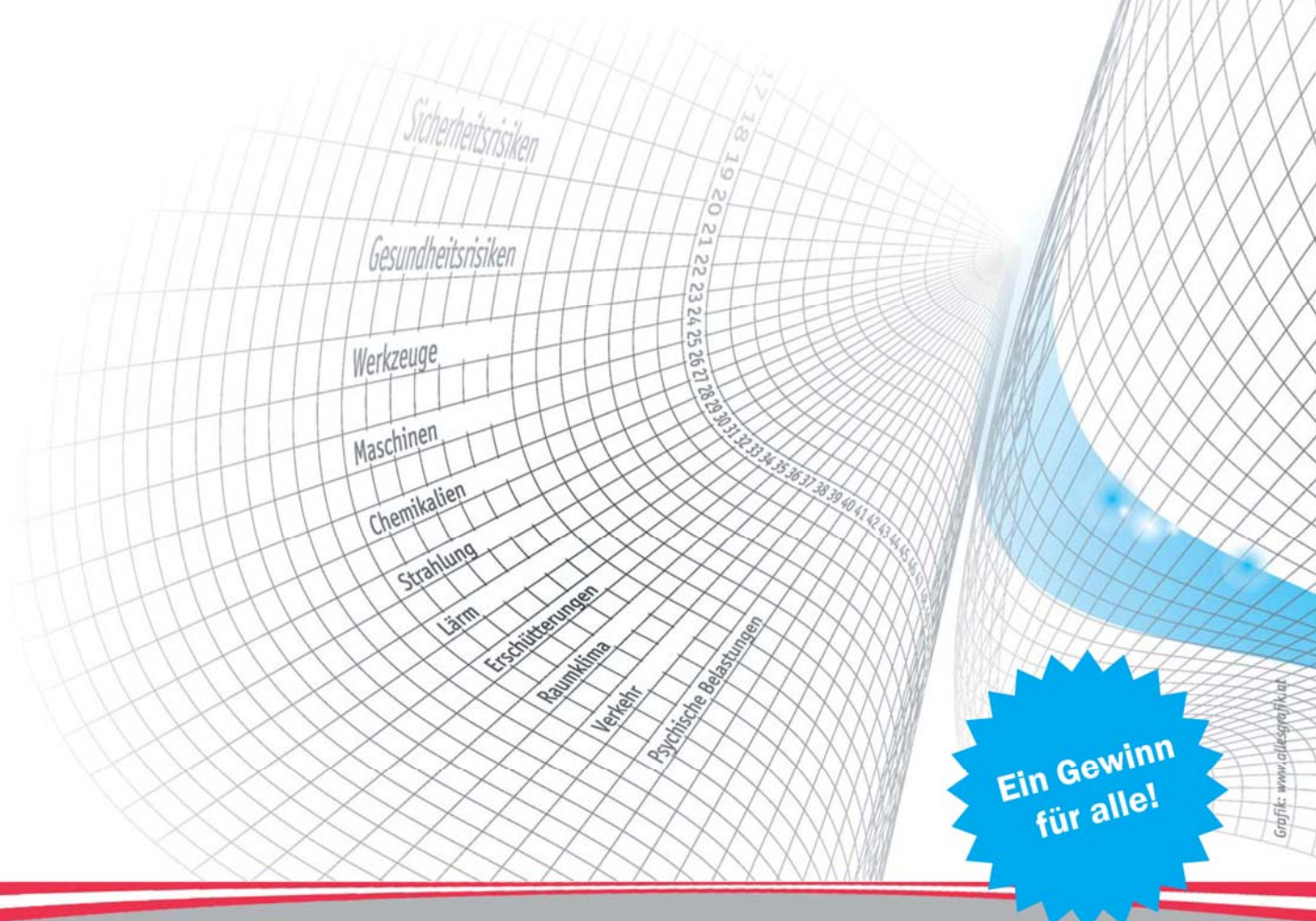


LEITFADEN

FÜR DAS RISIKOMANAGEMENT BEIM UMGANG MIT NANOMATERIALIEN AM ARBEITSPLATZ

GESUND UND SICHER ARBEITEN - ES ZAHLT SICH AUS



Ein Gewinn für alle!

LEITFADEN

im Auftrag des Bundesministeriums für Arbeit, Soziales und Konsumentenschutz

IMPRESSUM

Herausgeber

Bundesministerium für Arbeit,
Soziales und Konsumentenschutz,
Zentral-Arbeitsinspektorat,
1040 Wien, Favoritenstraße 7

Für den Inhalt verantwortlich

Bundesministerium für Arbeit,
Soziales und Konsumentenschutz,
Zentral-Arbeitsinspektorat
1040 Wien, Favoritenstraße 7

Erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Wien, Dezember 2010

Leitfaden
für das Risikomanagement
beim Umgang mit
Nanomaterialien am
Arbeitsplatz

Günther Kittel

PPM forschung + beratung

Linz, November 2010

Inhalt

Einleitung

Leitfaden

1. Sammlung von Informationen zum Nanomaterial
 - 1.1. Erstellung einer Nano-Stoffliste
 - 1.2. Sammlung von Stoff-Informationen
 - 1.3. Check auf Nano-Relevanz
2. Sammlung von Informationen zur Nano-Arbeit
 - 2.1. Charakterisierung der potenziellen Exposition
 - 2.2. Expositionsmessungen
3. Risiko-Abschätzung
 - 3.1. Erste Einschätzung
 - 3.2. Control Banding
 - 3.3. Einteilung in Stoff-Kategorien
4. Festlegung von Schutzmaßnahmen
 - 4.1. Substitution
 - 4.2. Technische Maßnahmen
 - 4.3. Organisatorische Maßnahmen
 - 4.4. Persönliche Schutzausrüstung
5. Weitere Aspekte des Risikomanagements
 - 5.1. Lagerung von Nanomaterialien
 - 5.2. Hygiene, Reinigung, Instandhaltung und Abfallsammlung für Nanomaterialien
 - 5.3. Unbeabsichtigte Freisetzung bzw. Störfälle mit Nanomaterialien
 - 5.4. Arbeitsmedizinische Überwachung
 - 5.5. Information, Unterweisung und Einschulung für Nano-Arbeiten
6. Prüfung der Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen
7. Dokumentation der Gefährdungsbeurteilung

Themenblätter

- A: Definition und Charakterisierung von Nanomaterialien
- B: Nanomaterialien & Vorsorgeprinzip
- C: Information über Nanomaterialien in der Lieferkette
- D: Messung von Nanomaterialien und Prüfung von Schutzmaßnahmen
- E: Risikoabschätzung für Nanomaterialien
- F: Schutzmaßnahmen für die Arbeit mit Nanomaterialien
- G: Lagerung von Nanomaterialien
- H: Hygiene, Reinigung, Instandhaltung und Abfallsammlung für Nanomaterialien
- J: Unbeabsichtigte Freisetzung bzw. Störfälle mit Nanomaterialien
- K: Arbeitsmedizinische Überwachung bei Nanomaterialien
- L: Information, Unterweisung und Einschulung für Nano-Arbeiten
- M: Nano-Dokumentation
- N: Arbeitsschutz in Labors
- O: Control Banding & Nanomaterialien
- P: Vorsorgeraster

Glossar

Literatur

Einleitung

Für österreichische Unternehmen, die Nanotechnologien und Nanomaterialien in der Produktion einsetzen, stellt sich die Frage eines angemessenen Risikomanagements. Risikomanagement von Arbeitsprozessen mit Nanomaterialien heißt vor allem, Nano-Expositionsszenarien zu managen, also diese Szenarien zu kennen und wirksame Schutzmaßnahmen umzusetzen, um die Expositionen einzuschränken. Es zeigen sich jedoch grundsätzliche Probleme und große Datenlücken, sowohl die stofflichen Eigenschaften als auch Expositionen betreffend.

In dieser Situation kann ein praxisnaher und allgemein verständlicher Leitfaden insbesondere kleineren Unternehmen Hilfestellung im betrieblichen Alltag bieten. Die Ausarbeitung eines Leitfadens für das Nano-Risikomanagement besitzt daher hohe Priorität.

Überdies unterstützt dies auch die Beratung von Nano-Unternehmen durch das Arbeitsinspektorat und trägt zur Umsetzung des Österreichischen Nano-Aktionsplans sowie der Europäischen Arbeitsschutzstrategie bei.

Der Leitfaden orientiert sich an herkömmlichen Vorgangsweisen für die Gefährdungsbeurteilung von chemischen Arbeitsstoffen und berücksichtigt die derzeit (noch) vorhandenen Wissensdefizite. Er hat sich daher am Vorsorgeprinzip und einem präventiven Ansatz zu orientieren, um eine sichere und gesunde Nano-Arbeit zu ermöglichen.

In methodischer Hinsicht erfolgte die Erarbeitung mittels Analyse von Literatur und Internetquellen, Erfahrungen aus der Praxis, sowie im Austausch mit europäischen Einrichtungen und Personen, die sich mit Sicherheit und Gesundheit in Bezug auf Nano befassen.

In einem äußerst dynamischen Forschungs- und Entwicklungsfeld wie es die Nanotechnologien darstellen ist auch ein Leitfaden für das Nano-Risikomanagement als "work in progress" anzusehen, als ein erster Vorschlag mit vorläufigem Charakter. Er ist einerseits an Veränderungen im Wissensstand und in den Rahmenbedingungen laufend anzupassen, sollte andererseits mit der Praxis abgeglichen werden. Letzteres bedeutet Erfahrungen mit der Umsetzbarkeit einfließen zu lassen, z. B. durch Diskussion mit ArbeitsinspektorInnen.

Der eigentliche Leitfaden beschreibt in Art einer Handlungsanleitung die Vorgangsweise bei Nano-Gefährdungsbeurteilung und Nano-Risikomanagement von Nanomaterialien im betrieblichen Kontext. Er wendet sich vor allem an kleine und mittlere Unternehmen, die Nanomaterialien als Arbeitsstoffe in der Produktion verwenden.

Beispielhaft wird aber auch auf Forschungs- und Entwicklungsarbeit in Laboratorien eingegangen. Nicht näher behandelt werden dagegen ökologische bzw. Umweltaspekte oder die Frage der Entsorgung.

Die einzelnen Handlungsschritte sind jeweils auf der linken Spalte der A4-Seite (Querformat) beschrieben. Sie reichen von der Sammlung von Informationen zum Nanomaterial und zur Expositionssituation über die Risiko-Abschätzung von Nanomaterialien bis zur Festlegung von Schutzmaßnahmen, die Prüfung ihrer Wirksamkeit und die Dokumentation der Gefährdungsbeurteilung. Auch Lagerung, Reinigung, Information und viele Themen werden behandelt.

Die Details zu den Handlungsschritten sind meist in Form von Auflistungen angeführt, teilweise sind Entscheidungsbäume eingebaut. Manche Schritte sind auch als optionales Vorgehen möglich, wie z. B. der Check auf Nano-Relevanz.

Nähere Informationen zur Umsetzung finden sich auf der rechten Seite in knappen Textkästen und mittels der Verweise auf passende Themenblätter (siehe unten), andere Quellen sowie Querverweise.

Neben Glossar und Literaturhinweisen liefern 15 Themenblätter (siehe Inhaltsverzeichnis) eine überblicksmäßige Darstellung des derzeitigen Wissensstandes zu verschiedenen Aspekten und erlauben eine ausführlichere Behandlung und nähere Hinweise, um den Leitfaden in der Praxis umzusetzen. Soweit möglich enthalten sie auch Beispiele Guter Praxis.

Die Themenblätter bilden den derzeitigen Status quo verschiedener Aspekte des Nano-Risikomanagements bzw. der Nano-Gefährdungsbeurteilung ab und sind daher kontinuierlich auf aktuelle Entwicklungen und Erkenntnisse zu überprüfen.

Stand der Themenblätter ist Ende August 2010.

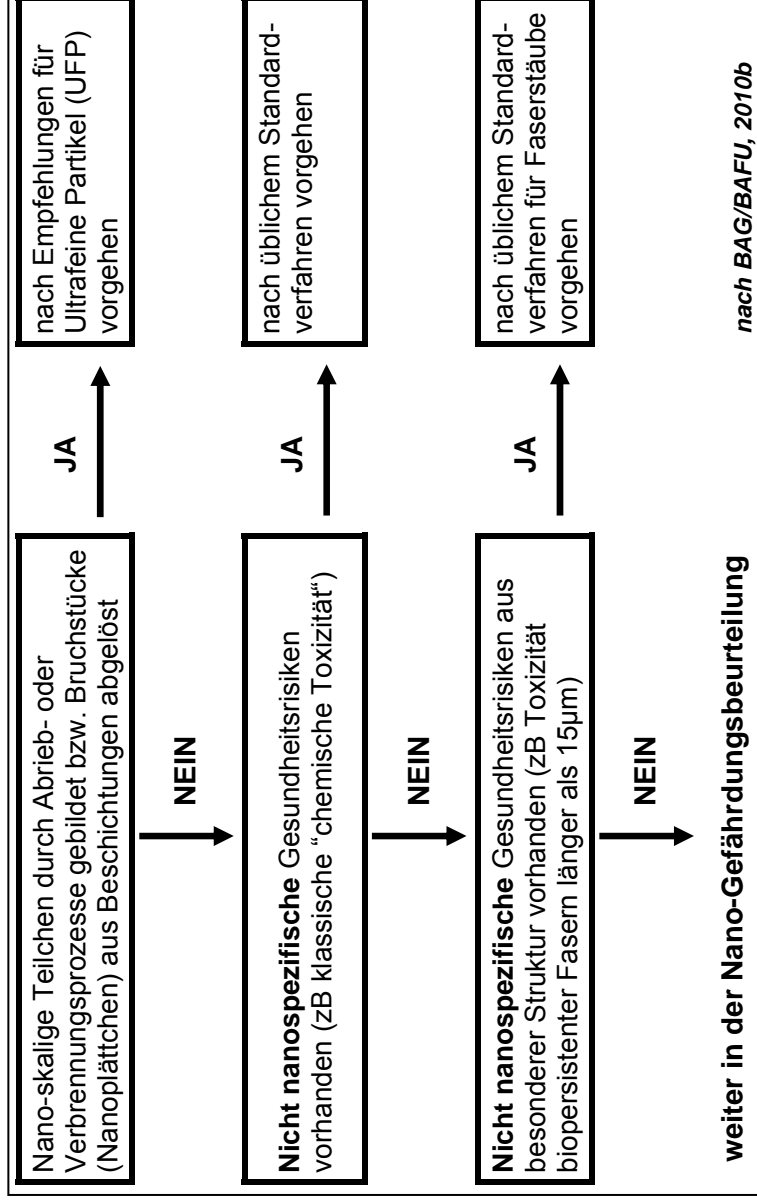
Dieser Leitfaden wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Arbeit, Soziales und Konsumentenschutz, Sektion Arbeitsrecht und Zentral-Arbeitsinspektorat, Abteilung Arbeitsmedizin und Arbeitshygiene, erstellt.

1. SAMMLUNG VON INFORMATIONEN ZUM NANOMATERIAL

Zu Beginn der Gefährdungsbeurteilung steht die **Auflistung der Nanomaterialien**:

- In diese Stoff-Liste werden alle zu prüfenden Materialien, Anwendungen und Produkte aufgenommen, auch wenn es vorerst noch unsicher ist, ob Nanomaterialien tatsächlich beteiligt sind (Beachten des Vorsorgeprinzips).
- Der Leitfaden zielt auf synthetische Nanomaterialien. Deshalb werden im Unterschied zum üblichen Vorgehen nicht-nano-spezifische Risiken in Zusammenhang mit der Struktur und der chemischen Zusammensetzung unbeabsichtigt entstehender Teilchen (Fein-/Feinststaubproblematik) nicht in die Liste aufgenommen. → **KASTEN rechts**

Dazu kann optional der folgende **Entscheidungsbaum** verwendet werden:



GLOSSAR

- Im Anhang erläutert ein **GLOSSAR** benutzte Begriffe!

DEFINITION VON NANOMATERIALIEN

Eine einheitliche und allgemein akzeptierte Definition fehlt noch. Nanomaterialien sind gezielt / beabsichtigt hergestellt („synthetisch“) und in mindestens einer Dimension zwischen 1 nm und 100 nm groß, wobei die Größenverteilung und die Bildung von Agglomeraten / Aggregaten zu berücksichtigen sind. Neben der „Größe“ zählen auch die „spezifische Oberfläche“ und die „Form / Gestalt“ zu den geometrischen Merkmalen.

