absatz 2 GefStoffV) und die arbeitsmedizinische Vorsorge, deren Einzelheiten im Rahmen der Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV) geregelt sind. Arbeitsmedizinische Vorsorge kann Vorsorgeuntersuchungen einschließen, muss es aber nicht. Nach geltendem Recht muss der Arbeitgeber generell bei Tätigkeiten mit Nanomaterialien weder Pflichtuntersuchungen (§ 4 ArbMedVV) veranlassen noch ist er verpflichtet, den Beschäftigten Angebotsuntersuchungen (§ 5 ArbMedVV) anzubieten. (Ausnahmen können für Nanomaterialien aus krebserzeugenden Stoffen bestehen, etwa für cadmiumhaltige Materialien – dann allerdings nicht wegen der Nano-Eigenschaft, sondern wegen der Eigenschaft als spezieller krebser-



zeugender Stoff.) Jedoch wird von Arbeitsmedizinern empfohlen, dass den Beschäftigten als freiwillige Leistung des Unternehmens angesichts der erheblichen Wissenslücken über die denkbaren schädlichen Wirkungen der Stoffe Vorsorgeuntersuchungen angeboten werden sollten.

Allerdings sind bisher keine medizinischen Untersuchungsgrößen oder Indikatoren gefunden worden, die den Beginn einer Schädigung durch Nanomaterialien anzeigen. Weil die Hauptsorge gegenwärtig der atemwegsschädigenden Wirkung von Nanomaterialien gilt, wird deshalb angeregt, bis zum Vorliegen spezifischer Methoden auf Untersuchungen zurückzugreifen, die für die Wirkung »Atemwegsschädigung« gebräuchlich sind. Solange es keinen begründeten Anlass gibt, sollten jedoch keinesfalls Untersuchungsverfahren zum Einsatz kommen, die selber schädigend wirken, wie dies etwa für Röntgenuntersuchungen der Fall ist. Stattdessen ist zum Beispiel eine regelmäßige Lungenfunktionsuntersuchung denkbar.

Die Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV) hat einen Fragen- und Antworten-Katalog »FAQs zu Tätigkeiten mit Nanomaterialien – Arbeitshilfe für Betriebsärztinnen und Betriebsärzte« veröffentlicht, der unter anderem spezielle Erläuterungen und Empfehlungen zur Arbeitsmedizin enthält (Internet-Adresse: [http://www.dguv.de/inhalt/praevention/fachaus\\_fachgruppen/arbeitsmedizin/produkte/faq\\_nano/index.jsp](http://www.dguv.de/inhalt/praevention/fachaus_fachgruppen/arbeitsmedizin/produkte/faq_nano/index.jsp)). Vertiefte Hinweise in englischer Sprache sind beim US-amerikanischen Arbeitsschutzinstitut NIOSH zu finden: Interim Guidance for Medical Screening and Hazard Surveillance for Workers Potentially Exposed to Engineered Nanoparticles (Internet-Adresse: <http://www.cdc.gov/niosh/review/public/115/PDFs/DRAFTCIBExpEngNano.pdf>).

Werden in einem Unternehmen Vorsorgeuntersuchungen angeboten, dann sollten dem durchführenden Arzt die Ergebnisse der Expositionsmessungen an den Arbeitsplätzen der untersuchten Beschäftigten zur Verfügung stehen. Darüber hinaus sollten die Untersuchungen so dokumentiert werden, dass ihre Ergebnisse mit den Ergebnissen der Expositionsmessungen verknüpft werden und auf diese Weise eine Grundlage für zukünftige epidemiologische Studien geschaffen wird.

### *Hinweise von Unternehmen zur arbeitsmedizinischen Vorsorge*

Hinweise aus dem »Bayer Code of Good Practice zum Umgang bei Herstellung und On-Site-Gebrauch von Nanomaterialien«

Als zusätzliche Vorsichtsmaßnahme können Arbeitnehmer, die mit Nanomaterialien umgehen, an den Routineprogrammen der Gesundheitsvorsorge teilnehmen, damit jede arbeitsbedingte Veränderung des Gesundheitszustands rasch festgestellt wird und die Ursache ermittelt und behoben wird.

Die Häufigkeit und der Umfang dieser Untersuchungen werden vom Arbeitgeber von Fall zu Fall festgelegt.

Hinweise von der Website »Nanotechnologie bei Evonik«, Abschnitt »Gesundheitsschutz für Mitarbeiter«

<http://nano.evonik.com/sites/nanotechnology/de/verantwortung/sichere-produktion/pages/default.aspx>

Am Arbeitsplatz sichert werksärztliche Betreuung die Wirksamkeit der Maßnahmen ab.

### *Information der Beschäftigten*

In Bezug auf die Information der Beschäftigten bietet § 14 Absatz 1 und 2 GefStoffV klare Anhaltspunkte. Danach sind zum einen schriftliche Betriebsanweisungen zu erstellen und den Beschäftigten zugänglich zu machen. Zum anderen sind die Beschäftigten anhand der Betriebsanweisung über auftretende Gefährdungen und entsprechende Schutzmaßnahmen mündlich zu unterweisen.

Darüber hinaus verlangt § 14 Absatz 1, dass die Beschäftigten »über Methoden und Verfahren unterrichtet werden, die bei der Verwendung von Gefahrstoffen zum Schutz der Beschäftigten angewendet werden müssen«. Was mit diesem im Deutschen nicht allzu deutlich formulierten Satz gemeint ist, erschließt sich aus der englischen Fassung der zugrunde liegenden europäischen Richtlinie: Statt von »Methoden« ist dort vom »Training« die Rede, das es den Beschäftigten ermöglichen soll, geeignete Vorsorge für ihren eigenen Schutz und den ihrer Kollegen zu treffen. Mit anderen Worten, die Handhabung und Durchführung von Schutzmaßnahmen sollte ganz praktisch eingeübt werden – eine reine Belehrung ist hingegen keinesfalls ausreichend.

## Dokumentation der Gefährdungsbeurteilung

Für die Dokumentation der Gefährdungsbeurteilung liefern die GefStoffV und das Technische Regelwerk eindeutige Vorgaben. Sie sind in § 6 Absatz 8 GefStoffV sowie in der TRGS 400 – Gefährdungsbeurteilung für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen – in Nr. 8 beschrieben.

## Lagerung von Nanomaterialien

Auch für die Lagerung von Nanomaterialien greifen die Vorgaben der GefStoffV. Eine Technische Regel für das Lagern von Gefahrstoffen, die hier konkrete Hilfestellungen bieten könnte, liegt allerdings noch nicht vor, befindet sich aber bereits in der Erarbeitung.

Empfehlungen für Arbeitsschutzmaßnahmen speziell für das Lagern pulverförmiger Nanomaterialien und von pulverförmigen Rohstoffen oder Produkten, die Nanomaterialien enthalten, sind in der Broschüre »Sichere Verwendung von Nanomaterialien in der Lack- und Farbenbranche – ein Betriebsleitfaden«, die vom Hessischen Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung herausgegeben worden ist (Internet-Adresse: [http://www.hessen-nanotech.de/mm/Betriebsleitfaden\\_NanoFarbelacke\\_Vorab.pdf](http://www.hessen-nanotech.de/mm/Betriebsleitfaden_NanoFarbelacke_Vorab.pdf)), in einem eigenen Kapitel zusammengestellt. Die dort aufgeführten Hinweise sind nicht nur für den Bereich der Herstellung von Lacken und Farben hilfreich, sondern lassen sich auch in anderen Branchen nutzen.

Darüber hinaus gibt es die weitergehende Empfehlung, in Anlehnung an § 14 Absatz 3 Nr. 3 GefStoffV ein personenbezogenes Expositionsregister der Beschäftigten, die möglicherweise mit Nanomaterialien exponiert sind, zu führen.

### *Lagern von Nanomaterialien*

#### Empfehlungen für Schutzmaßnahmen bei der Lagerung und Verwendung pulverförmiger Nanomaterialien

- Lagerung sollte in eigenen Räumlichkeiten erfolgen; Zugang sollte auf befugte Personen beschränkt sein
- Beschädigte Gebinde oder Paletten mit beschädigten Gebinden sollten nicht im Lager untergebracht werden, sondern in einem separaten Raum sollte die Beschädigung behoben werden (z.B. Umfüllen, Umhüllung mit zweiter Hülle)
- für Schadensbehebung geeignete Schutzmaßnahmen einschließlich persönlicher Schutzausrüstung vorsehen
- verschüttete Stoffe feucht aufwischen; größere Mengen mit Industriestaubsaugern mit wirksamen Feinstaubfiltern aufsaugen
- bereits geöffnete Säcke getrennt von noch geschlossener Sackware aufbewahren
- alle Maßnahmen und Vorschriften in Lagerregeln oder Betriebsanweisung aufnehmen
- Verwendung von Aufreißsäcken vermeiden; beim Hersteller nach Behältnissen fragen, bei denen beim Öffnen kein Material austritt

## Betrieblicher Umweltschutz bei Tätigkeiten mit Nanomaterialien

Trotz einer Reihe bedenklicher Einzelhinweise fehlt es nicht nur an systematischem Wissen über schädigende Wirkungen, sondern auch über das Verhalten der Materialien in der Umwelt – Ausbreitung, Anlagerung, Anreicherung – und über die Beständigkeit beziehungsweise den Verlust der Nanoeigenschaften ist bislang kaum etwas bekannt.

Deshalb ist unbedingt zu empfehlen, bei der Ableitung von Schutzmaßnahmen auf das Vorsorgeprinzip zurückzugreifen und grundsätzlich zu unterstellen, dass Nanomaterialien umweltschädigende Eigenschaften aufweisen, solange nicht durch entsprechende Untersuchungen nachgewiesen ist, dass dies nicht der Fall ist.

Als Konsequenz müssten dann flüssige und feste Abfälle, die Nanomaterialien enthalten, wie gefährlicher Abfall im Sinne des Abfallrechts behandelt, und Abluft, in der sich Nanomaterialien befinden, nur gefiltert ins Freie abgegeben werden. Eine Übersicht über die rechtliche Situation gibt der »Leitfaden zur sicheren Entsorgung von Abfällen, die Nanomaterialien enthalten«, den der VCI im Oktober 2009 veröffentlicht hat (Internet-Adresse: [http://www.vci.de/template\\_downloads/tmp\\_VCIInternet/126222Leitfaden\\_Nanomaterialien\\_und\\_Abfallrecht\\_7-10-2009.pdf?DokNr=126222&p=101](http://www.vci.de/template_downloads/tmp_VCIInternet/126222Leitfaden_Nanomaterialien_und_Abfallrecht_7-10-2009.pdf?DokNr=126222&p=101)).

Für Produkte, für die ein Sicherheitsdatenblatt mitgeliefert wird, muss der Hersteller Hilfestellung leisten: Hinweise zur Entsorgung sind von ihm in Kapitel 13 des SDB anzugeben.

Sehr konkrete Hinweise zu betrieblichen Umweltschutzmaßnahmen enthält die Broschüre »Sichere Verwendung von Nanomaterialien in der Lack- und Farbenbranche – ein Betriebsleitfaden« (Internet-Adresse: [http://www.hessen-nanotech.de/mm/Betriebsleitfaden\\_NanoFarbeLacke\\_Vorab.pdf](http://www.hessen-nanotech.de/mm/Betriebsleitfaden_NanoFarbeLacke_Vorab.pdf)). Auch diese Hinweise sind nicht nur für den Bereich der Herstellung von Lacken und Farben hilfreich, sondern lassen sich ebenfalls in anderen Branchen nutzen. Eine Auswahl in Stichworten enthält der folgende Kasten:

### **Umweltschutzmaßnahmen**

#### Abluftreinigung

- Verwendung von Abluftreinigungssystemen mit hohem Abscheidegrad
- Verwendung von HEPA-Filtern (High Efficient Particulate Air) oder ULPA-Filtern (Ultra Low Penetration Air)
- Druckdifferenz-gesteuerte Abreinigung der Filter
- staubfreier Austrag der abgereinigten Partikel
- staubfreier Filterwechsel

#### Abwasser

- mit Nanomaterialien belastetes Abwasser oder Regenwasser (z.B. aus Lagerbereichen) nicht in die öffentliche Kanalisation, in Gewässer oder den Boden gelangen lassen
- Darstellung verschiedener Möglichkeiten der Abwasserbehandlung und -entsorgung
- Vorkehrungen in Hinblick auf belastetes Löschwasser bei Brandereignissen

#### Abfallentsorgung

- Prüfung, ob Abfälle, die Nanomaterialien enthalten, vorsorglich wie gefährliche Abfälle zu entsorgen sind
- zusätzliche Kennzeichnung von Abfällen, die Nanomaterialien enthalten, zur Information des Abfallentsorgers
- bei Deponierung der Abfälle: Sonderabfalldeponie auf neuestem Stand der Deponietechnik auswählen
- bei Verbrennung der Abfälle: Anlagen auswählen, die wesentlich geringere Staubemissionen einhalten als nach 17. Bundes-Immissionsschutzverordnung gefordert
- bei externer stofflicher Verwertung der Abfälle: sicher stellen, dass Verwertung keine höheren Emissionen von Nanomaterialien in Luft, Wasser und Boden verursacht als Abfallbeseitigung; weder sollten Nanomaterialien aus Sekundärprodukt wieder freigesetzt werden noch sollten sie sich darin anreichern
- Entsorgungsstrategie gemeinsam mit dem Entsorgungsdienstleister festlegen

Ein Konzept zur Entsorgung von Abfällen, die Nanomaterialien enthalten, wird seit Kurzem in der Schweiz erprobt. In dem Konzeptpapier »Umweltverträgliche und sichere Entsorgung von Abfällen aus Herstellung sowie industrieller und gewerblicher Verarbeitung von synthetischen Nanomaterialien« sind ebenfalls viele konkrete Hinweise für die betriebliche Praxis zu finden. Es ist im Internet verfügbar unter der Adresse: [http://www.bafu.admin.ch/abfall/01508/10210/index.html?download=NHZLpZeg7t,lnp6l0NTU042l2Z6ln1acy4Zn4Z2qZpnO2Yuq2Z6gpJCGeXx\\_fWym162epYbg2c\\_JjKbNoKSn6A-&lang=de](http://www.bafu.admin.ch/abfall/01508/10210/index.html?download=NHZLpZeg7t,lnp6l0NTU042l2Z6ln1acy4Zn4Z2qZpnO2Yuq2Z6gpJCGeXx_fWym162epYbg2c_JjKbNoKSn6A-&lang=de) (oder unter dem Suchbegriff »Nanoabfall« auf der Website <http://www.bafu.admin.ch/>).

## IV. Nanomaterialien – was können Betriebsräte tun?

Für Tätigkeiten mit Nanomaterialien ist eine Gefährdungsbeurteilung erforderlich. Verantwortlich für die Umsetzung ist das Unternehmen, also der Arbeitgeber. Der Betriebsrat hat dazu beizutragen, dass die Verpflichtungen eingehalten werden.

Die Bestimmungen aus dem Betriebsverfassungsgesetz (BetrVG) liefern den rechtlichen Rahmen für die Überwachungspflichten und Mitbestimmungsrechte des Betriebsrats in Bezug auf den betrieblichen Gesundheits- und Umweltschutz.

### Nutzung von Schutzbestimmungen in Gesetzen und Verordnungen

Die Rechtsgrundlage für Handlungsmöglichkeiten von Betriebsräten zu Regelungen des betrieblichen Gesundheits- und Umweltschutzes werden durch die einschlägigen Bestimmungen des Betriebsverfassungsgesetzes (BetrVG) geliefert. So verpflichtet § 80 Abs. 1 Nr. 1 BetrVG Betriebsräte dazu, die Durchführung solcher Gesetze und Verordnungen zu überwachen, die zugunsten der Beschäftigten gelten. Durch § 89 Abs. 1 BetrVG wird der Betriebsrat zudem verpflichtet, sich für die Durchführung der Bestimmungen zum betrieblichen Umweltschutz einzusetzen.

In Bezug auf Tätigkeiten mit Nanomaterialien bedeutet dies, dass Betriebsräte die Pflicht haben, zu überprüfen, ob die Gefahrstoffverordnung angewendet und die Bestimmungen dieser Verordnung eingehalten werden. Eine entsprechende Verpflichtung besteht ebenfalls in Bezug auf den betrieblichen Umweltschutz.

Zu den maßgeblichen Bestimmungen der GefStoffV gehören

- Durchführung und Dokumentation einer Gefährdungsbeurteilung
- Information der Beschäftigten
- Arbeitsmedizinische Beratung und Vorsorge der Beschäftigten

Neben der Überwachung von arbeits- und umweltschutzbezogenen Regelungen auf Grundlage von § 80 Abs. 1 Nr. 1 sowie von § 89 Abs. 1 BetrVG unterliegen die arbeitsschutzbezogenen Regelungen zudem der uneingeschränkten Mitbestimmung gemäß § 87 Abs. 1 Nr. 7 BetrVG. Hier bietet es sich an, im Rahmen einer Betriebsvereinbarung oder von betrieblichen Regelungen klarzustellen, dass die Bestimmungen der GefStoffV generell auf Tätigkeiten mit Nanomaterialien anzuwenden sind. Darüber hinaus ließe sich darin festlegen, dass unter dem Gesichtspunkt des Vorsorgeprinzips Einzelbestimmungen der GefStoffV

sinngemäß anzuwenden sind, wenn aufgrund von Datenlücken oder fehlendem Wissen ihre Anwendung ansonsten in Frage stünde. Anregungen für Einzelbestimmungen können den entsprechenden Abschnitten in Kapitel III entnommen werden. In Betrieben, in denen es bereits eine Vereinbarung oder Regelung zum Gesundheitsschutz gibt, liegt es nahe, sie in Bezug auf Tätigkeiten mit Nanomaterialien zu erweitern.

Regelungen zum betrieblichen Umweltschutz unterliegen dagegen nur der eingeschränkten Mitbestimmung gemäß § 88 Abs. 1a BetrVG. Davon abgesehen, bietet sich für Regelungen zum betriebliche Umweltschutz ein Vorgehen an, wie es im vorigen Absatz entsprechend für den betrieblichen Gesundheitsschutz beschrieben ist.