Die physikalisch-chemischen Eigenschaften dürften sich nicht für eine generelle Definition eignen. Die meisten von ihnen sind jedoch für die Gefahrenermittlung und damit für die Gefährdungsbeurteilung relevant!

- **GLOSSAR** bezüglich der Beschreibung verschiedener Nanomaterialien usw.!
- **THEMENBLATT: A**

ULTRAFEINE PARTIKEL (UFP)

Das Deutsche Institut für Arbeitsschutz (IFA) gibt eine Übersicht über den Stand der Diskussion, messtechnische Empfehlungen und Schutzmaßnahmen zu Ultrafeinstäuben und Nanopartikeln.

- IFA www.dguv.de/ifa/de/fac/nanopartikel/index.jsp
- ÖSBS, Österreichische Staubbekämpfungsstelle www.oesbs.at bezüglich Messungen!

1.1. ERSTELLUNG EINER NANO-STOFFLISTE

Jede Stoffliste sollte leicht veränderbar sein. Dies gilt speziell für Nanomaterialien, weil etwa zu einem späteren Zeitpunkt die Spalten um ein Set von Minimaldaten ergänzt werden, die für einen Check auf Nano-Relevanz oder eine vereinfachte Vorgangsweise zur Risikoabschätzung erforderlich sind (➔ 1.3 und 3). Die Nano-Stoffliste kann arbeitsplatz- oder arbeitsbereichsbezogen (z. B. Lagerung) angelegt werden. ➔ **KASTEN rechts**

Folgende Informationen sind zusammenzustellen und zu dokumentieren bzw. soweit möglich / sinnvoll, in dieses Verzeichnis für den jeweiligen Nano-Arbeitsstoff aufzunehmen.

- ➔ **Für die Bulkform** (Grobform) des Materials die üblichen stoffbezogenen Angaben (Hersteller-/Lieferantendaten, Handels- und technische Namen, Gefahrenhinweise, Sicherheitshinweise, etwaige Grenzwerte usw.);
- ➔ **Für die Nano-Form** stoffbezogene Angaben wie wichtige physikalisch-chemische Daten und toxikologische Hinweise (➔ 1.2), soweit vorhanden.
- ➔ **Für die Nanoarbeit** wesentliche prozess- und tätigkeitsbezogene Angaben (➔ 2).

Gesundheitsgefährdende und chemisch-physikalische Eigenschaften sollen zusammen mit der Sammlung von Informationen zur Arbeitssituation eine Gefahrenermittlung bzw. Gefährdungsbeurteilung ermöglichen. Dafür ist das **Vorsorgeprinzip** leitend! ➔ **KASTEN rechts**

Die **stoffbezogenen Informationen** werden auf drei Ebenen gesammelt und in die Stoffliste eingetragen bzw. dokumentiert:

- ➔ Allgemeine Produktinformationen;
- ➔ Physikalisch-chemische Charakterisierung;
- ➔ Toxikologische Charakterisierung.

Primäre Informationsquellen sind dafür:

- ➔ Angaben auf dem Etikett;
- ➔ Sicherheitsdatenblätter;
- ➔ Technische Merkblätter;
- ➔ Sonstige Informationen und Mitteilungen des Lieferanten / Herstellers;

ANLEGEN VON STOFF-LISTEN

Eine einfach anpassbare Liste kann z. B. in Word- oder Excel-Format erstellt werden.

Für Anregungen zur Gestaltung der Auflistung kann das Evaluierungsheft E4 der AUYA herangezogen werden. Eine andere Möglichkeit ist eine Websuche nach den Begriffen „*gefährstoffverzeichnis muster*“.

Eine Unterteilung der Liste in Angaben für die makroskopische und die Nano-Form des Materials erhöht eventuell die Übersichtlichkeit und praktische Verwendbarkeit.

VORSORGEPRINZIP

Viele Einrichtungen und Behörden fordern ein Vorsorgeprinzip für den Nanobereich. Es zielt darauf, potenzielle Schäden von vornherein zu vermeiden, auch wenn deren Art, Ausmaß oder Eintrittswahrscheinlichkeit ungewiss sind.

Nach dem derzeitigen Wissenstand sind ernsthafte Gesundheitsschäden durch bestimmte Nanomaterialien nicht auszuschließen. Daher sollten diese wie gesundheitsgefährdende Stoffe behandelt werden: Expositionen sind zu vermeiden bzw. zur Minimierung möglichst weitreichende Schutzmaßnahmen zu ergreifen, bis über ihr Risikopotenzial gesicherte Erkenntnisse vorliegen.

➔ **THEMENBLATT: B**

1.2. SAMMLUNG VON STOFFINFORMATIONEN

Lieferanteninfos zu Nanomaterialien sind oft ungenügend. Oft ist nicht einmal angegeben, ob Nanomaterial überhaupt vorhanden ist, und wenn ja, in welchem Prozentsatz. Zudem gibt es große Wissensmängel über die gesundheitsschädigenden Eigenschaften von Nanomaterialien, vor allem bezüglich wiederholter oder dauernder Belastung bei inhalativer Aufnahme.

Selbst wenn entsprechende Angaben im Sicherheitsdatenblatt enthalten sind, ist oft nicht klar, wie sie erhalten wurden – aus Untersuchungen am konkreten Nanomaterial oder an vergleichbaren, aber nicht identischen Materialien: In letzterem Fall kann dies die chemisch gleiche Bulkform (Grobform) sein, oder z. B. ein chemisch gleiches Nanomaterial, das jedoch nicht oder mit anderen Verbindungen beschichtet war. Solche Unklarheiten müssen im Kontakt mit dem Hersteller / Lieferanten beseitigt werden.

Große Datenlücken bzw. Zweifel an den Angaben machen meist Recherchen in weiteren Quellen erforderlich, z. B.:

- Veröffentlichungen von Behörden, Interessenvertretungen etc.;
- Reviews, Artikel und Daten aus der Literatur;
- Arbeitsplatzdokumentationen.

Für Klein- und Mittelbetriebe ist es jedoch sehr schwierig und aufwändig, selbständig Daten zu Nanomaterialien recherchieren. Es ist daher anzuraten, **ausreichende Informationen innerhalb der Lieferkette einzufordern:** → **KASTEN rechts**

- Gibt es kein Sicherheitsdatenblatt, empfiehlt es sich, die Lieferanten / Hersteller zu ersuchen eines zu liefern, auch wenn sie dazu nicht verpflichtet sind.
- Im Sicherheitsdatenblatt und in den sonstigen Produktmitteilungen ist zu prüfen, ob die Nano-Skaligkeit ausreichend berücksichtigt ist, um ein ausreichendes Risikomanagement und ein sicheres Arbeiten zu ermöglichen.
- Sind die entsprechenden Auskünfte nicht befriedigend, sollten die notwendigen Informationen von den Lieferanten / Herstellern eingefordert werden! Jeder Hinweis spart Zeit und Probleme.

INFORMATION IN DER LIEFERKETTE

Sicherheitsdatenblätter sind zentrale Kommunikationselemente innerhalb der Lieferkette und könnten die Beurteilung des Gefährdungspotenzials von Nanomaterialien sowie die Auswahl notwendiger Schutzmaßnahmen wesentlich erleichtern. In der Regel erfüllen sie derzeit jedoch diese Aufgabe nicht.

Die künftigen erweiterten Sicherheitsdatenblätter (eSDB) im Rahmen der REACH-Verordnung sollten in einem Anhang wesentlich umfassendere Hilfestellung bieten (Expositionsszenarien, Risikomanagementmaßnahmen). Sie sind jedoch nur für als „gefährlich“ eingestufte Stoffe und Gemische verpflichtend. Unabhängig von Mengenschwellen können daher viele Nanomaterialien davon nicht betroffen sein, z. B. solche, die biobeständig sind, aber weder besondere toxische Eigenschaften noch faserförmige Strukturen aufweisen.

Vertreter der Deutschen Chemischen Industrie haben andererseits versichert, freiwillig ein Sicherheitsdatenblatt auch für Stoffe zu liefern, für die es nicht vorgeschrieben ist. Expositionsszenarien etc. sind darin allerdings nicht enthalten.

→ **THEMENBLATT: C**

GESUNDHEITSGEFÄHRDENDE EIGENSCHAFTEN

Toxikologische Daten für die Bulkform (Grobform) und die Nanoform des Arbeitsstoffes sind zu sammeln und zu analysieren, um abschätzen zu können, ob sie in einer bestimmten Anwendung eine potenzielle Gesundheitsgefahr darstellen. Bei der Bulkform beinhaltet dies auch etwaige Grenzwerte, auch wenn diese auf die Nano-Form nicht unmittelbar übertragbar sind. Wenn möglich, sollte ein Vergleich zwischen beiden Formen angestellt werden.

- Bei neuen Daten oder Hinweisen auf mögliche gesundheitliche Auswirkungen ist eine Aktualisierung notwendig.
- Datenlücken müssen dabei entsprechend beim Festlegen der Schutzmaßnahmen berücksichtigt werden (Vorsorgeprinzip).
- Für vereinfachende Vorgangsweisen der Gefahrenermittlung → 3 !

PHYSIKALISCH-CHEMISCHE EIGENSCHAFTEN

Neben der chemischen Zusammensetzung und bei manchen Nanomaterialien der Form / Gestalt, liefern bestimmte physikalisch-chemische Eigenschaften besonders wichtige Basisinformationen, um die potenzielle Schadensschwere ermitteln zu können. Dazu gehören:

- Größe und Größenverteilung;
- Spezifische Oberfläche;
- Stabilität in wichtigen Medien (inkl. Fähigkeit zu aggregieren und zu zerfallen);
- Adsorptionsverhalten der Oberfläche;
- Löslichkeit in Wasser;
- Chemische Reaktivität.

Für brennbare Materialien und Ultrafeinstäube sind auch die Brand- und Explosions-eigenschaften zu berücksichtigen.

Übrigens sollten auch Informationen über Substitutionsmöglichkeiten gesammelt werden, einschließlich Verfahren oder Zubereitungen des Nanomaterials, die zu einer geringeren Gefährdung führen.

CHARAKTERISIERUNG VON NANOMATERIALIEN

Parameter wie Größe und Größenverteilung, spezifische Oberfläche oder solche der Oberflächenchemie bzw.

-aktivität dürften wichtiger sein als Masse-/Volums-konzentrationen oder Eigenschaften des Bulkmaterials (der makroskopischen Form).

Je nach Nanomaterial können auch noch weitere Einfluß-größen bedeutend sein, z. B. Photoaktivierung oder das Potenzial, aktiven Sauerstoff zu erzeugen.

Eine sehr wichtige Einflussgröße ist das Freisetzungs-vermögen eines Nanomaterials, seine Fähigkeit in die Luft zu gelangen und somit eine Gefährdung für die ArbeitnehmerInnen darzustellen.

Bei festen Stoffen steht dabei die „Staubigkeit“ bzw. die Partikelgröße und deren Bindung im Vordergrund, bei Flüssigkeiten aber Anwendungstemperatur, Dampfdruck und Siedepunkt („Nebelbildung“). → 2.1

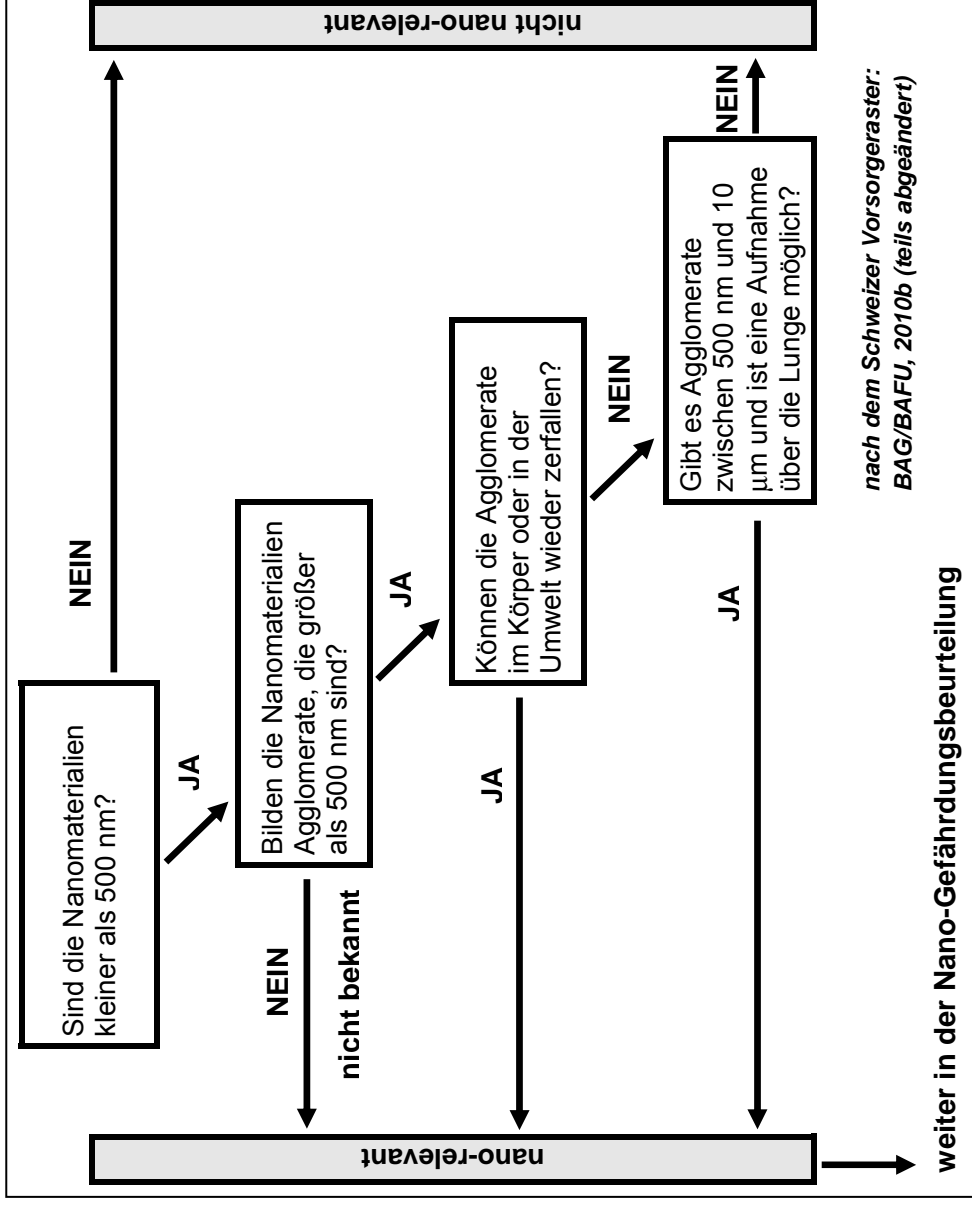
Nach derzeitigem Stand des Wissens sind für Nano-materialien Analogieschlüsse bzw. die Gruppierung in spezifische Risikokategorien noch nicht möglich. Daher müsste jedes Nanomaterial in Bezug auf sein Gefahren-potenzial im Einzelfall untersucht werden, was bei der enormen Vielfältigkeit und Anzahl jedoch schwierig und aufwändig ist.

→ THEMENBLATT: A

1.3. CHECK AUF NANO-RELEVANZ

Ein Ausschluss von bestimmten Nanomaterialien aus der weiteren Betrachtung kann erfolgen, wenn ihr Agglomerationsverhalten bekannt ist.

Der folgende **Entscheidungsbaum** folgt dabei dem Vorsorgeprinzip: → **KASTEN rechts**



NANO-RELEVANZ

Im Rahmen des Schweizer Vorsorgeasters beruht sie auf folgenden Überlegungen BAG/BAFU, 2010b):

- In einem bestimmten Größenbereich besitzt der nano-skaliige Charakter einen dominanten physikalischen und chemischen Einfluss auf die Eigenschaften und damit im Weiteren auf biologische Wechselwirkungen.
- Von einer bestimmten Größe an aufwärts können die Nanoteilchen in Lebewesen wie Bulk-Materialien (makroskopische, Grobform) behandelt werden, d.h. es gibt keine nanospezifischen Effekte.
- Zwischen diesen Bereichen gibt es eine, bei der derzeitigen Datenlage noch nicht genau abgrenzbare "Grauzone", die zur Bestimmung der Nanorelevanz zu berücksichtigen ist.