## Handlungsmöglichkeiten von Betriebsräten im Rahmen der Gefahrstoffverordnung

Aktivitäten zum betrieblichen Gesundheits- und Umweltschutz in Bezug auf Tätigkeiten mit Nanomaterialien können nicht isoliert betrachtet werden, sondern sind stets in die Aktivitäten des Betriebsrats zum Arbeits- und Umweltschutz eingebettet.

Der Themenbereich Gesundheits- und Umweltschutz bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen quillt mit fachlichen Detailregelungen geradezu über. Daher ist die Gefahr, in Einzelfragen zu ertrinken, hier besonders groß. Um sich nicht zu verzetteln, sondern um im Gegenteil seine Rolle effizient ausfüllen zu können, ist eine systematische Herangehens- und Arbeitsweise des Betriebsrats von großer Bedeutung. Sein Vorgehen sollte deshalb mindestens folgende Punkte umfassen:

### *Überblick über den gesamten Aufgabenbereich*

- Auswahl zentraler Themen und Festlegung einer Aufgabenreihenfolge
- Formulierung von Kontrollfragen
- Beschaffung von Unterstützung für die eigene Arbeit
- Festlegung von überprüfbaren Zielen

### *Überblick über den gesamten Aufgabenbereich*

Zum Einstieg sollte sich der Betriebsrat eine möglichst komplette Übersicht über alle Aufgaben zum Thema »Schutz vor Gefahrstoffen« verschaffen, die im Prinzip angepackt werden könnten:

Ein erster Bereich sind die Aufgaben, zu denen der Arbeitgeber gemäß GefStoffV verpflichtet ist.

Ein weiterer Bereich ist die Einbettung der Gefährdungsbeurteilung in Bezug auf Gefahrstoffe in die gesamte Gefährdungsbeurteilung gemäß Arbeitsschutzgesetz, also die Umsetzung eines ganzheitlichen Ansatzes zum präventiven Schutz der Gesundheit der Beschäftigten.

### *Auswahl zentraler Themen und Festlegung einer Aufgabenreihenfolge*

Wenn das nicht bereits geschehen ist, sollte sich der Betriebsrat aus der Übersicht dann solche Themen auswählen, die angesichts der jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten von besonderer Wichtigkeit und von langfristiger Bedeutung sind. Ferner sollten sie gute Anknüpfungspunkte für die eigene Arbeit und die eigenen strategischen Überlegungen des Gremiums bilden.

Hierzu können übergeordnete Themen wie beispielsweise »Betriebliches Managementsystem für Gefahrstoffe und andere chemische Stoffe«, »Einbettung der Gefährdungsbeurteilung für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen in die gesamte Gefährdungsbeurteilung gemäß ArbSchG« oder »Information der Beschäftigten« genauso gehören wie das spezielle Thema »Ausweitung der Gefährdungsbeurteilung auf Tätigkeiten mit Nanomaterialien«.

Andere Themen aus der Übersicht, die zunächst nicht ausgewählt worden sind, sollten keinesfalls einfach zur Seite gelegt werden. Vielmehr kann es sinnvoll sein, eine Reihenfolge für ihre – mögliche – spätere Bearbeitung festzulegen. Gleichzeitig sollte der Betriebsrat einen Zeitraum bestimmen, nach dem die Bearbeitungsreihenfolge wieder überprüft und im Licht neuer Entwicklungen gegebenenfalls verändert wird.

### *Formulierung von Kontrollfragen*

Sind erst einmal zentrale Themen ausgewählt worden, so wird es für den Betriebsrat um die Überwachung der hierzu geforderten Aktivitäten des Betriebes gehen sowie um die Mitgestaltung der Einzelheiten dieser Aktivitäten. Während letzteres zu Themen des Gesundheitsschutzes rechtlich z.B. nach § 87 Abs. 1 Nr. 7 BetrVG in der Regel erzwingbar ist, können Vereinbarungen zu den Themen des Umweltschutzes nach § 88 Abs. 1a BetrVG nur auf freiwilliger Basis getroffen werden.

Folgende Fragestellungen sind hilfreich, da sie eine Prozessstruktur vorgeben. Dies erleichtert die Überwachung der Prozesse, mit denen die ausgewählten Themen betrieblich abgearbeitet werden.

**Ob:** Wird das jeweils Erforderliche überhaupt vom Arbeitgeber getan oder veranlasst?

**Wann und wie oft:** Wann und wie häufig werden diese Aktivitäten durchgeführt? Ist der Zeitpunkt sinnvoll, ist die Häufigkeit ausreichend?

**Wie:** Wie werden diese Aktivitäten durchgeführt? Gibt es andere Verfahren oder Gestaltungsmöglichkeiten für diese Aktivitäten, die möglicherweise angemessener sind?

**Von wem und mit wem:** Wer ist mit der Durchführung beauftragt? Bei Themen des betrieblichen Gesundheitsschutzes: Werden Betriebsrat und Beschäf-

tigte an der Durchführung beteiligt? Wie sieht die Form der Beteiligung aus?

*Beschaffung von Unterstützung für die eigene Arbeit*  
Je intensiver der Betriebsrat von organisatorisch-steuernenden zu inhaltlich-gestaltenden Fragestellungen übergeht, desto größer wird sein Bedarf an fachlicher Beratung werden. Er sollte keine Scheu haben, sich diese Unterstützung gezielt zu beschaffen.

Hierzu kann er grundsätzlich auf die betriebsinternen Experten zurückgreifen, also auf die Fachkraft für Arbeitssicherheit und den Betriebsarzt, zu deren Aufgaben auch die Beratung des Betriebsrates gemäß § 9 ASiG gehört.

Auch externe Fachleute – Mitarbeiter des Amtes für Arbeitsschutz (Gewerbeaufsicht) und der zuständigen Berufsgenossenschaft oder Experten der Gewerkschaft – können zur Beratung herangezogen werden.

Will ein Betriebsrat sich darüber hinaus die Unterstützung von Fachleuten holen, die ihre Dienstleistungen in Rechnung stellen, so muss er sich hierüber zuvor mit dem Arbeitgeber einigen, wie dies § 80 Abs. 3 BetrVG vorgibt. Der Betriebsrat kann sich zudem durch »sachkundige Arbeitnehmer« beraten lassen, die ihm der Arbeitgeber »als Auskunftspersonen zur Verfügung zu stellen hat« (§ 80 Abs. 2 BetrVG). Hierdurch hat der Betriebsrat die Möglichkeit, nicht nur das Fachwissen von Kolleginnen und Kollegen zu Fragen des Gesundheits- und Umweltschutzes zu nutzen, sondern sie auch bei der Bearbeitung dieser Themen aktiv zu beteiligen.

#### *Festlegung von überprüfbaren Zielen*

Um Dinge in Bewegung zu halten – oder in manchen Unternehmen erst in Bewegung zu bringen – müssen konkrete Absprachen über die jeweils angestrebten Ziele getroffen werden sowie über den Zeitpunkt, bis zu dem diese Ziele erreicht werden sollen. Nur so lässt sich im Einzelfall überprüfen, ob der Verantwortliche – also der Arbeitgeber – seinen Verpflichtungen nachkommt.

In welcher Form solche Vereinbarungen getroffen werden, sollte sich nach den jeweiligen betrieblichen Gepflogenheiten richten. Betriebsvereinbarungen (§§ 77 und 87 Abs. 1 Nr. 7 BetrVG) haben dabei den Vorteil der damit verbundenen Rechtssicherheit und der Nachwirkung.

*Beispiel: Anwendung des Prozesses der Gefährdungsbeurteilung auf Tätigkeiten mit Nanomaterialien*

Während die Empfehlungen in den vorigen Absätzen auf die Festlegung einer Vorgehensweise zum Schutz vor Gefahrstoffen ganz allgemein ausgerichtet sind, ist im Folgenden ein einzelnes Thema beispielhaft ausgewählt. Für dieses spezielle Thema, das zudem nur auf Tätigkeiten mit Nanomaterialien als einer besonderen Gruppe von Gefahrstoffen ausgerichtet ist, sind konkrete Hinweise zusammengestellt.

- Wie kann der Betriebsrat den Prozess der Gefährdungsbeurteilung gemäß GefStoffV für Tätigkeiten mit Nanomaterialien kontrollieren?

Für Betriebsräte empfiehlt es sich, die Kontrolle über diesen Prozess auf eine klar strukturierte Weise anzugehen. Dabei ist es unerheblich, ob es sich um Tätigkeiten mit Nanomaterialien oder mit anderen Gefahrstoffen handelt. Ratsam ist es, den Prozess aus drei Blickwinkeln zu betrachten und getrennt zu bearbeiten:

- den Prozessablauf als Ganzes
- die einzelnen Prozesselemente, aus denen der Prozess aufgebaut ist
- Zuständigkeiten und Zeitvorgaben jeweils für den Gesamtprozess wie für die einzelnen Prozesselemente

In der folgenden Übersicht sind für jede dieser drei Ebenen eine Reihe von Fragen zusammengestellt, die der Orientierung dienen und gleichzeitig eine strukturierte Kontrolle des Prozesses unterstützen sollen.