Es wird im Sinne eines Vorsorgeprinzips vorgeschlagen, dazu Nanopartikel und Nanostäbchen bis 500nm einzubeziehen. Als Maß für die Größe der Primärpartikel wird das Maximum der Größenverteilung verwendet, weil

- die Größenverteilungen bis in den niedrigen Nanometer-Bereich gehen können;
- bis etwa knapp 300 nm nanospezifische Wechselwirkungen stattfinden können.

Liegen die Primärpartikel in aggregierter oder agglomerierter Form über 500 nm vor, so ist entscheidend, ob diese z. B. im Körper in Primärpartikel oder kleinere Agglomerate (unter 500 nm) zerfallen können.

→ **THEMENBLATT: A, P**

2. SAMMLUNG VON INFORMATIONEN ZUR NANO-ARBEIT

2.1. CHARAKTERISIERUNG DER POTENZIELLEN EXPOSITION

Eine Charakterisierung des Expositionspotenzials erfordert die Analyse von Arbeitsplätzen, Arbeitsprozessen und Tätigkeiten, um technische, organisatorische und personenbezogene Verhältnisse zu erfassen. Informationen über die Situation auf den Arbeitsplätzen, potenzielle Expositionsquellen und Einflussfaktoren für Exposition sind zu ermitteln.

Zu recherchieren sind im Betrieb zu Nanotechnologien und Arbeiten mit Nanomaterialien:

- Entwicklungsstadium des Nanomaterials;
- Prozess-Informationen, inkl. Prozessbedingungen und eingesetzte Techniken;
- Informationen über Methoden für Lagerung, Transport, Entsorgung usw.;
- Routine- / Nicht-Routine-Tätigkeiten mit potenzieller Nano-Exposition der Beschäftigten und anderen potenziellen Nano-Gefahren;
- Vorhandene Schutzmaßnahmen zur Verminderung des Nano-Expositionspotenzials, inkl. Informationen über ihre Wirksamkeit;
- Personenbezogene Bedingungen.

Jeweils in Verbindung mit dem Ort der Verwendung und der Art der Routine- bzw. Nicht-Routine-Tätigkeit sind **folgende detaillierte Informationen wichtig**: → **KASTEN rechts**

- Verbrauch / Zeiteinheit: geschätzte Menge an Nanomaterialien, die in den verschiedenen Prozessstufen gelagert oder verwendet wird bzw. anfällt;
- Verwendungsart und (physikalisch-chemische) Verwendungsform der Nanomaterialien in den verschiedenen Prozessstufen (Rohmaterialien, Zwischenprodukte, Endprodukte);
- Anzahl von ArbeitnehmerInnen mit vergleichbarer potenzieller Nano-Exposition bei den verschiedenen Routine- / Nicht-Routine-Tätigkeiten;
- Dauer und Häufigkeit der verschiedenen Routine- und Nicht-Routine-Tätigkeiten;
- Höhe der potenziellen Nano-Exposition bei den verschiedenen Routine- und Nicht-Routine-Tätigkeiten.

ERHEBUNG DER ARBEITSSITUATION:

In die Beschreibung und Beobachtung der Arbeitsplätze müssen MitarbeiterInnen und Vorgesetzte einbezogen werden.

- Das Entwicklungsstadium des Nanomaterials kann z. B. Forschung und Entwicklung, Pilotmaßstab oder industriell/gewerblicher Maßstab sein.
- Sowohl Routine-, als auch Nicht-Routine-Tätigkeiten sind zu erfassen, z. B. Instandhaltung, Reinigung, Probenahme, Lagerung oder Transport.
- Es sind dabei vor allem solche Arbeitsschritte zu ermitteln, die zu einer inhalativen und dermalen Aufnahme führen können bzw. mit Brand- und Explosionsgefahren verbunden sind.
- Personenbezogene Bedingungen sind Qualifikation, Informationsstand der Beschäftigten usw.
- Bei der Erfassung potenziell exponierter Beschäftigter dürfen in der Nähe tätige KollegInnen, Vorgesetzte, Kontraktoren usw. nicht vergessen werden.
- Frequenz und Dauer der potenziellen Nano-Exposition können z. B. nach „dauernd / kurzfristig“, „ganze, halbe etc. Schicht“, „täglich / wöchentlich / monatlich“ bestimmt werden.
- Die Höhe der potenziellen Nano-Exposition kann aus den Schutzmaßnahmen abgeschätzt werden (z. B. geschlossenes System oder nicht; ausreichende Persönliche Schutzausrüstung bei kurzfristiger Tätigkeit verwendet oder nicht), benötigt aber eventuell Messungen (→ 2.2).

2.2. EXPOSITIONSMESSUNGEN

Expositionsmessungen können sinnvoll eingesetzt werden, um Emissionsquellen festzustellen, eine grobe Quantifizierung der Exposition vorzunehmen oder die Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen zu beurteilen.

Mit verschiedenen **Verfahren** können beispielsweise gemessen werden:

- Massenkonzentration;
- Konzentration der Partikelanzahl;
- Größenverteilung der Nanopartikel;
- Chemische Zusammensetzung der gemessenen Teilchen.

Der Durchführung von Messungen von Nanopartikeln steht jedoch eine Reihe von **Schwierigkeiten** gegenüber, z. B.: → **KASTEN rechts**

- Generelle Probleme wie die Wahl der Maßangaben;
- Fehlende Standardisierung dieser Verfahren;
- Als Routine-Messungen zu großer Aufwand vor allem für Klein- und Mittelbetriebe, insbesondere bei der Messung der chemischen Zusammensetzung

Vor der Messung muss die Exposition charakterisiert werden, wie dies zum Teil bereits im vorhergehenden Abschnitt beschrieben wurde (→ 2.1). Zu ermitteln sind insbesondere:

- Potenzielle Expositionsquellen;
- Einflussfaktoren für die Exposition;
- Einflussfaktoren für die Expositionsmessungen;
- Messparameter zur Expositionsprüfung.

Außerdem werden alle gegebenenfalls bereits im Betrieb vorhandenen relevanten Messdaten gesammelt.

MESSEN

Die Aussagekraft der Massenkonzentration (in mg/m³) als Konzentrationsangabe für Nanomaterialien ist zweifelhaft, die alternative Beschreibung von Teilchenzahlkonzentration oder Oberflächenkonzentration wird diskutiert.

Die verschiedenen Messverfahren sind noch nicht standardisiert. Es ist zumindest die benutzte Methodik anzuführen, um Messergebnisse überhaupt miteinander vergleichen zu können.

Nur bei Bestimmung der chemischen Zusammensetzung der gemessenen Teilchen durch zusätzliche, sehr aufwändige Messungen mit Elektronenmikroskopie und Röntgen-Fluoreszenz-Analyse oder Elektronenstreuung kann zwischen den relevanten Nanopartikeln und ultrafeinen Staubpartikeln aus der Hintergrundbelastung (z. B. durch Schweißrauche oder Dieselmotoremissionen) unterschieden werden.

Verwertbare Messungen an den Arbeitsplätzen sind möglich, wenn sie mit demselben Verfahren bzw. demselben Gerätetyp durchgeführt werden.

→ **THEMENBLATT: D**

3. RISIKOABSCHÄTZUNG

Aus der Kenntnis der Eigenschaften der Arbeitsstoffe lässt sich die mögliche Schadensschwere bestimmen, aus der Situation auf den Arbeitsplätzen die Eintrittswahrscheinlichkeit abschätzen. Für Nanomaterialien ist dies nicht einfach möglich.

- Beim jetzigen Stand des Wissens können in der Regel keine Analogieschlüsse von einem zum andern Nanomaterial aufgrund von Stoffparametern gezogen werden. Eine solche Kategorisierung ist evidenzbasiert nicht möglich, ein case-by-case-Ansatz wird daher ausdrücklich empfohlen.
- Andererseits übersteigt aber ein Vorgehen nach Einzelfällen die vorhandenen Ressourcen in den Unternehmen. Und große Unsicherheiten bzw. Datenlücken in Bezug auf Toxizität von Nanopartikeln sowie das fast völlige Fehlen von Expositionsdaten machen eine umfassende quantitative Risikoabschätzung derzeit fast unmöglich und sie ist nur in wenigen Fällen wie Titandioxid durchführbar.

Empfehlungen für die Praxis der Gefährdungsbeurteilung:

- Anwenderbetriebe sollten bei einer für eine Risikobeurteilung unzureichenden Datenlage z. B. in den Sicherheitsdatenblättern zuerst einmal **bei den Herstellern / Lieferanten nachfragen** und sich bestätigen lassen, dass ein Nanomaterial nicht gefährlich ist bzw. unter bestimmten Bedingungen sicher bearbeitet werden kann. Wenn auch der Hersteller keine näheren Angaben über das Gefährdungspotenzial machen kann, muss ein maximales Schutzniveau angestrebt werden.
- Solange die Kenntnisse über Nanomaterialien gering sind, empfiehlt sich trotz aller Bedenken ein **pragmatisches Vorgehen mittels qualitativer Methoden der Risikoabschätzung**, die auf Gruppierungen beruhen. Allerdings sollte aufgrund der fehlenden wissenschaftlichen Basis ein Sicherheitsspielraum berücksichtigt werden, der von einem höheren potenziellen Risiko ausgeht.

RISIKOABSCHÄTZUNG

Mit Ausnahme löslicher Nanomaterialien ohne gesundheitsschädigende Wirkungen, ist bei Arbeiten mit Nanomaterialien mindestens ein Schutzniveau wie für biobeständige Ultrafeinstäube notwendig. Es wird empfohlen, Belastungen von 0,1 mg/m³ nicht zu überschreiten.

Es gibt viele Hinweise, Empfehlungen und Leitfäden, wie eine Risikoabschätzung für Nanomaterialien durchzuführen ist, z. B. welche physikalisch-chemischen und toxikologischen Eigenschaften sowie weitere Parameter dafür relevant sind.

Ihre Präzisierung, Verbindlichkeit und Zielsetzung ist unterschiedlich, die meisten sind sehr allgemein gehalten und nicht unmittelbar praktisch. Bisherige Veröffentlichungen sind vor allem auf die Vermeidung einer inhalativen Exposition ausgerichtet.

Im Themenblatt E sind zu Beginn Hinweise auf Nanomaterialien und Tätigkeiten aufgelistet, die im Produktionsprozess ein nano-spezifisches Gefährdungspotenzial besitzen.

Dieser Leitfaden ist auf Produktion fokussiert, ein Beispiel für das Vorgehen in Laboratorien wird jedoch in Themenblatt N beschrieben.

→ **THEMENBLATT: E, A**

3.1. ERSTE EINSCHÄTZUNG

Es kann sinnvoll sein, zuerst einmal abzuschätzen, ob überhaupt ein nano-spezifischer Handlungsbedarf gegeben ist

Eine erste Einschätzung ist aus Stoff- und Expositionskarakteristika möglich, z. B. nach einem **Vorschlag von Schneider (2010)**, der jedoch auch die unbeabsichtigte Verwendung bzw. Freisetzung von Nanomaterialien einbezieht. → **THEMENBLATT E**

- 3 Partikelgruppen: je nach Löslichkeit, Staubungsverhalten, Abbaubarkeit, Mobilität, Reaktivität, Toxizität, mittlere Partikelgröße oder: Nachweisbarkeit von Gesundheitsschäden
- 3 Gruppen von Arbeitsbedingungen: Art der Verwendung / Freisetzung von Nanopartikeln, Vorhandensein von Expositionsdaten, Einschätzung der Gefahrenwahrnehmung der ArbeitnehmerInnen

Aus einer Matrix ergibt sich, ob der Handlungsbedarf groß, mittel oder niedrig ist.

Genau ausgearbeitet ist dagegen der **Schweizer Vorsorgeraster** (BAG/BAFU, 2010). Er soll für Klein- und Mittelbetriebe erste Hinweise auf das mögliche Auftreten nanospezifischer Risiken in Produktion und Anwendung liefern. Beispielhaft sind für Mensch bzw. Arbeit folgende Parameter ausschlaggebend:

- Informationsstand: Herkunft der Nanomaterialien, Datenbasis, nächste Verwender, Materialsystem und Störfaktoren wie Verunreinigungen;
- Wirkungspotenzial der Nanomaterialien: Redoxaktivität und/oder katalytische Aktivität, Stabilität (Halbwertszeit) im Körper;
- Potenzielle Exposition des Menschen: Physikalische Umgebung (gasförmig, Aerosole, flüssige Medien, Matrix), maximal mögliche Exposition (Menge und Häufigkeit).

Ein etwaiger vorsorgender nano-spezifischer Handlungsbedarf für die synthetischen Nanomaterialien wird nur in zwei Klassen angezeigt:

- Gering, auch ohne Vorliegen weiterer Abklärungen;
- gegeben, Prüfung bestehender Maßnahmen, weiterführende Abklärungen und ggfs. Risikominderungsmaßnahmen erforderlich).

SCHWEIZER VORSORGERASTER

Ein vorsorgender Handlungsbedarf wird für die Bereiche Arbeit, Konsum und Umwelt gezeigt. Es wird jeweils der Normalbetrieb und ein „Worst case“-Szenario berücksichtigt.

Unschärfen des System wie z. B. Verunreinigungen oder eine ungenau bestimmte Grössenverteilung der Nanomaterialien, sowie Unsicherheiten, die aus mangelnder Kenntnis der Vorgeschichte oder des weiteren Lebenswegs der Nanomaterialien resultieren, fließen ein.

Ein elektronisches Hilfsmittel in Form eines Excel-sheets wird zur Verfügung gestellt. Ohne Einschulung bzw. beim ersten Mal dürfte das Ausfüllen des Rasters aber relativ aufwändig sein.

Die Beschränkung auf die Bildung von nur zwei Gruppen scheint nicht ausreichend zu sein. Allerdings ergeben sich detaillierte Aussage zum genauen Vorsorgebedarf ohnehin aus der Analyse der einzelnen Parameter, z. B. sollten beim Auftreten von hohen Punktezahlen in bestimmten Aspekten und Bereichen dort nähere Ermittlungen angestellt und wenn nötig Maßnahmen getroffen werden.

→ **THEMENBLATT: P**

3.2. CONTROL BANDING

Qualitative Ansätze der Risikoabschätzung wie Control-Banding werden für Forschungs- und frühe Entwicklungsstadien empfohlen. In der späteren Entwicklung und in der Produktion ist dagegen eine umfassendere Risikoabschätzung notwendig.

Control-Banding erhält Maßnahmenstrategien mit einer vereinfachten Einschätzung des Gefährdungspotenzials aus stoffseitigen Gefahren und Expositionen. Beim **CB Nanotool** ergibt sich so die Risikoklasse sich aus einer Matrix von je vier Gefahrenbändern (Schadensschwere) und Expositionsbandern (Eintrittswahrscheinlichkeit).

Für jede der vier Risikoklassen werden **Maßnahmenbänder** ("control bands") vorgeschlagen:

- Risikoklasse 1: Generelle Lüftungsmaßnahmen;
- Risikoklasse 2: Abzüge oder Absaugung vor Ort;
- Risikoklasse 3: Einkapselung;
- Risikoklasse 4: Fachexpertise einholen.

Die **Schadensschwere** wird zu zwei Drittel von Risikofaktoren der Nano-Form, zu einem Drittel von Risikofaktoren der Bulk-Form des Materials bestimmt.

- Nano-Form: Oberflächenchemie (stark gewichtet); Reaktivität und Fähigkeit, freie Radikale zu erzeugen; Form; Durchmesser; Löslichkeit; Karzinogenität, Reproduktionstoxizität und Mutagenität; Dermale Toxizität; Asthmaverursachung.
- Bulk-Form: etwaiger Grenzwert als Maß der Toxizität; Karzinogenität, Reproduktionstoxizität und Mutagenität; Dermale Toxizität; Asthmaverursachung.

Die **Eintrittswahrscheinlichkeit** bezieht vorhandene Schutzmaßnahmen mit ein:

- Geschätzte Verwendungsmenge an Nanomaterialien bei der Tätigkeit; Staubigkeit / Aerosolbildung der Nanomaterialien (Freisetzungsvermögen, stark gewichtet); Anzahl der ArbeitnehmerInnen mit vergleichbarer Nano-Exposition; Häufigkeit und Dauer der Nano-Tätigkeiten.

Für die qualitative Risikoeinschätzung mittels des CB-Nanotools ist es erforderlich, die oben angeführten Stoff-Eigenschaften zu ermitteln sowie das Expositions potenzial zu charakterisieren: ➔ 1.2, 2.1

CONTROL BANDING

Control Banding ist nicht ohne Weiteres in der Praxis einsetzbar. Beispielsweise erfordert es eine Anpassung der Wertbereiche (sie entsprechen denen, die bei Forschungstätigkeiten zu erwarten sind) in Bezug auf die Situation im Produktionsbetrieb oder bei einer Veränderung des Wissensstandes über mögliche negative Wirkungen, und damit ExpertInnenwissen und -erfahrung.

(Paik et al., 2008; Zalk et al., 2009)

Verschiedene Aktivitäten laufen zur Anwendung von Control Banding auf Nanomaterialien, wie die folgenden Beispiele zeigen.

- Niederländischer Stoffenmanager, ein web-gestütztes Hilfsmittel zur Gefährdungsbeurteilung, soll in einer neuen Version auch ein CB-Nano-Modul enthalten. ➔ IFA www.stoffenmanager.nl
- Das internationale Normeninstitut, ISO, kritisierte das CB-Nanotool und schlug einen anderen konzeptuellen Control Banding-Ansatz für das Risikomanagement synthetischer Nanomaterialien vor (ISO, 2009a).

➔ THEMENBLATT: O

3.3. EINTEILUNG IN STOFFKATEGORIEN

Als erste grobe Näherung kann die folgende Einteilung der Nanomaterialien in vier Gruppen mit spezifischen Maßnahmenempfehlungen verwendet werden (nach Roller, 2010):

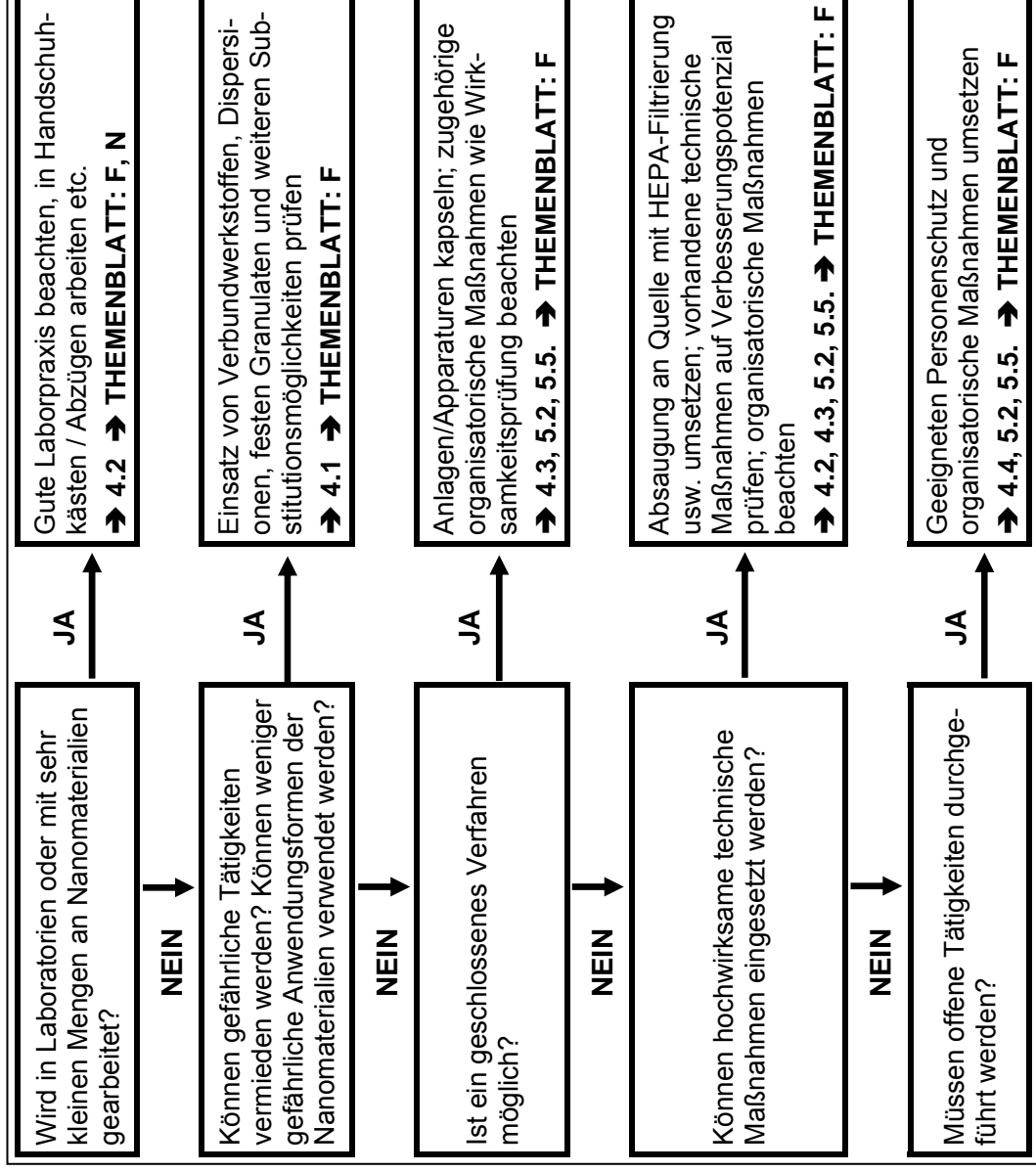
- **Lösliche Nanomaterialien ohne spezifische toxische Eigenschaften:** aus Stoff, der lt. Studien nicht gesundheitsschädigend ist, nicht als gesundheitsschädlich eingestuft ist
Schutzmaßnahmen: keine Gefährdung anzunehmen, dennoch Exposition vermeiden;
arbeitshygienische Mindestanforderungen erfüllen: → **KASTEN rechts**
- Lösliche Nanomaterialien mit spezifischen toxischen Eigenschaften:** aus einem oder mehreren Stoffen mit gesundheitsschädigenden Eigenschaften
Schutzmaßnahmen: an Maßnahmen für Bulk-Form der Stoffe ausrichten; für Luftführungssysteme und Filtermaterialien unterschiedliche Partikelgröße berücksichtigen
- **Biobeständige Nanomaterialien ohne spezifische toxische Eigenschaften und ohne faserförmige Strukturen:** aus Stoff, der sich in Untersuchungen nicht als gesundheitsschädigend erwiesen hat, nicht als gesundheitsschädlich eingestuft ist
Schutzmaßnahmen: analog ultrafeinen Partikeln; Minimierung der Belastung erforderlich
- **Nanomaterialien mit spezifischen toxischen Eigenschaften:** aus einem oder mehreren Stoffen mit gesundheitsschädigenden Eigenschaften → **KASTEN rechts**
Schutzmaßnahmen: an Maßnahmen für diese/n Stoff/e in Bulk-Form ausrichten; für Luftführungssysteme und Filtermaterialien unterschiedliche Partikelgröße berücksichtigen; deutlich geringere Belastung als für die Bulkform anzustreben
zusätzlich schwerlöslich: Bezüglich Schutzmaßnahmen überdies Hinweise zu "Biobeständige Nanomaterialien" beachten
- **Biobeständige faserförmige Nanomaterialien:** asbestähnliche Wirkungen nicht auszuschließen, wenn Abmessungen wie WHO-Faser → **KASTEN rechts**
Schutzmaßnahmen: analog Tätigkeiten mit Asbest, außer Hersteller / Lieferant weist für sein Produkt nach, dass keine asbestähnlichen Eigenschaften anzunehmen sind, und liefert Sicherheitsdatenblatt mit dem erforderlichen Schutzniveau

EINTEILUNG IN STOFFKATEGORIEN

- Biobeständige Nanomaterialien ohne spezifische toxische Eigenschaften bzw. faserförmige Strukturen:
→ Beispiele sind Industrieruß, Titandioxid, Aluminiumoxid, Aluminiumsilikat und Zirkonoxid.
- Nanomaterialien mit spezif. toxischen Eigenschaften:
→ Besondere Maßnahmen sind für krebserzeugend eingestufte Stoffe erforderlich, z. B. Arsen (-verbindungen), Cadmium (-verbindungen), Chrom(VI)-Verbindungen, Nickel (-verbindungen), kristallines Siliziumdioxid (Quarz)
- Biobeständige faserförmige Nanomaterialien:
→ umfasst auch alle Arten von Kohlenstoff-Nanoröhren, allerdings zeigen nicht alle CNTs asbest-ähnliche Wirkungen
- **THEMENBLATT: E**

4. FESTLEGUNG VON SCHUTZMASSNAHMEN

Das folgende Schema zeigt die prinzipiellen Entscheidungsschritte, ohne auf spezielle gesundheitliche und physikalische Gefahren einzugehen.



GENERELLE ASPEKTE

Häufig wird empfohlen, beim derzeitigen Wissensstand jede Inhalation und/oder Hautkontakt mit Nanomaterialien während der Arbeit zu vermeiden.

Daher sollten die Nanomaterialien wenn möglich in einer Matrix, in einer Flüssigkeit suspendiert, oder in einer gekapselten Anlage bzw. in einem geschlossenen System gehandhabt werden.

→ **THEMENBLATT: F**

NANO-ARBEIT IN LABORATORIEN

Ein Beispiel für die Regelung von Forschungsaktivitäten mit freien nano-strukturierten Materialien (pulverförmig, flüssig als Suspension und gasförmig) sind die Empfehlungen für die niederländischen Universitäten.

Sie beinhalten auch einen Ablaufplan, beginnend bei der Entscheidung, ob es sich um potenziell nanotoxische Materialien handelt.

→ **THEMENBLATT: N**

Derzeit ist **Nanomaterialien zur Sicherheit ein höheres potenzielles Risiko zuzuordnen**, auch wenn dies nach den Kriterien für die Einstufung gefährlicher Stoffe nicht zutrifft. Mit wenigen Ausnahmen, wie manche lösliche Nanomaterialien, ist bei Nano-Arbeiten zumindest ein Schutzniveau wie für biobeständige Ultrafeinstäube notwendig.

Speziell zu beachten sind:

- Biobeständige faserförmige Nanomaterialien;
- Nanomaterialien, die krebserzeugende, mutagene, reproduktionstoxische bzw. atemwegsensibilisierende Stoffe enthalten;
- Explosionsfähige und reaktive bzw. katalytisch wirksame Nanomaterialien

4.1. SUBSTITUTION

Zu allererst sind Ersatzmaßnahmen in Erwägung zu ziehen:

- Eine Vermeidung von Nanomaterialien ist eine wenig realistische Alternative, da sie gerade wegen ihrer spezifischen Eigenschaften gebraucht werden.
- Die Substitution von einem Nanomaterial durch ein anderes ist derzeit schwer realisierbar, weil durch Datenlücken eine Ersatzstoffprüfung nur selten möglich ist.
- **Der Ersatz von gefährlichen Arbeitsprozessen** durch weniger bzw. gar nicht gefährliche ist jedoch eine sinnvolle und praktikable Alternative, z. B. aerosolarme Verfahren (Streichen, Tauchen) statt Sprühanwendungen.
Verfahrensschritte mit sehr hohem Risiko wie das Umschütten von Nano-Pulvern sollten möglichst automatisiert oder gänzlich vermieden werden (→ 4.2).
- Unbedingt zweckmäßig ist eine **Veränderung der Form** des verwendeten Nanomaterials, um seine Freisetzung zu erschweren und sein Expositionspotenzial zu minimieren, z. B. Granulate, Pellets, Pasten, in Verbundwerkstoffen oder in einer Flüssigkeit (als Suspension) eingebettet statt trockene staubende Pulver. Dies ist besonders dringlich, wenn ein Arbeiten im geschlossenen System nicht möglich ist.
Bei der Arbeit mit Nano-Suspensionen außerhalb geschlossener Systeme darf es nicht zur Aerosolbildung kommen (bei Füllvorgängen usw.). Wässrige Pumpsprays verwenden!

SPEZIELLE NANOMATERIALIEN

Für Kohlenstoff-Nanoröhrchen mit Dimensionen wie WHO-Fasern wird eine vorläufige Faserkonzentration von 10.000 Fasern/m³ zur Beurteilung der Exposition vorgeschlagen. Zudem ist neben der Anwendung von Schutzmaßnahmen nach dem Stand der Technik auch bei Einhalten des angeführten Beurteilungswertes das Tragen von Atemschutz und persönlicher Schutzkleidung unbedingt empfehlenswert.

Nicht alle Kohlenstoff-Nanoröhrchen dürften asbestähnliche Wirkungen zeigen und ein so hohes Schutzniveau benötigen. Für alle biobeständige faserförmige Nanomaterialien sollten aber nur dann keine asbestähnlichen Eigenschaften angenommen werden, wenn der Hersteller dies für sein Produkt nachgewiesen hat und die erforderlichen Schutzmaßnahmen im Sicherheitsdatenblatt enthalten sind.

Beispiele für krebserzeugend eingestuft Stoffe in Nanomaterialien sind Arsen oder Arsenverbindungen (z. B. in Quantenpunkten oder Quantum Dots), Cadmium oder Cadmiumverbindungen (z. B. in Quantenpunkten oder Quantum Dots), Chrom(VI)-Verbindungen, Nickel oder Nickelverbindungen (wie z. B. Nickelsulfid oder Nickeloxid) oder kristallines Siliziumdioxid (Quarz).

→ **THEMENBLATT: F**

4.2. TECHNISCHE MASSNAHMEN

Wenn immer möglich sollten zur Herstellung und zur Arbeit mit Nanopartikeln **geschlossene Systeme bzw. Anlagen** eingesetzt werden. Vorhandene, **nicht geschlossene Anlagen bzw. Apparaturen sind zu kapseln!**

Sind Arbeitsschritte mit potenzieller Nano-Exposition außerhalb geschlossener Systeme notwendig, sind zusätzliche technische und organisatorische Maßnahmen einzusetzen:

- **Direkt an der Quelle absaugen** (Abzüge, Abzugshauben, Absaugungen usw.), allgemeine Lüftungsmaßnahmen sind nicht geeignet;
- **Geeignet konstruierte Absaug-, Lüftungs- und Filtertechnik**, z. B. mit HEPA-Filterung und elektrostatischer Abscheidung, ggfs. Abtrennung des Arbeitsraums und Anpassung der Raumlüftung (leichter Unterdruck);
- **Schwebstofffilter der Filterklassen H (HEPA) bzw. U (ULPA)** verwenden;
- Abgesaugte Luft nicht ohne **Abluftreinigung mit hohen Abscheidegraden** ins Freileiten bzw. zurückführen.

Beispiele für Nano-Tätigkeiten:

- Bei **Portionierung pulverförmiger Nanomaterialien** möglichst automatische Sackentleerungsstationen einsetzen; Lieferung in kleineren Gebinden verlangen, um eine Portionierung überhaupt möglichst zu vermeiden;
- Beim **Entleeren des Reaktors** Kapselung so weit wie möglich beibehalten; andernfalls ausreichende Persönliche Schutzausrüstung wegen des erhöhten Risikos notwendig;
- In **Forschung und Labor** ebenfalls nicht offen, sondern unter Abzügen oder in Handschuhkästen arbeiten.

Weitere Maßnahmen können wegen spezieller Stoffeigenschaften erforderlich sein:

- Beim **Umgang mit oxidierbaren Nanomaterialien** zusätzliche Explosionsschutzmaßnahmen, z. B. Errichtung von Ex-Zonen und wenn möglich Arbeiten in inerter Atmosphäre durch Einleiten eines Inertgases während der Produktion;
- Beim **Umgang mit reaktiven oder katalytisch wirksamen Nanomaterialien** z. B. Kontakt mit unverträglichen Substanzen ausschließen.

TECHNISCHE MASSNAHMEN

Tätigkeiten mit potenzieller Nano-Exposition, die nicht in geschlossenen Systemen durchführbar sind, können z. B. Portionieren, Befüllen und Entleeren, Mahlen, Konfektionieren oder Probenahme sein.

Das Entleeren des Reaktors ist samt Folgeschritten vor allem bei trockenen Nanomaterialien ein sehr kritischer Schritt: Eine Kapselung sollte z. B. mit Handschuhkästen oder durch Entleeren mit einem Industriestaubsauger und Auffangen in wassergefülltem Behälter erfolgen.

Ist ein geschlossenes System nicht möglich, kann in einer Kabine mit laminarer Luftströmung oder mit einer Abzugshaube gearbeitet werden. Alternativ ist diese Arbeit in einem abgetrennten, mit HEPA-Filtern ausgerüsteten Raum möglich. Stäube sind zur Vermeidung von Staubwolken eher zu schaufeln als zu schütten.

In Forschung und Labor sollte auch die Arbeit mit Flüssigkeiten ggfs. unter Abzügen oder in Handschuhkästen durchgeführt werden, weil z. B. bei der Ultraschallbehandlung von Suspensionen feinste Aerosole mit den jeweiligen Nanomaterialien freigesetzt werden können.