#### *Prozessablauf*

- Ist gewährleistet, dass Nanomaterialien grundsätzlich als Gefahrstoffe angesehen werden, für die stets eine Gefährdungsbeurteilung durchzuführen ist?
- Ist gewährleistet, dass eine Gefährdungsbeurteilung durchgeführt wird, bevor eine neue Tätigkeit mit Gefahrstoffen / Nanomaterialien begonnen wird oder bevor eine bisherige Tätigkeit nach erheblichen Veränderungen fortgesetzt wird?
- Wird die Gefährdungsbeurteilung von einer fachkundigen Person durchgeführt?
- Werden die Fachkraft für Arbeitssicherheit und gegebenenfalls der Betriebsarzt / die Betriebsärztin an der Gefährdungsbeurteilung beteiligt?



- Auf welche Weise werden die Beschäftigten in den Prozess der Gefährdungsbeurteilung einbezogen? Ist ihr in § 17 Abs. 1 ArbSchG verbrieftes Vorschlagsrecht konkret ausgestaltet?
- Hat der Betriebsrat ausreichende Möglichkeiten, die Durchführung der Gefährdungsbeurteilung mitzugestalten?
- Ist gewährleistet, dass alle Einzelschritte der Gefährdungsbeurteilung abgearbeitet sind, bevor die betreffende Tätigkeit aufgenommen werden darf? Dies schließt ein:
  - Substitutionsprüfung
  - Auswahl und Umsetzung der Schutzmaßnahmen sowie Prüfung ihrer Wirksamkeit
  - Festlegung des nächsten Prüftermins
  - Erstellung der Betriebsanweisung und mündliche Unterweisung der Beschäftigten sowie Einübung der Anwendung der Schutzmaßnahmen
  - allgemeine arbeitsmedizinisch-toxikologische Beratung im Rahmen der mündlichen Unterweisung
  - gegebenenfalls Angebot arbeitsmedizinischer Vorsorgeuntersuchungen auf freiwilliger Basis
  - schriftliche Dokumentation aller Einzelheiten und Festlegungen
- Sind Kriterien dafür festgelegt worden, wann eine Gefährdungsbeurteilung wegen »maßgeblicher Veränderungen« aktualisiert werden muss?
- Ist festgelegt worden, nach welchem Zeitraum eine Gefährdungsbeurteilung neu erstellt werden muss, auch wenn es keine offensichtlichen Veränderungen der Tätigkeiten gegeben hat?

### *Prozesselemente*

Unter dieser Überschrift sind Fragen versammelt, die sich auf einige Einzelschritte der Gefährdungsbeurteilung beziehen, die für Tätigkeiten mit Nanomaterialien von besonderer Bedeutung sind. Beispielfähig sind die Themen »Informationsbeschaffung«, »Festlegen und Umsetzen der Schutzmaßnahmen«, »Wirksamkeitsprüfung der Schutzmaßnahmen« sowie »Information der Beschäftigten« ausgewählt worden.

Für den Betriebsrat kann es sinnvoll sein, aus dem umfangreichen Komplex »Gefährdungsbeurteilung« bestimmte Prozesselemente als inhaltliche Schwerpunkte seiner Aktivitäten auszuwählen und sie stärker zu gewichten. Dazu bieten sich die Themen

»Beteiligung der Beschäftigten an der Gefährdungsbeurteilung«, »Auswahl der Schutzmaßnahmen« sowie »Information der Beschäftigten« besonders an.

### *Informationsbeschaffung*

- Sind Sicherheitsdatenblätter für alle verwendeten Nanomaterialien und Gemische, die Nanomaterialien enthalten, vorhanden?
- Wird geprüft, dass die Sicherheitsdatenblätter aktuell sind, also nicht älter als 1 Jahr?
- Werden Sicherheitsdatenblätter routinemäßig von Lieferanten angefordert, wenn diese von sich aus kein Sicherheitsdatenblatt mitliefern?
- Wird bei der Auswertung von Sicherheitsdatenblättern für gemäß REACH-VO registrierte Stoffe oder für Gemische, die gemäß REACH-VO registrierte Stoffe enthalten, geprüft, ob die betrieblichen Verwendungen der Nanomaterialien oder des Gemisches, das Nanomaterialien enthält, durch die im Sicherheitsdatenblatt aufgeführten Verwendungszwecke abgedeckt sind?
- Wird bei der Auswertung von Sicherheitsdatenblättern, die zusätzliche Informationen nach der REACH-Verordnung enthalten (u.a. DNEL-Werte, Expositionsszenarien und die darin beschriebenen Risikomanagementmaßnahmen), eine Überprüfung der vorhandenen Gefährdungsbeurteilung veranlasst?
- Wird bei der Auswertung von Sicherheitsdatenblättern geprüft, für welche gesundheitsschädlichen Eigenschaften im Sicherheitsdatenblatt keine Informationen vorhanden sind?
- Wird bei fehlenden Informationen über gesundheitsschädliche Eigenschaften beim Lieferanten nachgefragt?
- Wird das Fehlen von Informationen bei der Ableitung der Schutzmaßnahmen berücksichtigt?

### *Festlegen und Umsetzen der Schutzmaßnahmen*

Erhalten die Beschäftigten die Möglichkeit, Vorschläge für die Gestaltung des Arbeitsplatzes und des Arbeitsablaufs in die Festlegung der Schutzmaßnahmen einzubringen, was ihnen als Recht gemäß § 82 Abs. 1 BetrVG zusteht?

- Wird bei der Auswahl der Schutzmaßnahmen deren vorgeschriebene Reihenfolge beachtet?
  - Gestaltung des Verfahrens und technische Maßnahmen
  - Kollektive Schutzmaßnahmen (Be- und Entlüftung)

- Organisatorische Maßnahmen
- Persönliche Schutzausrüstung
- Falls die Verwendung von persönlicher Schutzausrüstung vorgeschrieben wird: Sind die Gründe dafür, dass die entsprechende Belastung weder durch technische noch durch organisatorische Maßnahmen verhindert werden kann, schriftlich festgehalten worden?
- Werden die Schutzmaßnahmen getroffen, bevor mit der jeweiligen Tätigkeit begonnen wird?
- Wenn bereits eine Gefährdungsbeurteilung durchgeführt worden ist und später ein Sicherheitsdatenblatt eintrifft, das zusätzliche Informationen nach der REACH-Verordnung enthält (u.a. DNEL-Werte, Expositionsszenarien und die darin beschriebenen Risikomanagementmaßnahmen), wird dann eine Überprüfung der vorhandenen Gefährdungsbeurteilung einschließlich eines Abgleichs der Schutzmaßnahmen veranlasst?
- Wenn in einem derartigen Fall der Abgleich der Schutzmaßnahmen ergibt, dass die bisherigen Schutzmaßnahmen und die im erweiterten Sicherheitsdatenblatt (eSDB) beschriebenen Maßnahmen nicht gleichwertig sind, wird dann die Gefährdungsbeurteilung in jedem Fall aktualisiert?
- Wenn die aus dem obigen Anlass aktualisierte Gefährdungsbeurteilung ergibt, dass anspruchsvollere Schutzmaßnahmen entsprechend der Beschreibung im eSDB zu treffen sind, werden die entsprechenden Maßnahmen dann binnen eines Jahres nach Erhalt des Sicherheitsdatenblattes umgesetzt?
- Wenn die aus dem obigen Anlass aktualisierte Gefährdungsbeurteilung ergibt, dass weniger anspruchsvolle Schutzmaßnahmen entsprechend der Beschreibung im eSDB getroffen werden können, wird dann mit dem Betriebsrat darüber beraten, ob die bisherigen – anspruchsvolleren – Schutzmaßnahmen trotzdem beibehalten werden sollten?

#### *Wirksamkeitsprüfung der Schutzmaßnahmen*

- Ist die Wirksamkeit der technischen Schutzmaßnahmen vor Beginn der jeweiligen Tätigkeit geprüft und schriftlich festgehalten worden?
- Ist festgelegt worden, in welchen zeitlichen Abständen die Wirksamkeit der technischen Schutzmaßnahmen überprüft werden muss?
- Ist festgelegt worden, wer diese Prüfung durchzuführen hat?
- Ist bei der Verwendung von Nanomaterialien, für die ein Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) fest-

gelegt ist, geprüft beziehungsweise sichergestellt, dass der AGW eingehalten wird?

- Wird bei der Verwendung von Nanomaterialien, für die kein AGW festgelegt ist, für die aber ein DNEL-Wert im SDB übermittelt worden ist, geprüft beziehungsweise sichergestellt, dass der DNEL-Wert eingehalten wird?
- Wenn die Einhaltung des DNEL-Wertes trotz der im eSDB beschriebenen und umgesetzten Maßnahmen nicht möglich ist: wird dann der Lieferant des Stoffes oder des Gemisches darüber informiert, dass die im eSDB beschriebenen Maßnahmen nicht geeignet sind, eine Einhaltung des DNEL-Wertes zu gewährleisten?
- Wird bei Tätigkeiten mit Nanomaterialien, für die weder ein AGW festgelegt ist noch ein DNEL-Wert im SDB übermittelt worden ist, für die Überprüfung der Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen auf einen Beurteilungswert zurückgegriffen? Wird in der Dokumentation der Gefährdungsbeurteilung festgehalten, von welcher Institution der betreffende Beurteilungswert empfohlen wird und weshalb gerade diese Empfehlung ausgewählt worden ist?