→ **THEMENBLATT: F, N**

4.3. ORGANISATORISCHE MASSNAHMEN

Organisatorische Maßnahmen müssen zusätzlich zu technischen und anderen Maßnahmen umgesetzt werden:

- (Potenzielle) **Expositionszeit so gering wie möglich** halten, Dauer und Häufigkeit der Arbeit mit Nanomaterialien durch entsprechende Arbeitsorganisation minimieren;
- **Zahl der potenziell exponierten Personen so gering wie möglich halten**;
- **Gehandhabte Mengen an Nanomaterialien so weit wie möglich reduzieren**;
- **Nano-Arbeiten auf spezifische Nano-Bereiche begrenzen**, die nach festgelegten Regeln klar gekennzeichnet und abgegrenzt werden;
- **Zugang zu den Nano-Arbeitszonen** auf befugte und geschulte Personen **beschränken**.

Weitere organisatorische Maßnahmen betreffen z. B.: → **KASTEN rechts**

- Arbeitshygienische Regeln;
- Schulung und Information der Beschäftigten, die Nano-Arbeiten durchführen;
- Regelmäßige Prüfung, Wartung und Instandsetzung von geschlossenen Systemen, Absaug- und Lüftungsanlagen, usw.;
- Organisation der messtechnischen Überwachung der Raumluft;
- Geeignete Lagerung von Nanomaterialien;
- Sachgerechte Durchführung von Reinigungsarbeiten;
- Sichere Sammlung von Nano-Abfälle;
- Vorbereitung auf unbeabsichtigte Freisetzung von Nanomaterialien.

ORGANISATORISCHE MASSNAHMEN

Abgesehen von der Prüfung der Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen (→ 6) und ggfs. einer arbeitsmedizinischen Überwachung (→ 5.4) geht es bei den „weiteren“ Maßnahmen vor allem um die folgenden Aktivitäten.

Information, Unterweisung und Schulung (→ 5.5) für:

- Beschäftigte, die Nano-Arbeiten durchführen;
- Instandhaltungspersonal;
- Lagerpersonal;
- Reinigungspersonal.

Ggfs. Erstellung von Betriebsanweisungen, z. B. für:

- Spezielle Tätigkeiten (z. B. Portionierung, Füllvorgänge, Probenahme);
- Reinigung;
- Lagerung.

Festlegung von Regeln, Maßnahmen bzw. Vorgangsweisen für:

- Generelle Arbeitshygiene (→ 5.2);
- Verfahren für Instandhaltung (→ 5.2);
- Lagerung von Nanomaterialien (→ 5.1);
- Unbeabsichtigte Freisetzung / Störfälle (→ 5.3);
- Reinigung (→ 5.2);
- Abfallsammlung (→ 5.2).

→ **THEMENBLATT: F**

4.4. PERSÖNLICHE SCHUTZAUSRÜSTUNG

ATEMSCHUTZ

Eine Atemschutzausrüstung ist für alle Tätigkeiten notwendig, bei denen Nanomaterialien in die Luft emittiert werden können. → **KASTEN rechts**

Vermeidung inhalativer Expositionen:

- Faserförmige Filtermasken mit mittlerem und hohem Abscheidevermögen prinzipiell geeignet: P2, P3 bzw. N95, P100 (NIOSH-Standard);
- Für staubende Stoffe Voll- oder Halbmasken mit P2- oder P3-Filtern, Partikelfiltergeräte mit Gebläse und Haube oder Helm (TH2P, TH3P), Partikelfiltergeräte mit Gebläse und Voll- oder Halbmaske (TM2P, TM3P), eventuell auch partikelfilternde Halbmasken (FFP2, FFP3) verwenden;
- Ausreichend dichten Sitz der Maske auf dem Gesicht sicherstellen; alle Träger probieren lassen.

HAUTSCHUTZ

Bei möglichem Hautkontakt müssen Schutzhandschuhe getragen werden, da die möglichen gesundheitlichen Auswirkungen nach Hautkontakt mit Nanomaterialien noch nicht vollständig untersucht sind. → **KASTEN rechts**

Vermeidung dermalen Expositionen:

- Bestätigung der Wirksamkeit der Schutzhandschuhe vom Hersteller einholen;
- Ausreichende mechanische Stabilität der Schutzhandschuhe;
- Vielfach Verwendung von Wegwerfhandschuhen aus Nitril empfohlen;
- Empfohlen, zwei Handschuhe übereinander zu tragen;
- Überlappung der Handschuhe mit sonstiger Schutzkleidung sowie das korrekte An- und Ausziehen wichtig.

ATEMSCHUTZ

Ein ausreichender Atemschutz ist z. B. beim Umgang mit Stäuben oder Aerosolen in nicht abgeschlossener Umgebung, bei Instandhaltungs- oder Reinigungsarbeiten erforderlich. Die Art des Atemschutzes hängt von den Ergebnissen der Risikoabschätzung ab.

Für eine Erörterung der Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Atemschutzgeräte siehe z. B.:

→ Hessen Nanotech (HA, 2009b)

→ **THEMENBLATT: F**

HAUTSCHUTZ

Eine Bestätigung der Wirksamkeit von Schutzhandschuhen sollte gefordert werden, weil in der Regel derzeit die Angaben der Hersteller zur Auswahl nicht ausreichen.

→ **THEMENBLATT: F**

SCHUTZKLEIDUNG

Auch andere Hautpartien abgesehen von den Händen sind ggfs. durch Schürzen oder Sicherheitsschuhe schützen, vor allem jedoch durch Schutzkleidung.

- Membranmaterialien statt gewebten Materialien z. B. aus Baumwolle, oder statt Polypropylen; nicht gewebte (luftdichte) Stoffe wie Tyvek geeignet;
- Einwegoveralls mit Kapuze u.ä. sind zu bevorzugen;
- Wenn notwendig, höheres Schutzniveau durch Chemikalienschutzanzüge.

AUGENSCHUTZ

Eventuell ist aufgrund der Risikoabschätzung auch das Tragen von Schutzbrillen notwendig:

- Dicht schließende Korbbrillen z. B. beim Tragen von Halbmasken verwenden.

UMGANG MIT NANO-FLÜSSIGKEITEN

Handhabung von Flüssigkeiten, die Nanopartikel enthalten: → **KASTEN rechts**

- Polymer-Stulpenhandschuhe (z. B. Nitrilkautschuk) oder Nitrilhandschuhe mit verlängerten Ärmeln verwenden;
- Auswahl des Handschuhmaterials je nach seiner chemischen Widerstandsfähigkeit gegenüber den jeweiligen Nanomaterialien und, wenn sie in Flüssigkeiten suspendiert sind, gegenüber diesen;
- Augenschutz benutzen, z. B. Brillen, die Spritzschutz bieten, oder Gesichtsschirme;
- geschlossene Schuhe aus wenig durchlässigem Material verwenden, eventuell auch Wegwerf-Überschuhe.

NANO-FLÜSSIGKEITEN

Werden Nanomaterialien zusammen mit Detergentien, Tensiden oder oberflächenaktiven Chemikalien (z. B. Dimethylsulfoxid) verwendet, kann die Aufnahme durch die Haut zu einer erhöhten Exposition führen, weil solche Stoffe bei manchen Chemikalien die Aufnahmegeschwindigkeit erhöhen.

→ **THEMENBLATT: F**

5. WEITERE ASPEKTE DES RISIKOMANAGEMENTS

Innerhalb des Risikomanagements sind spezielle Aspekte, Bereiche und Nicht-Routine-Tätigkeiten besonders zu beachten. Hervorgehoben werden hier:

- Lagerung;
- Hygiene;
- Reinigung;
- Instandhaltung;
- Abfallsammlung;
- Unbeabsichtigte Freisetzung bzw. Störfälle;
- Arbeitsmedizinische Überwachung;
- Information, Unterweisung und Einschulung.

5.1. LAGERUNG VON NANOMATERIALIEN

Folgende Hinweise sind beim Lagern zu beachten:

- In eigenen Räumlichkeiten lagern;
- Zutrittsregeln zum Lager ausarbeiten;
- Zugang zum Lager auf befugte Personen beschränken;
- Informationen zur Lagerung einholen;
- Verwendung von Aufreißsäcken vermeiden;
- Beschädigte Gebinde / Paletten mit beschädigten Gebinden in einem eigenem Raum lagern;
- In sicherer Weise reinigen (→ 5.2, **Reinigung**);
- Für Schadensfälle geeignete Schutzmaßnahmen und Ausrüstung bereitstellen;
- Geöffnete Säcke getrennt von noch verschlossener Sackware lagern;
- Betriebsanweisung "Lagern von Nanomaterialien" erstellen;
- Lagerpersonal informieren, unterweisen und einschulen.

→ **KASTEN rechts**

LAGERUNG

Wenn ausreichende Hinweise zur Lagerung nicht in Punkt 7 des Sicherheitsdatenblattes enthalten sind, sind sie beim Hersteller/Lieferanten einzuholen.

Hersteller/Lieferant sollten gefragt werden, ob es als Alternative zu Aufreißsäcken Gebinde gibt, bei deren Öffnen kein Material austreten kann (z. B. Fässer).

Beschädigte Gebinde müssen in einem gesonderten Raum in Ordnung gebracht werden, z. B. durch Umfüllen. Sackware / Big-Bags ist mit einer zweiten Hülle zu versehen und zu verschließen.

Bereits geöffnete Säcke sind getrennt von noch verschlossener Sackware zu lagern. Hersteller/Lieferant sollten nach Gebinden gefragt werden, ob eine geringere Gebindegröße möglich ist, um eine Portionierung überhaupt zu vermeiden.

→ **THEMENBLATT: G**

5.2. HYGIENE, REINIGUNG, INSTANDHALTUNG UND ABFALLSAMMLUNG FÜR NANOMATERIALIEN

HYGIENISCHE GRUNDSÄTZE

- Das Unternehmen muss für saubere Arbeitskleidung und geeignete Persönliche Schutzausrüstung sorgen:
- Rauchen, Essen und Trinken in Nano-Arbeitsbereichen verbieten; → **KASTEN rechts**
 - Geeignete Waschelegenheiten bereitstellen;
 - Arbeitskleidung auf Sauberkeit prüfen;
 - Persönliche Schutzausrüstung, einschließlich Schutzkleidung, durch Arbeitgeber bereitstellen und reinigen;
 - Arbeitskleidung und Alltagskleidung getrennt aufbewahren.

REINIGUNG

- Die Reinigung darf keine Stäube oder Aerosolbildung verursachen: Auf keinen Fall sollte mit Druckluft abgeblasen, ein Trockenwischverfahren eingesetzt oder mit Besen, Bürsten u.ä. gekehrt werden:
- Arbeitsoberflächen geeignet gestalten (z. B. nicht porös, fugenfrei, leicht zu reinigen);
 - Nass reinigen, Ablagerungen oder verschüttete Materialien nass aufwischen;
 - Alternativ für größere Mengen einen Industriestaubsauger mit wirksamen Filtern (z. B. HEPA H14) einsetzen;
 - Arbeitsmittel regelmäßig korrekt warten und Verbrauchsmaterialien auszutauschen (Staubsaugerfilter, Reinigungsgeräte usw.);
 - Geeignete Schutzmaßnahmen und Ausrüstung je nach Risikoniveau bereitstellen (→ **4.4**);
 - Persönliche Schutzausrüstung regelmäßig korrekt zu warten und ggfs. ersetzen.;
 - Verfahren für korrekte Reinigung mit festgelegten Terminen ausarbeiten;
 - Betriebsanweisung "Nano-Reinigung" erstellen;
 - Reinigungspersonal informieren, unterweisen und einschulen.

HYGIENISCHE REGELN

Allgemeine und spezielle hygienische Grundsätze sind ein wichtiger Teil der organisatorischen Schutzmaßnahmen, z. B. muss vom Unternehmen für saubere Arbeitskleidung und geeignete Persönliche Schutzausrüstung zur Verfügung gestellt werden.

Wie immer beim Umgang mit Nanomaterialien ist auch dabei das Vorsorgeprinzip zu beachten.

→ **THEMENBLATT: H**

REINIGUNG

Insbesondere größere Mengen, beispielsweise ein ganzer Sackinhalt, sind mit einem Industriestaubsauger mit wirksamen Filtern (z. B. HEPA H14) aufzunehmen, die Nanomaterialien werden in einer wassergefüllter Trommel aufgefangen. Für die Wirksamkeit der Staubsauger sollte vom Hersteller eine Bestätigung eingeholt werden. Bei explosionsgefährlichen Nanopartikeln müssen explosionsgeschützte Geräte verwendet werden.

Ein Verfahren zur regelmäßigen und korrekten Reinigung sollte erstellt werden, z. B.: Staub-Arbeitszonen zumindest einmal pro Schicht reinigen; adäquate Hilfsmittel beschreiben, beispielsweise Staubsauger mit HEPA-Filtern, mit geeigneten Lösungsmitteln angefeuchtete Stoffe usw.

→ **THEMENBLATT: H**

INSTANDHALTUNG

Systematische Instandhaltung, d.h. Inspektion, Wartung und Instandsetzung sichert die Wirksamkeit von technischen Schutzmaßnahmen:

- Absaug- und Lüftungssysteme regelmäßig einer Leistungs- bzw. Funktionsprüfung zu unterziehen, warten und instandhalten;
- Verfahren für korrekte Instandhaltung mit festgelegten Terminen ausarbeiten;
- Für Instandhaltung geeignete Schutzmaßnahmen und Ausrüstung je nach Risikoniveau bereitstellen (→ 4.4);
- Persönliche Schutzausrüstung regelmäßig korrekt zu warten und ggfs. ersetzen.;
- Auf die jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten abgestimmte spezielle Betriebsanweisungen "Nano-Instandhaltung" erstellen;
- Instandhaltungspersonal informieren, unterweisen und einschulen.

ABFALLSAMMLUNG

Bis spezifische Regelungen bestehen, müssen Nano-Abfälle, die bei Reinigung, Instandhaltung etc. anfallen, als potenziell gefährlich angesehen und so gesammelt werden, dass keine Nanomaterialien austreten können.

Nanomaterialien:

- In dicht schließenden Abfallbehältern sammeln;
- Behälter mit einer Etikettierung versehen: Abfall als nano-skaliert etikettieren; Informationen über seine bekannten und vermuteten Eigenschaften beifügen;
- Metallpulver in Metallbehältern, Oxide in Kunststoffbehältern sammeln.
- In einem Abzug oder an einem ähnlich geeignetem Ort lagern.

Papiere, Reinigungstücher, PSA und andere Gegenstände mit loser Nano-Kontamination:

- In einem (antistatischen) Plastiksack sammeln;
- Gefüllten Sack in einen zweiten Sack oder ein anderes dichtes Behältnis stecken, verschließen und etikettieren.
- In einem Abzug oder an einem ähnlich geeigneten Ort lagern.

INSTANDHALTUNG

Effektive technische und andere Schutzmaßnahmen benötigen eine systematische Instandhaltung. Ein Verfahren zur regelmäßigen und korrekten Instandhaltung mit festgelegten Terminen sollte erstellt werden, z. B.: ganze Ausrüstung vor Instandhaltung verschleifen und reinigen; adäquate Hilfsmittel beschreiben, beispielsweise Staubsauger mit HEPA-Filtern, mit geeigneten Lösungsmitteln angefeuchtete Stoffe usw.

Auch bei geschlossenen und gekapselten Systemen müssen regelmäßige Reinigungs- und Wartungsarbeiten durchgeführt werden, sind z. B. Proben zu nehmen oder Absaug- und Lüftungssysteme zu prüfen. Dies macht ein zeitweises Öffnen der Anlagen notwendig.

Dafür müssen geeignete Schutzmaßnahmen und persönliche Schutzausrüstung je nach Risikoniveau zur Verfügung gestellt werden, wenn eine vollautomatische Reinigung bzw. Instandhaltung nicht möglich ist

→ **THEMENBLATT: H**

ABFALLSAMMLUNG

Nano-Abfälle müssen getrennt von anderen Abfällen und in sicherer Weise gesammelt werden.

Auf die Entsorgung wird in diesem Leitfaden nicht eingegangen.