#### *Information der Beschäftigten*

- Liegen für alle Tätigkeiten mit Nanomaterialien Betriebsanweisungen vor und sind sie den Beschäftigten zugänglich?
- Ist die Sprache der Betriebsanweisungen für die Beschäftigten verständlich?
- Erhalten die Beschäftigten die erforderliche mündliche Unterweisung, bevor sie die entsprechende Tätigkeit mit Nanomaterialien aufnehmen?
- Wird mit den Beschäftigten die Handhabung und Durchführung von Schutzmaßnahmen für die von ihnen verwendeten Nanomaterialien auch praktisch eingeübt?
- Erhalten die Beschäftigten im Rahmen der Unterweisung auch eine allgemeine arbeitsmedizinisch-toxikologische Beratung? Werden sie dabei auf die besonderen Gefährdungen, die von Nanomaterialien ausgehen können, gezielt hingewiesen? Werden sie dabei auf ihr Recht auf Angebotsuntersuchungen als Teil der arbeitsmedizinischen Vorsorge hingewiesen?
- Erhalten die Beschäftigten die ihnen zustehende Einsicht in Unterlagen, wie das Gefahrstoffverzeichnis und die Sicherheitsdatenblätter? Werden sie über diese Einsichtsrechte informiert?

## *Zuständigkeiten und Zeitvorgaben*

Ist festgelegt, wer im Unternehmen für die Überwachung des Prozessablaufs, wer für die Bearbeitung der einzelnen Prozesselemente zuständig ist?

Sind konkrete Zeitvorgaben für den Prozess als Ganzes und für jedes der Prozesselemente festgelegt worden?

# Anhang I

## Überblick: Handlungshilfen für den Arbeitsschutz

Dieser Anhang besteht aus zwei Teilen: Im ersten wird ein Überblick über Handlungshilfen für den Arbeitsschutz gegeben, die in elektronischer Form vorliegen und im Internet verfügbar sind, zum Teil als PDF-Dokument, zum Teil als Website-Text. Der zweite Teil enthält einen Überblick über Websites, in denen neben anderen Themen auch Hinweise zu »Nanomaterialien und Arbeitsschutz« zu finden sind.

### I. Handlungshilfen für den Arbeitsschutz

*Leitfaden für Tätigkeiten mit Nanomaterialien*  
herausgegeben von der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) und vom Verband der Chemischen Industrie (VCI)  
elektronisch verfügbar unter: [http://www.baua.de/nn\\_43190/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/Nanotechnologie/pdf/Leitfaden-Nanomaterialien.pdf](http://www.baua.de/nn_43190/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/Nanotechnologie/pdf/Leitfaden-Nanomaterialien.pdf)

*Ultrafeine Aerosole und Nanopartikel am Arbeitsplatz*  
Website des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA): <http://www.dguv.de/ifa/de/fac/nanopartikel/index.jsp>

*FAQs zu Tätigkeiten mit Nanomaterialien – Arbeitshilfe für Betriebsärztinnen und Betriebsärzte*  
Website der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV): [http://www.dguv.de/inhalt/praevention/fachaus\\_fachgruppen/arbeitsmedizin/produkte/faq\\_nano/index.jsp](http://www.dguv.de/inhalt/praevention/fachaus_fachgruppen/arbeitsmedizin/produkte/faq_nano/index.jsp)

*Nanomaterialien: Arbeitsschutzaspekte*  
herausgegeben von der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg  
elektronisch verfügbar unter: [http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/56759/nanomaterialien\\_arbeitsschutzaspekte.pdf?command=downloadContent&filename=nanomaterialien\\_arbeitsschutzaspekte.pdf](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/56759/nanomaterialien_arbeitsschutzaspekte.pdf?command=downloadContent&filename=nanomaterialien_arbeitsschutzaspekte.pdf)

*Sichere Verwendung von Nanomaterialien in der Lack- und Farbenbranche*  
Ein Betriebsleitfaden  
herausgegeben vom Hessischen Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung  
elektronisch verfügbar unter:  
[http://www.hessen-nanotech.de/mm/Betriebsleitfaden\\_NanoFarbeLacke\\_Vorab.pdf](http://www.hessen-nanotech.de/mm/Betriebsleitfaden_NanoFarbeLacke_Vorab.pdf)

### *Nanopartikel an Arbeitsplätzen*

Website der Schweizer Unfallversicherungsanstalt (SUVA): [http://www.suva.ch/nanopartikel\\_an\\_arbeitsplaetzen.htm?mc=nanopartikel&WT.mc\\_id=shortcut\\_nanopartikel](http://www.suva.ch/nanopartikel_an_arbeitsplaetzen.htm?mc=nanopartikel&WT.mc_id=shortcut_nanopartikel)

### II. Websites zum Thema Nanotechnologie, auf denen ebenfalls Hinweise zum Arbeitsschutz zu finden sind

#### *Nanotechnologie*

Website der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA):  
[http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/Nanotechnologie/Nanotechnologie.html?\\_\\_nnn=true&\\_\\_nnn=true](http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/Nanotechnologie/Nanotechnologie.html?__nnn=true&__nnn=true)

#### *Nanotechnologie*

Website der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV): [http://www.dguv.de/inhalt/praevention/themen\\_a\\_z/nano/index.jsp](http://www.dguv.de/inhalt/praevention/themen_a_z/nano/index.jsp)

#### *Informationsplattform Nano-Sicherheit*

Website von Hessen Nanotech:  
<http://www.nano-sicherheit.de/>

#### *Nanotechnologie*

Website der BASF SE:  
<http://www.basf.com/group/corporate/de/sustainability/dialogue/in-dialogue-with-politics/nanotechnology/index>

#### *Nanomaterial Stewardship*

Website der Bayer AG:  
[http://baycareonline.com/nano\\_stewardship.asp](http://baycareonline.com/nano_stewardship.asp)

#### *Nanotechnologie bei Evonik*

Website der Evonik AG:  
<http://nano.evonik.com/sites/nanotechnology/de/Pages/default.aspx>

## Glossar

### *Aerosol*

Gemisch fester oder flüssiger Teilchen in Luft

### *Agglomerat*

von schwachen Bindungskräften zusammengehaltene Zusammenballung von Partikeln oder von → Aggregaten

### *Aggregat*

von starken Bindungskräften zusammengehaltene Zusammenballung von Partikeln

### *akute Wirkung*

unmittelbar als Folge einer einmaligen Belastung mit einem Gefahrstoff auftretende Wirkung, z.B. eine Haut- oder Augenreizung, eine Verätzung oder eine Vergiftung (→ chronische Wirkung)

### *Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)*

Dies ist der Grenzwert für die zeitlich gewichtete durchschnittliche Konzentration eines Stoffes in der Luft am Arbeitsplatz in Bezug auf einen gegebenen Referenzzeitraum. Er gibt an, bei welcher Konzentration eines Stoffes akute oder chronische schädliche Auswirkungen auf die Gesundheit im Allgemeinen nicht zu erwarten sind (siehe die Definition in § 3 Abs. 6 GefStoffV).

Üblicherweise wird als Referenzzeitraum zum einen 8 Std., also eine Schichtlänge, zu Grunde gelegt, um den erforderlichen Schutz vor lang andauernder Belastung zu bestimmen. Die entsprechenden Größen werden als Schichtmittelwerte bezeichnet. Zum Schutz gegen kurzzeitige Wirkungen, wie etwa Augen- oder Atemwegsreizungen, wird für Stoffe mit solchen Wirkungen zusätzlich eine Spitzenbelastung für einen fünf- oder fünfzehnminütigen Zeitraum festgelegt, die je nach Stoff denselben Wert wie der Schichtmittelwert haben kann oder auch darüber liegen kann. Die aktuell gültigen AGW sind in der TRGS 900 aufgeführt.

AGW werden nur für Einzelstoffe abgeleitet, nicht für Stoffgemische. Für Stoffgemische oder für gleichzeitige Belastung mit mehreren Stoffen wird angenommen, dass sich die Wirkungen addieren. In diesem Fall ist die für die Mischexposition zulässige Höchstbelastung entsprechend dem in der TRGS 402 beschriebenen Verfahren zu berechnen.

Bei der Ableitung von AGW bleiben andere Belastungen, wie etwa schwere körperliche Arbeit, Hitzearbeit oder Nacharbeit, ausgeklammert. Solche zu-

sätzlichen Belastungsfaktoren sind im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung zu berücksichtigen. Ebenso wenig gehen individuelle Empfindlichkeiten, sei es aufgrund angeborener Merkmale oder aufgrund früherer Schädigungen, in die Ableitung des AGW ein. Auch dies ist bei der Gefährdungsbeurteilung in Rechnung zu stellen.

### *Beschichtung*

Anlagerung einer dünnen Schicht chemisch anderer Atome oder Moleküle an die Oberfläche von Nanomaterialien oder an Oberflächen von nicht-nanoskaligen Objekten.

Durch Beschichtung von Nanomaterialien können bestimmte Eigenschaften, z.B. das Agglomerationsverhalten, gezielt verändert werden. Bei Kohlenstoffhaltigen Nanomaterialien erfolgt eine Veränderung von Materialeigenschaften statt durch Beschichtung häufig durch den Einbau funktioneller Gruppen in die Molekülstruktur des Materials. Als Nebenwirkung solcher Veränderungen kann sich allerdings auch das biologische Verhalten und damit das toxische Potential gegenüber dem des Ausgangsmaterials verändern.