→ **THEMENBLATT: H**

5.3. UNBEABSICHTIGTE FREISETZUNG BZW. STÖRFÄLLE MIT NANOMATERIALIEN

Für Notfälle wie Lecks sind Aktionspläne zu erstellen, deren Methoden von Risikoniveau und Stoffmengen abhängen. Auch Klein- und Mittelbetriebe, die mit geringeren Mengen arbeiten, müssen für Verschütten usw. von Nanomaterialien Vorsorge treffen: → **KASTEN rechts**

- Maßnahmen und Regeln für unbeabsichtigte Freisetzung festlegen;
- Wenn notwendig, betroffenen Bereich kennzeichnen und Zugang auf Reinigungspersonal beschränken;
- Wenn notwendig, die Ausbreitung verschütteter Nanomaterialien durch geeignete Hilfsmittel verhindern, z. B. saugfähige Matten, geeignete Absorptionsmaterialien bei Verschütten von Suspensionen;
- Bei Verschütten feucht aufwischen, bei größeren Mengen Industriestaubsauger mit wirksamen Feinstaubfiltern benutzen (→ **5.2, Reinigung**);
- Abfälle in geeigneten Behältern sammeln (→ **5.2, Abfallsammlung**);
- Geeignete Schutzmaßnahmen und Ausrüstung je nach Risikoniveau bereitstellen (→ **4, PSA**);
- Reinigungspersonal informieren, unterweisen und einschulen.

5.4. ARBEITSMEDIZINISCHE ÜBERWACHUNG

Arbeitsmedizinische Überwachung sollte Teil eines umfassenden Risikomanagements sein. Sie wird jedoch in nächster Zeit für Nanomaterialien noch keinen hohen Stellenwert besitzen, obwohl erste Vorschläge dazu veröffentlicht wurden. → **KASTEN rechts**

Es gibt jedoch noch keine nano-spezifischen arbeitsmedizinischen Untersuchungen, weil wissenschaftlich fundierte Grundlagen und geeignete Indikatoren bzw. Wirkungsparameter fehlen.

UNBEABSICHTIGTE FREISETZUNG

Große Störfälle mit über die Arbeitsstätte hinausgehenden Auswirkungen sind nicht bekannt, einige Betriebsunfälle sind aber dokumentiert worden.

Nach derzeitigem Wissen dürften entsprechende Vorschriften für Stäube auch für Nanomaterialien angewendet werden können.

→ **THEMENBLATT: J**

ARBEITSMEDIZINISCHE ÜBERWACHUNG

Beispielsweise schlägt das US Arbeitsschutzinstitut NIOSH vor, mit Hauptaugenmerk auf dem Atemtrakt auf Basis etablierter medizinischer Überwachungsansätze vorzugehen. In einer Übergangszeit könnte auf übliche Methoden für Atemwegserkrankungen zurückgegriffen werden, z. B. auf regelmäßige Lungenfunktionsuntersuchungen. Einen epidemiologischen Nutzen bringen die Ergebnisse aber nur, wenn sie mit jenen der Expositionsmessungen verknüpft dokumentiert werden.

→ **THEMENBLATT: K**

5.5. INFORMATION, UNTERWEISUNG UND EINSCHULUNG FÜR NANO-ARBEITEN

Die ArbeitnehmerInnen und ihre Vorgesetzten müssen in Bezug auf Nano-Arbeitsplätze und Nano-Arbeiten gründlich informiert und unterwiesen sein.
→ **KASTEN rechts**

Verschiedene Arten der Information sind einzusetzen:

- Mündliche Unterweisung regelmäßig wiederholen;
- In Arbeitsanweisungen, Betriebsanweisungen und Regeln die wichtigsten Informationen über auftretende Risiken, notwendige Schutzmaßnahmen und alle, zu ihrer Umsetzung und Einhaltung erforderlichen Hinweise einfügen;
- Schriftliche Betriebsanweisungen für Tätigkeiten mit hohem Risikopotenzial erstellen;
- Schutzmaßnahmen, vor allem Persönliche Schutzausrüstung praktisch einüben.

Inhaltlich stehen im Vordergrund:

- Die Bezeichnung des verwendeten Nanomaterials und seine physikalisch-chemischen Eigenschaften;
- Die mit einer Exposition verbundenen potenziellen gesundheitlichen Auswirkungen;
- Die jeweilige Nano-Tätigkeit;
- Arbeits- und Betriebsanweisungen sowie Regeln dafür;
- Hauptergebnisse der Risikobeurteilung und wesentliche Informationen in Bezug auf das Risikomanagement;
- Insbesondere die eingesetzten notwendigen Schutzmaßnahmen einschließlich Persönlicher Schutzausrüstung;
- Notfallmaßnahmen;
- Ergebnisse etwaiger Expositionsmessungen und ggfs. das kollektive Ergebnis eines Gesundheitsmonitorings.

INFORMATION DER ARBEITNEHMERINNEN

Schriftliche Betriebsanweisungen sind für Arbeitsschritte und Tätigkeiten mit hohem Risikopotenzial sinnvoll, aber auch für bestimmte Nicht-Routine-Arbeiten wie Instandhaltung.

Sie können beispielsweise in Form eines A3-formatigen Plakats am Arbeitsplatz angebracht werden.

Die praktische Einübung der Handhabung und Durchführung von Schutzmaßnahmen für Nano-Arbeiten empfehlenswert, weil z. B. ein schlechter Sitz oder eine unkorrekte Verwendung die Persönliche Schutzausrüstung unbrauchbar machen können.

→ **THEMENBLATT: L**

6. PRÜFUNG DER WIRKSAMKEIT V. SCHUTZMASSNAHMEN

Es ist sinnvoll, in Kontrollmessungen die Effektivität von Maßnahmen gegen luftgetragene Exposition zu überprüfen, um Fehler und Schwachstellen zu ermitteln, die zu einem ernsthaften gesundheitlichen Problem führen könnten (➔ 2.2).

Auf zwei Arten können Messungen zur Bewertung der Expositionssituation genutzt werden, im relativen und im absoluten Vergleich.

Beim **relativen Vergleich** werden folgende Messergebnisse miteinander verglichen:

- ➔ vor und nach dem Einsatz von Schutzmaßnahmen (mit Schutzmaßnahmen sollte sich eine deutliche Verminderung der Belastung ergeben);
- ➔ ohne und mit einer bestimmten Nano-Tätigkeit (bei diesem Vergleich mit der Hintergrundbelastung sollte keine zusätzliche Belastung auftreten).

Dies ist zur Zeit wahrscheinlich die am einfachsten auszuwertende Möglichkeit, wobei beide Varianten Vor- und Nachteile besitzen. ➔ **KASTEN rechts**

Ein **absoluter Vergleich** ist derzeit nur schwierig möglich, weil es noch keine nanospezifischen Grenzwerte oder andere Beurteilungswerte gibt, die als Maßstab herangezogen werden können. Auch der Allgemeine Staubgrenzwert kann dafür nicht benutzt werden.

Zur Zeit lässt sich aus arbeitsmedizinisch-toxikologischer Sicht kein Grenzwert für Nanomaterialien begründen, auch die Wahl der Maßangaben steht noch nicht fest. Verschiedene **pragmatische Beurteilungswerte** wurden in der Zwischenzeit empfohlen.

Die Erstellung solcher „Benchmarks“ steht vor methodischen Problemen und ihre Anwendbarkeit ist teilweise zu hinterfragen. Sie zielen überdies auf die Minimierung der Exposition nach dem Stand der Technik und sind nicht gesundheitsbasiert. Daher bleibt auch bei ihrer Einhaltung für die ArbeitnehmerInnen ein gesundheitliches Risiko bestehen.

Bis zur Festlegung von Grenzwerten sollte die Exposition der ArbeitnehmerInnen die unbelastete Umgebungsluft nicht überschreiten.

PRÜFUNG DER WIRKSAMKEIT

Welche Art, im relativen Vergleich die Expositionssituation zu bewerten, „sicherer“ ist, hängt von Größe und Dichte der vorhandenen Nanopartikel ab.

Pragmatische Beurteilungswerte wurden beispielsweise von der britischen Normeneinrichtung BSI, dem US Arbeitsschutzinstitut NIOSH oder dem Deutschen Institut für Arbeitsschutz IFA erarbeitet.

Bei ihrer Erarbeitung besteht ein beträchtlicher genereller und methodischer Diskussionsbedarf. Beispielsweise wird eine Einteilung von Nanomaterialien in spezifische Risikokategorien nach derzeitigem Wissensstand als noch nicht möglich bezeichnet. Außerdem können beschichtete Nanomaterialien ein gänzlich anderes toxisches Potenzial besitzen als dieselben unbeschichteten Materialien!

Werden bei Anwendung der Beurteilungswerte ihre jeweiligen Voraussetzungen und Einschränkungen bedacht, stellen sie jedoch ein nützliches Hilfsmittel dar, bis nano-spezifische Grenzwerte aufgestellt werden.

Abgesehen von der Effektivität der festgelegten Schutzmaßnahmen ist auch zu prüfen, ob weitere, im Rahmen des Risikomanagements von Nanomaterialien getroffene Maßnahmen tatsächlich umgesetzt wurden und sich bewährt haben (➔ 2.2).

➔ **THEMENBLATT: D**

7. DOKUMENTATION DER GEFÄHRDUNGSBEURTEILUNG

Die Dokumentation der Gefährdungsbeurteilung besitzt gerade bei der Arbeit mit Nanomaterialien eine große Bedeutung. → **KASTEN rechts**

Sie sollte folgende Informationen beinhalten:

- Verwendete Nanomaterialien und ihre gesundheitsgefährdenden und physikalisch-chemischen Eigenschaften;
- Nano-Arbeitsbereiche und Routine- / Nicht-Routine- Tätigkeiten;
- Arbeitsbedingungen bzw. Verhältnisse dabei (Dauer und Häufigkeit der Tätigkeiten, Verbrauch / Zeiteinheit und Verwendungsart / -form der Nanomaterialien, Höhe der potenziellen Nano-Exposition usw.);
- Festgelegte technische, organisatorische und personenbezogene Schutzmaßnahmen;
- Anzahl der Beschäftigten, die mit Nanomaterialien umgehen bzw. Kontakt haben;
- Zusammenstellung der Informationen in der Lieferkette (Sicherheitsdatenblätter, technische Merkblätter, Hinweise der Lieferanten);
- Sammlung der toxikologischen und epidemiologischen Daten;
- Weitere erhobene oder recherchierte Daten, Dokumente, Regelungen, etc.;
- Ergebnisse etwaiger Arbeitsplatz- und Raumluftmessungen;
- Sonstige Ergebnisse der Prüfung der Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen und anderer Kontrollen von weiteren Maßnahmen des Risikomanagements;
- Arbeits- und Betriebsanweisungen, interne Regeln (für Lagerung, Reinigung, Instandhaltung, etc.);
- Vorgehensweise bei Gefahrenermittlung und Risikoabschätzung.

Ggfs. vorhandene Unterlagen zum Qualitäts-, Sicherheits- und Gesundheitsmanagement des Unternehmens, bilden eine sinnvolle Ergänzung.

Ein personenbezogenes Expositionsregisters kann wertvolle Hinweise auf etwaige Auswirkungen liefern.

DOKUMENTATION

In Bezug auf Nanomaterialien gibt es derzeit noch beträchtliche Informationslücken. Gefahrenermittlung und Risikoabschätzung sind oft nur qualitativ möglich und es fehlen noch Beurteilungsmaßstäbe wie gesundheitsbasierte Grenzwerte. Daher ist eine genaue und umfassende Dokumentation der Gefährdungsbeurteilung besonders wichtig, weil die getroffenen Entscheidungen später klar nachvollziehbar sein müssen.

Wenn vorhanden, stellen Dokumente zur Qualitätssicherung und zum Sicherheits- und Gesundheitsmanagement des Unternehmens, zu Haftungsfragen, sowie zu eventuellen Qualitäts- und Sicherheitsuntersuchungen, eine nützliche Ergänzung dar.

Das Führen eines personenbezogenen Expositionsregisters ist empfehlenswert. Dies kann in Verbindung mit Ergebnissen etwaiger Vorsorgeuntersuchungen eine Grundlage für spätere epidemiologische Studien zu liefern.

→ **THEMENBLATT: M**

Themenblatt A: Definition und Charakterisierung von Nanomaterialien

Bisher gibt es weder weltweit noch innerhalb der Europäischen Union eine einheitliche und allgemein akzeptierte Definition für Nanomaterialien, obwohl seit Jahren daran gearbeitet wird. Die vielen existierenden Vorschläge¹ von Normungsinstituten, Organisationen und Behörden decken sich zwar größtenteils, unterscheiden sich jedoch in Details, die weitreichende Auswirkungen z. B. bei rechtlichen Regelungen aller Art nach sich ziehen können. Die Schwierigkeiten hängen unter anderem damit zusammen, dass Nano eher ein forschungspolitischer und -organisatorischer Begriff als eine Technologie im engeren Sinn ist, Nanotechnologien in vielen unterschiedlichen Feldern angewendet werden. Nano-skalige Substanzen wurden bereits im Altertum erzeugt und kommen auch in der Natur vor.

SCENIHR, das Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks der Europäischen Kommission, führt derzeit (Sommer 2010) eine öffentliche Konsultation über die Definition von Nanomaterialien durch. Auch das internationale Normeninstitut, ISO, wird in Kürze eine revidierte Fassung seiner Nano-Terminologie veröffentlichen.

Bezüglich einer Definition stellen jedenfalls Größe und Herkunft zentrale Merkmale dar.

Größe

Nanomaterialien besitzen in mindestens einer Raumrichtung (Dimension) sehr kleine Abmessungen. Sie können also flächig sein wie Schichten und Plättchen, länglich wie Stäbchen, Röhren und Drähte, oder klumpenförmig wie Partikel. Einzelne Atome sind zwischen 0,1 und 1 Nanometer groß. Strukturen im Nanobereich werden von relativ wenigen Atomen oder Molekülen gebildet.

Dieser Leitfaden verwendet den Ausdruck „Nanomaterialien“ zusammenfassend für alle verschiedenen Arten. Er versteht ihn in einem weiteren Sinn, um dem Vorsorgeprinzip zu entsprechen, solange es keine genaue einheitliche Definition gibt und das Wissen um Nanowirkungen noch sehr lückenhaft ist.

1 Nanometer = 1 nm = 1 Milliardstel Meter

→ Für die Beschreibung verschiedener Nanomaterialien und hier verwendeter Begriffe siehe Glossar!

¹ Vgl. z. B. SCENIHR (2008), ISO (2008b), OECD (2010), NanoKommission (2008). Übersichten und Diskussion der verschiedenen Definitionsansätze sind in SCENIHR (2010) und in JPC (2010) zu finden.

Praktisch alle Definitionsvorschläge stimmen überein, dass Nanomaterialien in mindestens einer Dimension **zwischen 1 nm und 100 nm** groß sind.

- Die **untere Grenze** bereitet vergleichsweise geringe Abstimmungsprobleme: Einzelne Moleküle werden nicht zu den Nanomaterialien gerechnet, selbst wenn sie sehr groß sind. Auch hier gibt es jedoch Grenzfälle wie die sog. Fullerene.
- Schwierig ist die **obere Grenze**: Sie ist mit praktischen Überlegungen begründet. Es ist (derzeit noch) nicht wissenschaftlich zu beweisen, dass Materialien exakt ab 100 nm Nanoeigenschaften bekommen. Die Übergänge vieler Eigenschaften sind nicht abrupt, sondern gleichmäßig. Warum sollte eine Substanz mit 100 nm Länge dann als Nanomaterial gelten, eine solche mit 105 nm aber nicht?
- Außerdem liegen Nanomaterialien herstellungsbedingt nicht in genau einer Größe vor, sondern im Allgemeinen in einer Größenverteilung, die sich über einen bestimmten Bereich erstrecken kann. Substanzen können mehrheitlich zwar über 100 nm groß sein, ein Teil jedoch darunter liegen. Deshalb ist die **Größenverteilung von Nanomaterialien unbedingt zu berücksichtigen** und genau zu definieren, unter welchen Umständen ein Nanomaterial vorliegt. Ein Beispiel für Tragweite dieser Tatsache ist die Begründung für die Festlegung der „Nano-Relevanz“ im Schweizer Vorsorgeraster (siehe Leitfaden, 1.3).
- Nanopartikel schließen sich überdies häufig zu größeren Verbundsystemen (**Agglomerate oder Aggregate**) zusammen, die viel größer als 100 nm sind, aber dennoch bestimmte Eigenschaften der einzelnen Nanoteilchen behalten können (vor allem die lockerer gebundenen Agglomerate). Ihre Bildungs- bzw. Zerfallsprozesse verändern die Größenverteilung der Primärpartikel und müssen daher ebenfalls berücksichtigt werden. (siehe Leitfaden, 1.2 und 1.3).

Herkunft

Je nach Herkunft sind drei Arten von Nanomaterialien zu unterscheiden:

- natürlich entstehend (z. B. bei Vulkanausbrüchen oder Waldbränden);
- unerwünschtes Nebenprodukt menschlicher Aktivitäten (z. B. ultrafeine Stäube und Aerosole oder Metaldämpfe und -rauche, wie Dieselmotorenmissionen, Schweißrauche);
- geplant erzeugt.

In Abgrenzung zu den anderen Herkunftsarten ist ein Merkmal von Nanomaterialien ihre **„gezielte bzw. beabsichtigte Herstellung“**. Dafür wird teils auch unscharf „synthetisch“ verwendet.

Parameter / Eigenschaften

Die speziellen Eigenschaften von Nanomaterialien beruhen in erster Linie auf zwei Effekten:

- Wegen der geringen Größe befinden sich viel mehr Atome oder Moleküle des Materials auf seiner Oberfläche als bei einem gleich schweren Stück desselben Materials in makroskopischer Form²: Nanomaterialien haben daher relativ eine höhere Reaktivität, weil nur die Atome oder Moleküle an der Oberfläche eines Materials nach außen chemisch oder biologisch wirksam sind.
- Im Nanobereich tritt die nicht kontinuierliche Natur der Materie zutage: Physikalische Eigenschaften können nicht mehr durch klassische Physik erklärt werden. Stattdessen treten Phänomene auf, die im atomaren und molekularen Bereich angesiedelt sind und sich nur quantenphysikalisch beschreiben lassen.

Zu den geometrischen Merkmalen zählen neben der „Größe“ auch die „Oberfläche“ und die „Form / Gestalt“ von Nanomaterialien:

- Für Pulver und/oder trockene feste Stoffe, nicht jedoch direkt für Suspensionen u.ä., ist die **spezifische Oberfläche** (Oberfläche pro Volumseinheit) ein zusätzliches Unterscheidungsmerkmal zwischen Nano und Nicht-Nano.
- Das Beispiel der Nanoröhrchen, für die asbestähnliche Wirkungen vermutet werden, zeigt den Stellenwert der **Form**.

Sog. „neue Eigenschaften“, über die Nanomaterialien im Vergleich zu ähnlichen, aber schon seit langem erzeugten Materialien verfügen, sind in der Regel kein weiteres Abgrenzungsmerkmal.

Dies gilt auch für **physikalisch-chemische Eigenschaften**, mit denen sich Nanomaterialien zusätzlich charakterisieren lassen und die ihr Verhalten bestimmen³. Die OECD (2010) zeigte dies anhand 16 solcher Merkmale, darunter Kristallstruktur, Redoxpotential, photokatalytische Aktivität oder Wasserlöslichkeit.

Sie ändern sich teils kontinuierlich mit der Größe und es lässt sich im Allgemeinen keine Grenze angeben. Teilweise treten unterhalb einer bestimmten Größe einzigartige Eigenschaften auf, z. B. in Bezug auf das Redoxpotential. Manche Effekte wiederum hängen einfach mit einer sehr geringen Größe zusammen wie das Durchdringen biologischer Barrieren.

Natürlich ist auch die „chemische Zusammensetzung“ eine wichtige Einflussgröße.

Weitere Beispiele für Parameter bzw. Eigenschaften sind: Porosität des Materials, Oberflächenladung, elektrische Leitfähigkeit, Beschichtung der Oberfläche mit anderen chemischen Verbindungen, Löslichkeit, Agglomerations- und Aggregationsverhalten (siehe oben), Reinheit (Gehalt an Verunreinigungen aus der Herstellung), sowie besondere magnetische, optische oder katalytische Eigenschaften.

Wichtige Parameter sind weiters „Löslichkeit“, „Abbaubarkeit“ und „Persistenz“.

² Für Letzteres werden im Leitfaden auch die Begriffe „Bulkmaterial“ oder „Grobform“ verwendet.

³ Vgl. zur Charakterisierung von Nanomaterialien auch UIC (2009) oder Ostiguy et al. (2009).

Stellenwert für Gefahrenermittlung

Die meisten der aufgelisteten Einflussgrößen dürften sich nicht für eine generelle Definition von Nanomaterialien eignen, sind jedoch für die Gefahrenermittlung und damit für die Gefährdungsbeurteilung relevant!

Laut SCENIHR (2009) sind aus dem Blickwinkel einer Risikoabschätzung die wichtigsten physikalisch-chemischen Eigenschaften zur Charakterisierung von Nanomaterialien⁴:

- Größe und Größenverteilung,
- Spezifische Oberfläche,
- Stabilität in wichtigen Medien (einschließlich der Fähigkeit zu aggregieren und zu zerfallen),
- Adsorptionsverhalten der Oberfläche,
- Löslichkeit in Wasser, und
- Chemische Reaktivität (derzeit am besten für jedes einzelne Material, „case by case“ bestimmt, unter Berücksichtigung der wahrscheinlichen Anwendungen).

Je nach Art des Nanomaterials sind eventuell auch zu beachten:

- Photoaktivierung, und das
- Potenzial, aktiven Sauerstoff zu erzeugen.

Bisher konnten für Nanomaterialien aus den in einzelnen Studien gefundenen Ergebnissen keine verallgemeinerbare Auswirkungen der erwähnten Einflussgrößen abgeleitet werden. Analogieschlüsse bzw. die Gruppierung in spezifische Risikokategorien sind daher derzeit noch nicht möglich. So muss eigentlich jedes Nanomaterial in Bezug auf das Gefahrenpotenzial speziell untersucht werden. Bei der enormen Vielfältigkeit und Anzahl an Nanomaterialien stößt dies jedoch auf die Grenzen der Machbarkeit. (siehe Themenblatt E „Risikoabschätzung“).

⁴ Für brennbare Materialien und UFP-Stäube sind auch die Brand- und Explosionseigenschaften zu berücksichtigen.

Themenblatt B: Nanomaterialien & Vorsorgeprinzip

Das Vorsorgeprinzip bezweckt als national und international anerkannter Grundsatz, potenzielle Schäden von vornherein zu vermeiden, auch wenn deren Art, Ausmaß oder Eintrittswahrscheinlichkeit ungewiss sind.

Das Vorsorgeprinzip ist in der Praxis vor allem dann einzusetzen, wenn Gefahren für die Umwelt, die Gesundheit von Menschen usw. vermutet werden, die nicht akzeptabel sind bzw. mit einem hohen Schutzniveau unvereinbar sein können. Für seine Anwendung müssen wenigstens erste wissenschaftliche Hinweise auf mögliche ernste bzw. irreversible Schäden oder eine wissenschaftlich plausible Risikohypothese vorliegen.

Die Kenntnisse über gesundheitliche Auswirkungen von Nanomaterialien reichen nur selten aus, um sichere Aussagen zu treffen, vor allem über langfristige Wirkungen bei geringer, aber anhaltender bzw. häufiger Exposition. Nach dem derzeitigem Stand des Wissens können ernsthafte Gesundheitsschäden durch bestimmte Nanomaterialien nicht ausgeschlossen werden: Daher sollten diese wie (sehr) gesundheitsgefährdende Stoffe betrachtet werden, wenn es keine wissenschaftlich gesicherten Erkenntnisse zu seinem Gefährdungspotenzial gibt. Viele Einrichtungen und Behörden, aber auch Unternehmen, folgen diesen Überlegungen und fordern für Nanoarbeiten explizit ein Vorsorgeprinzip⁵, darunter auch die Europäische Agentur für Sicherheit und Gesundheit am Arbeitsplatz (Brun, 2010):

- Die deutsche NanoKommission (2008) formulierte auf dieser Basis fünf Prinzipien für den verantwortungsvollen Umgang mit Nanomaterialien.
- Der niederländische Sozial- und Wirtschaftsausschuss befasste sich ausführlich mit der Anwendung des Vorsorgeprinzips in Zusammenhang mit Nanotechnologien, wobei dieses solange notwendig sei, bis genügend Wissen und Daten über Nanorisiken vorliegen (SER, 2009).
- Das internationale Normeninstitut empfiehlt, Nanomaterialien aufgrund fehlender arbeitsplatzbezogener Expositionsstandards bei der Herstellung, Verarbeitung, Umgang, Lagerung und Entsorgung als gefährlich zu behandeln, bis neue Daten das Gegenteil nahelegen (ISO, 2008a).
- Auch im Europäischen Parlament wurde gefordert, dass sich der Umgang mit Nanomaterialien am Vorsorgeprinzip orientieren muss, solange für sie wesentliche Wissens- und Informationslücken in Bezug auf Wirkungen und Expositionsdaten bestehen (European Parliament, April 2009).

Im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung müssen Arbeitgeber prüfen, ob es sich bei den betreffenden Arbeitsstoffen um gefährliche handelt. Dies kann nicht allein auf der Gefahrenkennzeichnung nach Chemikalienrecht geschehen: Aufgrund legislatischer Schwachstellen und großer Datenlücken werden derzeit nur wenige Nanomaterialien als gefährlich eingestuft. Arbeitgeber haben aber für alle Arbeitsstoffe potenzielle Gefahren einzuschätzen, die mit ihnen verknüpft sein könnten.

⁵ Siehe auch z. B. BSI (2007), SER (2009), SUVA (2009), Safe Work (2009), UIC (2009).

Umsetzung in die Praxis

Vorsorgendes Handeln ist allerdings leichter einzufordern, als unter Berücksichtigung der verschiedenen, oft widersprüchlichen gesellschaftlichen Zielebenen in der Praxis umzusetzen und konkret im Detail zu beschreiben.

Als Erstes ist es zweckmäßig, die Aufmerksamkeit darauf zu richten, wo die größten Risiken zu erwarten sind, wo beständige Nanomaterialien unmittelbar mit Lebewesen oder Umweltmedien in Kontakt treten, auf Menschen einwirken oder direkt in die Umwelt gelangen können. Beispielsweise erlaubt die Priorisierung bestimmter Nanomaterialien (freie unlösliche bzw. schwer lösliche Nanoteilchen, Fullerene, Kohlenstoff-Röhrchen, usw.) und Aufnahmewege (Atemsystem, Haut), sich auf vordringliche Bereiche in der Arbeitsumwelt zu konzentrieren. Dies kann natürlich nicht bedeuten, im weiteren auf eine umfassende und vollständige Gefährdungsbeurteilung zu verzichten.

Das Vorsorgeprinzip zu realisieren bedeutet, es in die Unternehmenspolitik umzusetzen und letztlich sich zu verpflichten, die Exposition gegenüber Nanomaterialien zu vermeiden, solange keine gesicherten Erkenntnisse über ihre Ungefährlichkeit vorliegen. Wenn eine Vermeidung nicht möglich ist, sind möglichst weitreichende (technische, organisatorische usw.) Schutzmaßnahmen zu ergreifen.⁶

⁶ Für Details siehe Themenblatt F „Schutzmaßnahmen“.

Themenblatt C: Information über Nanomaterialien in der Lieferkette

Der Austausch von Nano-Informationen in der Lieferkette über Angaben auf dem Etikett, sowie in Sicherheitsdatenblättern, Technischen Merkblättern usw. ist mangelhaft. Dabei ist ein genaues Wissen z. B. über die erforderlichen Schutzmaßnahmen unbedingt erforderlich, um einen verantwortungsvollen Umgang mit Nanotechnologien und Nanomaterialien sicherzustellen.

Sicherheitsdatenblätter

Sicherheitsdatenblätter sind insbesondere für Klein- und Mittelbetriebe das wichtigste Instrument zur Risikokommunikation innerhalb der Lieferkette. Seit Langem ist jedoch das Problem ihrer mangelhaften Rezeption seitens der AnwenderInnen vor allem in kleineren Unternehmen bekannt. Viele solcher Unternehmen kümmern sich nicht in ausreichendem Maße um Nano-Informationen.

Allerdings sind potenzielle Risiken für nachgeschaltete Anwender nur schwer zu erkennen, weil sie in der Regel gar keine oder nur ungenügende nano-spezifische Auskünfte über das Vorhandensein von Nanopartikeln und potenzielle Gefahren zum Produkt erhalten. Weder Benennungen wie „Nano“ noch Hinweise wie "Nanotechnologie" in den Produktunterlagen sind ein hundertprozentiges Anzeichen für die Existenz von Nanopartikeln, die aber auch nicht sicher auszuschließen ist, wenn solche Aussagen fehlen. So findet sich im Sicherheitsdatenblatt gemeinhin der Satz: „Dieser Stoff hat keine gefährlichen Eigenschaften.“ Übliche Quellen versagen für viele Nanomaterialien, weil derzeit Kenntnisse über potenzielle Gesundheitswirkungen noch sehr lückenhaft sind und Grenzwerte nicht festgelegt wurden.

Nachgeschaltete Anwender fühlen sich deshalb bisher zu Recht von Herstellern bzw. Lieferanten überwiegend nicht ausreichend informiert

In den Fallstudien einer österreichischen Erhebung erwies sich die Risikokommunikation zu Nanomaterialien innerhalb der Lieferkette nur in wenigen Fällen als befriedigend. In der Regel waren in den Sicherheitsdatenblättern nicht einmal grundlegende Angaben über die Nanomaterialien enthalten, schon gar nicht Auskünfte über nano-spezifische Gefahren oder notwendige Maßnahmen (Kittel et al., 2009).

Eine vergleichbare Situation in Bezug auf Sicherheitsdatenblätter zeigte sich in praktisch allen in diesem Zusammenhang analysierten internationalen Untersuchungen und Veröffentlichungen⁷:

- Sie sind vielfach fehlerhaft oder besitzen große Lücken;
- Sie weisen meistens keine Nano-Basisdaten wie Partikelgröße und -verteilung, relative Oberfläche, Agglomerationsverhalten usw. auf;
- Sie beruhen häufig auf der makroskopischen Form der Materialien;
- Die toxikologische Information über Nanomaterialien ist minimal;
- Wenn überhaupt vorhanden, sind Empfehlungen oft stark auf große Produktionen und Unternehmen ausgerichtet.

Daher sind Sicherheitsdatenblätter derzeit nur selten nicht brauchbar, um die

- mit der Anwendung eines Nanomaterials verbundenen potenziellen Gefährdungen beurteilen,
- ein sicheres Nano-Risikomanagement durchführen, und
- die MitarbeiterInnen ausreichend unterweisen und informieren zu können.

Meili (2010) beschreibt eine „Nano-Informationspyramide“, um das Datenproblem für Nanomaterialien zu lösen. Darin sollten Sicherheitsdatenblätter eine Anwendungsspezifische Information der nano-skaligen Eigenschaften der gelieferten Produkte liefern. Zu diesem Zweck sind sie jedoch entsprechend anzupassen.

Sicherheitsdatenblätter für Nanomaterialien müssen relevante Parameter standardmäßig enthalten, zumindest physikalisch-chemische Basisdaten und toxikologische Daten, soweit bekannt. Auf wesentliche Lücken in der Gefahrenbeschreibung sollte hingewiesen werden.

Optimal wäre die freiwillige Lieferung von Sicherheitsdatenblättern mit speziellen Empfehlungen zu Risikomanagementmaßnahmen für expositionsrelevante Schritte in Handhabung und Lagerung (HA, 2009b).

Vom VCI wurden für Nanomaterialien bereits vor längerer Zeit ein Leitfaden zur abgestuften Sammlung von Informationen zur Gefährdungsbeurteilung (VCI, 2008a), sowie Empfehlungen zu den Angaben im Sicherheitsdatenblatt samt Checkliste formuliert (VCI, 2008b; Schäfer, 2008).

Auch die Organization of Standardization arbeitet an der Entwicklung eines Sicherheitsdatenblattes für Nanomaterialien (ISO, 2009b).

⁷ Vgl z. B. BSI (2007), SUVA (2009), UIC (2009), Hallock et al. (2009), Baron (2009), Safe Work (2009), HA (2009b).

Künftig sind für chemische Stoffe und Gemische nach und nach im Rahmen der REACH-Verordnung erweiterte Sicherheitsdatenblätter (eSDB) zu liefern, die in einem Anhang Expositionsszenarien und zugehörige Risikomanagementmaßnahmen beschreiben und so eine wesentlich umfassendere Hilfestellung bieten. Allerdings gilt dies nur bei einer Einstufung als „gefährlich“. Unabhängig von Mengenschwellen können daher viele Nanomaterialien aus dieser Verpflichtung fallen, beispielsweise solche, die biobeständig sind, aber weder besondere toxische Eigenschaften noch faserförmige Strukturen aufweisen.