Durch Beschichtung nicht-nanoskaliger Objekte können diese eine nano-strukturierte Oberfläche erhalten, die ihnen eine bestimmte Nano-Eigenschaft verleiht. Ein Beispiel ist die Schmutz abweisende Beschichtung von Oberflächen, die auch als »Lotus-Effekt« bekannt ist.

### *coating*

s. → Beschichtung

### *chronische Wirkung*

als Folge einer wiederholten oder dauernden Belastung mit einem Gefahrstoff auftretende Wirkung, z.B. eine Hautentzündung, eine Nervenschädigung, eine schleichende Vergiftung oder eine Krebserkrankung (→ akute Wirkung)

### *Dimension*

Raumrichtung – Objekte können in einer, in zwei oder in allen drei Raumrichtungen (Dimensionen) nanoskalig sein. Dementsprechend wird zwischen flächigen, stabförmigen und klumpenförmigen Nanomaterialien unterschieden.

### *DNEL-Wert*

DNEL-Werte sind → Grenzwerte, die in der → REACH-VO beschrieben sind. Danach ist ein DNEL-Wert (De-

rived No-Effect Level) diejenige Konzentration eines Stoffes, unterhalb derer eine Gesundheitsschädigung nicht zu erwarten ist.

Entsprechend der REACH-VO können DNEL-Werte sowohl für unterschiedliche Aufnahmewege (durch Verschlucken, durch die Aufnahme über die Haut, durch Atmung), für unterschiedliche Personengruppen (z. B. Kinder, Schwangere) als auch für unterschiedliche Expositionsmuster (Dauer, Häufigkeit) abgeleitet werden.

#### *Einstufung*

Vor ihrer Vermarktung müssen Stoffe und Gemische vom Hersteller oder Importeur entsprechend den in einer EU-Richtlinie beschriebenen Kriterien eingestuft werden (s. § 5 Abs. 1 GefStoffV). Dabei sind alle gefährlichen Eigenschaften der Stoffe und Gemische zu berücksichtigen. Diese Eigenschaften sind auch in § 4 GefStoffV genannt (→ Gefährlichkeitsmerkmale). Die Einstufung ist eine der Grundlagen der → Gefährdungsbeurteilung.

Die rechtliche Grundlage für die Einstufung bildet seit Januar 2009 die CLP-Verordnung der EU<sup>1</sup> (CLP steht für die englische Bezeichnung »Classification, labelling and packaging« – Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung), mit der das weltweite System für eine vereinheitlichte Einstufung und Kennzeichnung von Chemikalien (GHS – Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals) innerhalb der EU umgesetzt ist. (Hinweise für den Übergang vom bisherigen System der Einstufung und Kennzeichnung auf das neue System sind in der »Bekanntmachung zu Gefahrstoffen 408 – Anwendung der GefStoffV und TRGS mit dem Inkrafttreten der CLP-Verordnung« zu finden.)

<sup>1</sup> Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen, zur Änderung und Aufhebung der Richtlinien 67/548/EWG und 1999/45/EG und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006

#### *Erweitertes Sicherheitsdatenblatt (eSDB)*

Ein erweitertes Sicherheitsdatenblatt (eSDB) ist ein Instrument der → REACH-VO. Es muss für Stoffe übermittelt werden, für die ein → Sicherheitsdatenblatt zu liefern ist und die in Mengen von 10 Tonnen oder mehr hergestellt oder importiert werden. Zusätzlich zum SDB enthält das eSDB einen Anhang, in dem die einschlägigen → Expositionsszenarien für die vom Hersteller vorgesehenen Verwendungen enthalten sein müssen.

Die Beschreibung der Expositionsszenarien soll es den Verwendern ermöglichen, den Stoff oder das Gemisch ohne Schädigungen der menschlichen Gesundheit oder der Umwelt zu verwenden.

#### *Erzeugnis*

Ein Erzeugnis ist ein Gegenstand, der bei der Herstellung eine spezifische Form, Oberfläche oder Gestalt erhält, die in größerem Maße als die chemische Zusammensetzung seine Funktion bestimmt. (→ Stoff, Gemisch, Produkt)

#### *Exposition*

Exposition ist das Ausgesetztsein gegenüber einem Gefahrstoff am Arbeitsplatz. Dies kann der Fall sein durch die Belastung der Atemluft, durch Hautkontakt oder durch Verschlucken von Gefahrstoffen.

#### *Expositionsszenario (ES)*

Ein Expositionsszenario (ES) ist ein Instrument der → REACH-VO. Es ist die Zusammenstellung von Bedingungen einschließlich der Verwendungsbedingungen und → Risikomanagementmaßnahmen, mit denen dargestellt wird, wie der Stoff hergestellt oder während seines Lebenszyklus verwendet wird, so dass es nicht zu Schädigungen der menschlichen Gesundheit oder der Umwelt kommen kann.

#### *Funktionalität*

»Funktionalität« wird als Oberbegriff für spezielle Eigenschaften verwendet, mit denen Nanomaterialien gezielt versehen werden. Bei solchen Eigenschaften kann es sich um besondere mechanische (z.B. Zugfestigkeit, Kratzfestigkeit), chemische (Reaktivität), elektrische (Leitfähigkeit), optische (Farbwechsel) oder magnetische Eigenschaften handeln.

#### *Gefährdungsbeurteilung*

Die Gefährdungsbeurteilung ist ein Prozess, der im Rahmen des Arbeitsschutzes durchgeführt werden muss und für den der Arbeitgeber verantwortlich ist. Ihre rechtliche Grundlage hat die Gefährdungsbeurteilung im Arbeitsschutzgesetz (§ 5 ArbSchG, Beurteilung der Arbeitsbedingungen). Für Tätigkeiten



mit Gefahrstoffen, und damit ebenfalls mit Nanomaterialien, finden sich die rechtlichen Vorgaben in der Gefahrstoffverordnung (speziell §§ 7 – 12 und 14 GefStoffV), weitergehende Erläuterungen werden in einer Technischen Regel für Gefahrstoffe gegeben (TRGS 400 – Gefährdungsbeurteilung für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen).

Der Prozess der Gefährdungsbeurteilung ist als kontinuierlicher Verbesserungsprozess strukturiert und besteht aus den Schritten Informationsermittlung, Beurteilung der Gefährdungen, Ableitung und Umsetzung der Schutzmaßnahmen, Erstellung der Betriebsanweisung und Unterweisung der Beschäftigten, Überprüfung der Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen, schriftliche Dokumentation, sowie arbeitsmedizinisch-toxikologische Beratung. Diese Schritte sind bei Veränderungen am Arbeitsplatz oder bei neuen Informationen zu aktualisieren und darüber hinaus zyklisch zu wiederholen.

#### *Gefährlichkeitsmerkmale*

Gefährlichkeitsmerkmale sind die in § 4 GefStoffV beschriebenen 15 Eigenschaften, die als besondere Merkmale die bestimmte Gefährlichkeit eines Stoffes oder eines Gemisches bezeichnen. Bei diesen Eigenschaften kann es sich um → physikalisch-chemische, → toxische oder → ökotoxische Eigenschaften handeln. Die Zuordnung der Gefährlichkeitsmerkmale zu einem Stoff oder einem Gemisch erfolgt im Prozess der → Einstufung.

#### *Gefahrstoff*

Dies sind entsprechend § 3 Abs. 1 GefStoffV

1. gefährliche Stoffe oder Gemische nach § 3a des Chemikaliengesetzes (dies entspricht Stoffen und Gemischen, denen ein oder mehrere der in § 4 GefStoffV aufgeführten Gefährlichkeitsmerkmale zugeordnet worden sind) sowie Stoffe und Zubereitungen, die sonstige chronisch schädigende Eigenschaften besitzen (wie z.B. inerte Stäube, die chronische Atemwegserkrankungen verursachen können, ohne dass ihnen aber ein Gefährlichkeitsmerkmal zugeordnet werden kann),
2. Stoffe, Gemische und Erzeugnisse, die explosionsfähig sind (wie etwa Feststoffe, wenn sie in fein verteilter Form in Luft vorliegen, so etwa Mehl-, Getreide-, Holz- oder Metallstäube, oder Flüssigkeiten mit einem hohen Flammpunkt, aus denen bei hohen Betriebstemperaturen Dämpfe freigesetzt werden, die explosionsfähige Dampf-Luft-Gemische bilden können),
3. Stoffe, Gemische und Erzeugnisse, aus denen bei der Herstellung oder Verwendung Stoffe oder Gemische nach Nummer 1 oder 2 entstehen oder

freigesetzt werden können (wie etwa Schweißelektroden, aus denen beim Schweißen Schweißrauch freigesetzt wird; Holz, wenn bei dessen Bearbeitung Holzstaub entsteht oder Tonerkartuschen, wenn deren im Kopiergerät abgelagerter Tonerstaub bei Arbeiten am geöffneten Gerät freigesetzt wird),

4. sonstige gefährliche chemische Arbeitsstoffe im Sinne des Artikels 2 Buchstabe b in Verbindung mit Buchstabe a der Richtlinie 98/24/EG (dies sind Stoffe, bei denen die Art und Weise ihrer Verwendung eine Gesundheitsgefährdung hervorruft, wie etwa tiefkalte Gase, Heißdampf oder auch Wasser bei Tätigkeiten mit ständigem Hautkontakt).

#### *Gefahrstoffverordnung (GefStoffV)*

Die Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) ist eine Verordnung gemäß dem Arbeitsschutzgesetz. Mit ihr werden auch die EU-Richtlinie zum Schutz vor chemischen Stoffen<sup>2</sup> und die EU-Krebsrichtlinie<sup>3</sup> in deutsches Recht umgesetzt. Zweck der GefStoffV ist der »Schutz der Beschäftigten und anderer Personen vor Gefährdungen ihrer Gesundheit und Sicherheit durch Gefahrstoffe und der Schutz der Umwelt vor stoffbedingten Schädigungen.« (s. § 1 Abs. 1 GefStoffV)

#### *Gemisch*

Gemische sind Mischungen aus zwei oder mehreren chemischen Stoffen (→ Stoff). Seit 2008 ist die Bezeichnung »Gemisch« an die Stelle der früher verwendeten Bezeichnung »Zubereitung« getreten. (→ Erzeugnis, Produkt)

#### *gesundheitsschädlich*

Stoffe und Gemische sind gesundheitsschädlich, wenn sie bei Einatmen, Verschlucken oder Aufnahme über die Haut zum Tode führen oder akute oder chronische Gesundheitsschäden verursachen können (s. § 3 Nr. 8 GefStoffV).

<sup>2</sup> Richtlinie 98/24/EG des Rates vom 7. April 1998 zum Schutz von Gesundheit und Sicherheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch chemische Arbeitsstoffe bei der Arbeit (vierzehnte Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG des Rates)

<sup>3</sup> Richtlinie 2004/37/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. April 2004 über den Schutz der Arbeitnehmer gegen Gefährdung durch Karzinogene oder Mutagene bei der Arbeit (sechste Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG des Rates) (kodifizierte Fassung der Richtlinie 90/394/EWG und ihrer Änderungen)

### *Grenzwerte*

Grenzwerte sind Festlegungen für die höchstzulässigen stoffbedingten Belastungen am Arbeitsplatz oder in der Umwelt. Bei ihrer Einhaltung (Überschreitung) sind akute oder chronische schädliche Auswirkungen auf die Gesundheit im Allgemeinen oder auf die Umwelt nicht zu erwarten. Im Arbeitsschutz sind Grenzwerte ein Instrument, um die Wirksamkeit der getroffenen Schutzmaßnahmen zu überprüfen.

Beispiele für Grenzwerte sind der → AGW (gemäß → GefStoffV) im Arbeitsschutz sowie der → DNEL- Wert gemäß → REACH-VO.

### *Hersteller*

Hersteller (Produzent) ist derjenige, der einen Stoff, ein Gemisch oder ein Erzeugnis innerhalb der EU herstellt oder gewinnt (gewinnt im Sinne von: Gewinnung von Rohstoffen). Bei Herstellern kann es sich um natürliche Personen oder um juristische Personen mit Sitz in der EU handeln.

Hersteller von → Gemischen (auch als »Formulierer« bezeichnet) gelten im Rahmen der → REACH-VO nicht als Hersteller, sondern als Verwender der eingesetzten Stoffe (als »nachgeschaltete Anwender« in der REACH-VO).

### *Inhalation*

Atmung oder Einatmung – am Arbeitsplatz ist die Aufnahme von Nanomaterialien über die Atmung der wichtigste mögliche Aufnahmeweg in den Körper.

### *Kennzeichnung*

Vor ihrer Vermarktung müssen als gefährlich eingestufte Stoffe und Gemische sowie Biozid-Produkte vom Hersteller oder Importeur entsprechend der CLP-Verordnung der EU gekennzeichnet werden.

Durch die Kennzeichnung sollen den Verwendern Informationen über gefährliche Eigenschaften sowie Ratschläge für den sicheren Umgang gegeben werden, um so Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen zu vermeiden bzw. zu verringern.

Die Kennzeichnung ist auf dem Etikett anzugeben und muss folgende Angaben enthalten:

Name und vollständige Anschrift des Herstellers bzw. Einführers

- Bezeichnung des Stoffes bzw. Bezeichnung oder Handelsname des Gemisches
- bei Gemischen die Bezeichnungen der wichtigsten gefährlichen Inhaltsstoffe

- Gefahrensymbole und Gefahrenbezeichnungen (altes System) bzw. Gefahrenpiktogramm und Signalwörter (neues System)
- Gefahrenhinweise: R-Sätze (altes System) bzw. H-Codes (neues System)
- Sicherheitshinweise: S-Sätze (altes System) bzw. P-Codes (neues System)
- Die Kennzeichnung ist eine wichtige Informationsquelle für die Gefährdungsbeurteilung, reicht jedoch für die Ableitung von Schutzmaßnahmen keinesfalls aus.

### *krebserzeugend*

Stoffe und Gemische sind krebserzeugend (karzinogen), wenn sie bei Einatmen, Verschlucken oder Aufnahme über die Haut Krebs erregen oder die Krebshäufigkeit erhöhen können (s. § 3 Nr. 12 GefStoffV).

### *Lieferkette*

Die Lieferkette im Sinne der REACH-VO umfasst den → Hersteller oder Importeur, die professionellen Verwender (sog. »nachgeschaltete Anwender«) sowie die Händler. Die Lieferkette umfasst jedoch nicht private Verbraucher von Stoffen, Gemischen und Erzeugnissen.

### *ökotoxisch*

→ umweltgefährlich

### *Persönliche Schutzausrüstung (PSA)*

Persönliche Schutzausrüstung (PSA) ist die Sammelbezeichnung für Kopf-, Fuß-, Gesichts-, Augen-, Hand-, Körper-, Atemschutz. Die Verwendung von PSA darf nur dann angeordnet werden, wenn Gesundheitsgefährdungen durch technische und organisatorische Maßnahmen nicht beseitigt oder zumindest auf ein Minimum begrenzt werden können. Führt das Tragen von PSA zu Belastungen, so ist dies in der Gefährdungsbeurteilung zu berücksichtigen und es sind Ausgleichsmaßnahmen festzulegen, wie etwa Tragezeitbegrenzungen, zusätzliche Erholzeiten oder ein regelmäßiger Wechsel mit Tätigkeiten ohne derartige Belastungen.

### *physikalisch-chemische Eigenschaften*

Zu den physikalisch-chemischen Eigenschaften eines Stoffes gehören unter anderem Flammpunkt, Entzündlichkeit, brandfördernde Eigenschaften, Dampfdruck, relative Dichte und Löslichkeit. Physikalisch-chemische Eigenschaften von Stoffen, die für die sichere Handhabung wichtig sind, müssen in Abschnitt 9 des → Sicherheitsdatenblattes angegeben werden.

### Produkt

Produkt ist ein Oberbegriff, der → Stoff, → Gemisch (frühere Bezeichnung: Zubereitung) und → Erzeugnis umfasst.

### PSA

→ Persönliche Schutzausrüstung

### Rangfolge der Schutzmaßnahmen

Die Rangfolge der → Schutzmaßnahmen ist ein »Grundgesetz« des Arbeitsschutzes. Sie gibt an, dass Schutzmaßnahmen in einer vorgegebenen Reihenfolge getroffen werden müssen. In Bezug auf Gefahrstoffe hat diese Reihenfolge folgendes Aussehen:

- Substitution, d.h. Verzicht auf den Einsatz von Gefahrstoffen durch ein anderes Verfahren, das ohne diese Stoffe auskommt (Ersatzverfahren); Ersatz von Gefahrstoffen durch Stoffe, die keine Gefahrstoffe sind, oder durch weniger gefährliche Gefahrstoffe (Ersatzstoffe)
- Technische Maßnahmen, abgestuft nach Verwendung eines geschlossenen Systems, Absaugung an der Quelle, Lüftungsmaßnahmen
- Organisatorische Maßnahmen
- Persönliche Schutzmaßnahmen

Diese Rangfolge der Schutzmaßnahmen wird auch als »STOP-Prinzip« bezeichnet. Insbesondere folgt aus diesem Prinzip, dass der Einsatz von → PSA die schwächste denkbare Schutzmaßnahme ist, auf die nur dann zurückgegriffen werden darf, wenn alle anderen Maßnahmen nicht möglich sind oder nicht zu einem ausreichenden Schutz führen. Dies ist in der Dokumentation der Gefährdungsbeurteilung begründet zu belegen.

Die rechtliche Grundlage für die Rangfolge der Schutzmaßnahmen findet sich in den entsprechenden EU-Richtlinien und im ArbSchG.

### REACH-Verordnung

Die REACH-Verordnung (REACH-VO)<sup>4</sup> ist eine Verordnung, die in allen EU-Mitgliedsstaaten gilt. In ihr sind Herstellung, Import und Vermarktung von Chemikalien geregelt. Damit greift die REACH-VO prinzipiell

auch für Herstellung, Import und Vermarktung von Nanomaterialien. Ihre Hauptelemente sind Vorgaben für die Registrierung, Bewertung, Zulassung sowie von Beschränkungen von chemischen Stoffen.

Allerdings sind einzelne Bestimmungen der REACH-VO nicht auf die Besonderheiten von Nanomaterialien abgestimmt. Deshalb wird im Rahmen einer europäischen Arbeitsgruppe gegenwärtig darüber diskutiert, in welcher Weise die REACH-VO ergänzt werden sollte, damit sie auch sinnvoll auf Nanomaterialien angewendet werden kann.

### Risikomanagementmaßnahmen (RMM)

Risikomanagementmaßnahmen (RMM) sind ein Begriff aus der → REACH-VO. Sie beschreiben die Maßnahmen, die bei der Herstellung eines Stoffes oder bei seiner Verwendung an jeder Station seines Lebenszyklus unter den jeweiligen Verwendungsbedingungen getroffen werden müssen, so dass es nicht zu Schädigungen der menschlichen Gesundheit oder der Umwelt kommen kann. Die Risikomanagementmaßnahmen sind Teil des → Expositionsszenarios und sind vom → Hersteller oder Importeur eines Stoffes abzuleiten.

Die RMM werden im → erweiterten Sicherheitsdatenblatt übermittelt und müssen vom professionellen Verwender des Stoffes oder Gemisches gemäß REACH-VO angewendet und spätestens zwölf Monate nach Erhalt des eSDB umgesetzt werden. Da an Arbeitsplätzen auch die → Gefahrstoffverordnung gilt, muss der Verwender in seiner gleichzeitigen Rolle als Arbeitgeber gemäß GefStoffV auch die entsprechenden Vorgaben für Durchführung der → Gefährdungsbeurteilung (GB) beachten. Insbesondere muss er prüfen, ob die von ihm im Rahmen der GB abgeleiteten und getroffenen → Schutzmaßnahmen diejenigen Anforderungen der ihm übermittelten RMM abdecken, die sich auf den Arbeitsschutz beziehen, oder ob er seine GB überarbeiten und die Schutzmaßnahmen gegebenenfalls anpassen muss.

### Schutzmaßnahmen

Schutzmaßnahmen zum Schutz gegen gesundheitliche Gefährdungen müssen gemäß → Gefahrstoffverordnung vom Arbeitgeber im Rahmen der → Gefährdungsbeurteilung abgeleitet und durchgeführt werden (s. §§ 7 – 12 GefStoffV). Sie werden üblicherweise in technische, organisatorische und persönliche Schutzmaßnahmen unterteilt. Zu ersteren gehört das geschlossene System, die emissionsarme Gestaltung des Verfahrens oder die Verwendung des Stoffes in emissionsarmer Form, vollständige Erfassung des Stoffes an der Austritts- oder Entstehungs-

<sup>4</sup> Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH), zur Schaffung einer Europäischen Chemikalienagentur, zur Änderung der Richtlinie 1999/45/EG und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 1488/94 der Kommission, der Richtlinie 76/769/EWG des Rates sowie der Richtlinien 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/EWG und 2000/21/EG der Kommission

stelle sowie Lüftungstechnische Maßnahmen. Bei der Anwendung von Schutzmaßnahmen ist eine vorgegebene Reihenfolge einzuhalten: → Rangfolge der Schutzmaßnahmen

#### *Sicherheitsdatenblatt (SDB)*

Das Sicherheitsdatenblatt (SDB) ist das zentrale Informationsinstrument in der Lieferkette. Es ist vom Lieferanten kostenlos und in deutscher Sprache für solche Stoffe und Gemische zu übermitteln, die die Kriterien für die Einstufung als gefährlich erfüllen oder bestimmte, die Umwelt gefährdende Eigenschaften aufweisen (persistent, bioakkumulierbar und toxisch – PBT – oder sehr persistent und sehr bioakkumulierbar – vPvB). Das SDB muss alle wichtigen Informationen über den Stoff oder das Gemisch enthalten. Hierzu gehören insbesondere Angaben über die gefährlichen Inhaltsstoffe (bei Gemischen), vorgesehene Verwendung, Gefahren, Aufbewahrung, Schutzmaßnahmen.

Das SDB muss von einer fachkundigen Person erstellt worden sein und den Abnehmern spätestens bei der ersten Lieferung übermittelt werden. Es muss fachlich richtig und vollständig ausgefüllt sein sowie bei neuen Informationen unverzüglich aktualisiert werden.

#### *Stoff*

Chemische Stoffe sind chemische Elemente oder Verbindungen, wie sie natürlich vorkommen oder hergestellt werden, einschließlich der Verunreinigungen und der für die Vermarktung erforderlichen Hilfsstoffe, sofern diese bestimmte Konzentrationsgrenzen unterschreiten.

(→ Gemisch, Erzeugnis, Produkt)

#### *Substitution*

Substitution bezeichnet den Ersatz eines Gefahrstoffes durch einen weniger gefährlichen Stoff (Stoffsubstitution) oder den Ersatz eines Verfahrens durch ein Verfahren ohne Verwendung von Gefahrstoffen (Verfahrenssubstitution).

#### *Suspension*

Gemisch von Feststoffteilchen in einer Flüssigkeit.

#### *Tätigkeit*

Als Tätigkeit im Sinne der GefStoffV gilt jede Arbeit, bei der Stoffe, Gemische oder Erzeugnisse hergestellt, verwendet, gehandhabt, gelagert, befördert, entsorgt oder behandelt werden oder bei der Stoffe oder Gemische entstehen oder auftreten. Ferner sind zu Tätigkeiten im Sinne der GefStoffV auch solche Arbeiten zu rechnen, bei denen eine Gefährdung durch

Gefahrstoffe besteht, die dort vorhanden sind oder die Gegenstand der Tätigkeit von Dritten sind oder waren.

#### *Technische Regeln für Gefahrstoffe (TRGS)*

Technische Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) sind Bestimmungen, in denen die Vorschriften der Gefahrstoffverordnung inhaltlich näher bestimmt werden. Die in ihnen enthaltenen Anforderungen sind im Regelfall unter Berücksichtigung der üblichen Betriebsverhältnisse zu stellen. Von Technischen Regeln kann allerdings ohne Einschaltung einer Behörde abgewichen werden, wenn stattdessen ebenso wirksame Maßnahmen getroffen werden.

Technische Regeln werden vom Bundesministerium für Arbeit und Soziales nach Beratung durch den Ausschuss für Gefahrstoffe veröffentlicht.

#### *Toxikologie*

Die Toxikologie ist die Wissenschaft der Giftstoffe, d.h. der Zweig der Wissenschaft, der sich mit den schädlichen Wirkungen chemischer Substanzen auf lebende Organismen befasst.

#### *toxisch*

»Toxisch« wird als Oberbegriff für alle Arten gesundheitsschädigender Wirkungen verwendet. Toxisch schließt gesundheitsschädlich, reizend, ätzend, sensibilisierend, giftig, sehr giftig, krebserzeugend, erbgutverändernd und fortpflanzungsschädigend ein. Dagegen werden Schädigungen durch → physikalisch-chemische Eigenschaften sowie → umweltgefährliche (ökotoxische) Eigenschaften nicht unter diesen Begriff gefasst.

Das Kriterium »toxisch« ist für die Definition der PBT-Eigenschaft in der REACH-VO allerdings anders festgelegt: Danach erfüllt ein Stoff dieses Kriterium, wenn er bestimmte Langzeitwirkungen auf Meeres- oder Süßwasserlebewesen aufweist oder eine krebserzeugende, erbgutverändernde oder fortpflanzungsgefährdende Wirkung oder andere chronisch toxische Wirkungen besitzt. Die Voraussetzungen für die Zuordnung dieses Kriteriums sind in Anhang XIII der REACH-VO zu finden.

#### *Toxizität*

Toxizität bedeutet Gesundheitsschädlichkeit eines Stoffes. Mit »akuter Toxizität« werden insbesondere die abgestuften Wirkungen »gesundheitsschädlich« – »giftig« – »sehr giftig« bezeichnet.

### *ultrafein*

Ultrafein bezeichnet die Größe von Partikeln. Ultrafeine Partikel sind solche, die kleiner als 100 Nanometer sind.

### *umweltgefährlich*

Stoffe und Gemische sind umweltgefährlich, wenn sie selbst oder ihre Umwandlungsprodukte geeignet sind, die Beschaffenheit des Naturhaushalts, von Wasser, Boden oder Luft, Klima, Tieren, Pflanzen oder Mikroorganismen derart zu verändern, dass dadurch sofort oder später Gefahren für die Umwelt herbeigeführt werden können (s. § 3 Nr. 15 GefStoffV).

### *Verwendungszweck*

Verwendung eines Stoffes als solchem oder in einem Gemisch oder Verwendung eines Gemisches, die ein Akteur der → Lieferkette beabsichtigt oder die ihm von einem professionellen Verwender mitgeteilt wird.

### *Zubereitung*

→ Gemisch

### *Impressum*

**Herausgeber:** IG Bergbau, Chemie, Energie,  
Hauptvorstand

**Verantwortlich:** Ulrich Freese

**Text und Redaktion:** Dr. Henning Wriedt/Stefan Weis

**Layout:** BWH GmbH

Hannover, Februar 2011