Vertreter der Deutschen Chemischen Industrie haben andererseits versichert, freiwillig ein Sicherheitsdatenblatt auch für Stoffe zu liefern, für die es nicht vorgeschrieben ist. „Normale“ Sicherheitsdatenblätter bieten jedoch nicht so umfangreiche Informationen (Expositionsszenarien etc.) wie erweiterte.

Gerade für Klein- und Mittelbetriebe ist es aufgrund der Ressourcen meist nicht einfach, selbständig Daten zu Nanomaterialien recherchieren.

Wurde kein Sicherheitsdatenblatt geliefert wurde, ist anzuraten, die Lieferanten / Hersteller zu ersuchen eines zu liefern, auch wenn sie dazu nicht verpflichtet sind.

Weiters sollten die Anwender von Nanomaterialien im Sicherheitsdatenblatt und in den sonstigen Produktmitteilungen prüfen, in welchem Ausmaß die Nano-Skaligkeit berücksichtigt ist.

Sind die entsprechenden Auskünfte nicht befriedigend, sollten die notwendigen Informationen von den Lieferanten / Herstellern eingefordert werden!

Themenblatt D: Messung von Nanomaterialien und Prüfung von Schutzmaßnahmen

Rahmenbedingungen

Mit verschiedenen Messverfahren können beispielsweise die Massenkonzentration, die Konzentration der Partikelanzahl⁸ oder die Größenverteilung der Nanopartikel ermittelt werden. Ein Problem besteht jedoch in der fehlenden Standardisierung dieser Verfahren. Um Messergebnisse überhaupt miteinander vergleichen zu können, ist wenigstens auch die benutzte Methodik anzuführen.

Außerdem muss die chemische Zusammensetzung der gemessenen Teilchen durch zusätzliche, sehr aufwändige Messungen mit Elektronenmikroskopie und Röntgen-Fluoreszenz-Analyse oder Elektronenstreuung bestimmt werden, die für Routine-Messungen vor allem bei Klein- und Mittelbetrieben nicht in Frage kommen. Nur dann kann aber zwischen den eigentlich interessierenden Nanopartikeln und ultrafeinen Staubpartikeln aus der Hintergrundbelastung z. B. durch Schweißbrauche differenziert werden.

Verwertbare Messungen an den Arbeitsplätzen sind möglich, wenn sie mit demselben Verfahren bzw. demselben Gerätetyp durchgeführt werden.⁹ Sie können sinnvoll eingesetzt werden, um Emissionsquellen festzustellen, eine grobe Quantifizierung vorzunehmen oder die Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen zu beurteilen.

Vor der Messung muss die Exposition charakterisiert werden. Potenzielle Expositionsquellen, Einflussfaktoren für Exposition und für Expositionsmessungen, sowie die Messparameter zur Expositionsprüfung sind zu ermitteln. Zusätzlich werden alle eventuell bereits im Betrieb vorhandenen relevanten Messdaten gesammelt.

Prüfung der Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen

Bisher vorliegende Studien und Erfahrungen weisen darauf hin, dass die gegen Stäube getroffenen Schutzmaßnahmen¹⁰ grundsätzlich auch gegenüber ultrafeinen Partikeln und Nanomaterialien wirksam sind. Es ist aber sinnvoll, in Kontrollmessungen die Effektivität von Maßnahmen gegen luftgetragene Exposition zu überprüfen, um Fehler und Schwachstellen zu ermitteln, die zu einem ernsthaften gesundheitlichen Problem führen könnten.

⁸ In der Messtechnik wird der Begriff „Partikel“ nicht nur für singuläre Teilchen, sondern auch für Agglomerate und Aggregate verwendet.

⁹ Für Informationen zu betrieblichen Messungen siehe: Leitfaden von BAuA/VCI (2008), IFA-Website www.dguv.de/ifa/de/fac/nanopartikel/index.jsp, Engel (2007; BASF), BSI (2007), Tardif et al. (2008), Ostiguy et al. (2009), UIC (2009) oder OECD (2009c, 2009d).

¹⁰ Vgl. IFA-Website www.dguv.de/ifa/de/fac/nanopartikel/schutzmassnahmen/index.jsp

In der Literatur werden zwei Arten beschrieben, Messergebnisse für Expositionen zu bewerten.

- Beim **relativen Vergleich** werden die Messergebnisse miteinander verglichen:
 - > vor und nach Verwendung von Schutzmaßnahmen – mit Schutzmaßnahmen sollte sich eine deutliche Verminderung der Belastung ergeben;
 - > ohne und mit einer bestimmten Nano-Tätigkeit – beim Vergleich mit der Hintergrundbelastung sollte keine zusätzliche Belastung auftreten.
- Ein **absoluter Vergleich** ist derzeit nur schwierig möglich, weil es noch keine nanospezifischen Grenzwerte oder andere Benchmarks als Maßstab gibt (siehe unten). Auch der Allgemeine Staubgrenzwert kann dafür nicht benutzt werden.

Bis zur Festlegung von Grenzwerten sollte die Exposition der ArbeitnehmerInnen die unbelastete Umgebungsluft nicht überschreiten. In einer typisch industriellen Arbeitsumgebung ist eine Belastung von 20.000 Partikel/cm³ oder mehr zugrunde zu legen. Mit zunehmender Größe und Dichte der Partikel wird eine bestimmte Massenkonzentration mit einer immer kleineren Teilchenzahl erreicht. Demnach führt der Vergleich mit der Hintergrundbelastung bei „schweren“ (z. B. Silber oder Gold) und „großen“ Nanopartikel (Durchmesser 100 nm und mehr) zu einem schlechteren Schutzniveau als ein absoluter Vergleich mit geeigneten Benchmarks. Für „leichte“ und „kleine“ Nanopartikel ist dies dagegen genau umgekehrt.

Grenzwerte für Nanomaterialien

Zur Zeit lässt sich aus arbeitsmedizinisch-toxikologischer Sicht kein Grenzwert für Nanomaterialien begründen, auch die Wahl der Metrik (Maßangaben) steht noch nicht fest. Die Aussagekraft der Massenkonzentration (in mg/m³) als Konzentrationsangabe für Nanomaterialien ist zweifelhaft, die alternative Beschreibung von Teilchenzahlkonzentration oder Oberflächenkonzentration wird diskutiert. Größe und Dichte der Nanopartikel sind aber jedenfalls bei der Erarbeitung von Beurteilungswerten auch zu berücksichtigen.

Verschiedene pragmatische Beurteilungswerte wurden in der Zwischenzeit empfohlen. Die britische Normeneinrichtung **BSI** (2007b) erstellte beispielsweise Richtwerte für vier Kategorien von Nanomaterialien, z. B. für "unlösliche / schwer lösliche" Nanomaterialien das 0,066-fache des Grenzwertes für das Bulk-Material. Dies beruht auf dem, vom US Arbeitsschutzinstitut **NIOSH** (2005) für ultrafeines Titandioxid vorgeschlagenen Wert von 0,1 mg/m³, der 15-mal niedriger ist als der für die Grobform. Die „Working party on Manufactured Nanomaterials“ der **OECD** hat sich auf eine Liste vorrangig zu bearbeitender Nanomaterialien geeinigt (OECD, 2008).

Das **IFA** macht ebenfalls Vorschläge zu Beurteilungswerten, die mit Routinemessungen überprüfbar sein sollten, wobei es derzeit noch große Defizite in der Methodik gibt.¹¹ Das IFA weist darauf hin, dass die Benchmarks auf die Minimierung der Exposition nach dem Stand der Technik zielen und nicht gesundheitsbasiert sind, sodass auch bei ihrer Einhaltung für die ArbeitnehmerInnen ein gesundheitliches Risiko bestehen kann.

- Metalle, Metalloxide und andere biobeständige granuläre Nanomaterialien mit einer Dichte über 6.000 kg/m³: maximale Teilchenzahlkonzentration von 20.000 Partikel/cm³ im Messbereich von 1 bis 100 nm;
- Biobeständige granuläre Nanomaterialien mit einer Dichte unter 6.000 kg/m³: maximale Teilchenzahlkonzentration von 40.000 Partikel/cm³ im Messbereich von 1 bis 100 nm;
- Biobeständige Kohlenstoff-Nanoröhrchen mit Dimensionen wie die Fasern nach WHO¹²: vorläufige Faserkonzentration von 10.000 Fasern/m³ (Schichtmittelwert);
- Ultrafeine flüssige Partikel (z. B. Fette, Kohlenwasserstoffe, Siloxane): Anwendung der Grenzwerte für Bulk-Material.

Bei einer anderen, ebenfalls pragmatischen Gruppierung der Nanomaterialien (**Roller, 2010**), werden folgende Beurteilungswerte empfohlen:

- Biobeständige Nanomaterialien ohne spezifische toxische Eigenschaften und ohne faserförmige Strukturen: Die Luftkonzentration sollte generell einen Schichtmittelwert von 0,1 mg/m³ nicht überschreiten.
- Biobeständige Nanomaterialien ohne spezifische toxische Eigenschaften und ohne faserförmige Strukturen: Die Mindestanforderung sind die Grenzwerte für die Bulkform (Grobform) des jeweiligen Stoffes. Bei schwer löslichen Nanomaterialien ist unbedingt der vorher genannte Schichtmittelwert von 0,1 mg/m³ einzuhalten, auch wenn der stoffspezifische Grenzwert höher ist.
- Biobeständige faserförmige Nanomaterialien: Wenn nicht durch Untersuchungen anderes nachgewiesen wurde, muss aus Vorsorgegründen von einer Asbest-ähnlichen Wirkung ausgegangen werden und ein Schichtmittelwert von 10.000 Fasern/m³ ist einzuhalten. Für einzelne, nicht-agglomerierte Fasern von Kohlenstoff-Nanoröhrchen ist eine so geringe Luftkonzentration derzeit jedoch messtechnisch Zeit noch nicht nachweisbar.

Es besteht ein beträchtlicher genereller und methodischer Diskussionsbedarf. So wird eine Einteilung von Nanomaterialien in spezifische Risikokategorien nach derzeitigem Wissensstand als noch nicht möglich bezeichnet (SCENIHR, 2009). Auch können Nanomaterialien, deren Oberflächen beschichtet oder chemisch verändert wurden, ein gänzlich anderes toxisches Potenzial besitzen als dieselben unbeschichteten Materialien!

¹¹ Siehe IFA-Website www.dguv.de/ifa/de/fac/nanopartikel/beurteilungsmassstaebe/index.jsp, die eine gute Übersicht und eine Diskussion zum Thema enthält.

¹² Lt. WHO entsprechen folgende Faser-Abmessungen in ihrer krebserzeugenden Wirkung dem Asbest: Länge über 5 µm, Durchmesser über 3 µm, Verhältnis von Länge zu Durchmesser über 3:1

Themenblatt E: Risikoabschätzung für Nanomaterialien

(Potenziell) gefährliche Situationen, denen im ArbeitnehmerInnenschutz eine besondere Aufmerksamkeit zu widmen ist, können generell auftreten, wenn Nanomaterialien nicht in geschlossenen Systemen gehandhabt werden und Expositionen von ArbeitnehmerInnen möglich sind¹³. Dies gilt weniger für die Herstellung von Nanopartikeln im Engeren als vor allem für spezielle Tätigkeiten wie Füllen und Entleeren, Probenahme, Instandhaltung und Reinigung usw. Zu beachten sind auch Arbeitsplätze in Forschung und Entwicklung, besonders in kleineren Unternehmen, wenn die Schutzstandards „locker“ gehandhabt werden.

Problematisch kann außerdem die Weiterverarbeitung in Klein- und Mittelbetrieben sein, wo es in der Regel sehr unterschiedliche Schutzniveaus gibt und halboffene bzw. offene Systeme überwiegen dürften. In einer österreichischen Studie zeigte sich, dass in keiner der untersuchten Fallstudien ein explizites nano-spezifisches Risikomanagement festzustellen war, sondern sich die eingesetzten Schutzmaßnahmen meist eher an den konventionellen Vorgangsweisen für die Bulk-Form bzw. an vorhandenen nicht nano-skaligen Arbeitsstoffen, die als gefährlich eingestuft waren, orientierten (Kittel et al., 2009). Nach einer aktuellen Untersuchung besitzen auch die Unternehmen in der Schweiz noch viel Spielraum zur Verbesserung ihrer Nano-Schutzstrategien und haben bisher nur in geringem Ausmaß technische und organisatorische Maßnahmen angewendet (Riediker et al., 2010).

Außerdem hängt es natürlich davon ab, womit und wie gearbeitet wird:

- Bei der Arbeit besitzt die inhalative Aufnahme die größte Bedeutung. Der Stellenwert dermalen Aufnahme dürfte in der Regel wesentlich geringer sein; Hautkontakt mit Nanomaterialien sollte dennoch möglichst vermieden werden, solange die diesbezüglichen gesundheitlichen Auswirkungen noch nicht vollständig untersucht sind.
- Die Handhabung von Pulvern und die Sprühanwendung von Flüssigkeiten, die Nanopartikel enthalten, ist generell mit einem sehr hohen Gefährdungspotenzial verbunden. Bei Nanomaterialien sind daher Anwendungen in trockener, staubender Form sowie in Aerosolform zu vermeiden.
- Bei vielen pulverförmigen Materialien besteht die Gefahr der Selbstentzündung oder einer Explosion in normaler Umgebungsluft; bei unsachgemäßer Handhabung kann es zu einer elektrostatischen Aufladung kommen.
- Nanomaterialien, die in einer festen Matrix stabil gebunden sind, weisen vermutlich keine nanospezifischen Risikopotenziale auf.
- Im Produktionsprozess dürfte das Gefährdungspotenzial für wässrige Suspensionen wesentlich geringer sein als für Aerosole freier Partikel. Eine Risikobewertung für Nanomaterialien in wässrigen Medien liegt jedoch noch nicht vor.

¹³ Auf Aspekte wie Wiederaufarbeitung oder Recycling von Produkten und Produktkomponenten, die Nanomaterialien enthalten, kann im Rahmen dieses Leitfadens nicht eingegangen werden.

- Beschichtete Nanomaterialien können ein völlig anderes Risikopotenzial besitzen als dieselben unbeschichteten Materialien. Falls Expositionsmöglichkeiten bestehen, sind sie deshalb besonders zu beachten, weil konventionelle Schutzmaßnahmen vermutlich nicht ausreichen werden.
- Kritisch ist auch die mechanische oder thermische Bearbeitung von Produkten, die Nanomaterialien enthalten, wenn diese dabei freigesetzt werden können (z. B. bei Schleifarbeiten, spanender Bearbeitung, Laserbearbeitung oder Reparaturarbeiten).
- Nanoröhrchen, die in ihren Abmessungen der WHO-Faser entsprechen, sollten wie krebserzeugende Arbeitsstoffe behandelt werden, wenn nicht vom Hersteller / Lieferant das Gegenteil nachgewiesen wird und über die erforderlichen Risikomanagementmaßnahmen informiert wurde.
- Einer genauen Bewertung sind weiters spezielle Nanomaterialien wie Fullerene zu unterziehen.

Für die jetzige Generation von Nanomaterialien müssten herkömmliche Vorgehensweisen im Risikomanagement ausreichen, vorausgesetzt es sind plausible Wirkungsmodelle entwickelt worden und genügend Daten über die verwendeten Nanomaterialien vorhanden.

Keine einfachen Antworten

Das Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks der Europäischen Kommission (SCENIHR, 2009) merkt an, dass Verfahren zur Beurteilung potenzieller Risiken von Nanomaterialien immer noch in Entwicklung sind und es noch nicht genügend Studien gibt, um einen detaillierten Rahmen für die Risikoabschätzung von Nanomaterialien festzulegen, der ja Expositions- und Gefahrendaten über eine breite Palette von Produkten erfordert. SCENIHR (2010) erwartet, dass es mit wachsenden wissenschaftlichen Kenntnissen möglich wird, Nanomaterialien aufgrund von Stoffparametern in spezifischen Risikokategorien zu gruppieren, die Gegenstand spezieller Risikoabschätzungen werden könnten. Mit dem derzeitigen Datenstand könnten jedoch in der Regel keine Analogieschlüsse von einem zum andern Nanomaterial gezogen werden und eine solche Kategorisierung sei evidenzbasiert nicht möglich. Ein case-by-case-Ansatz wird daher ausdrücklich empfohlen.

Auch nach NIOSH (2009b) ist es daher unklar, ob qualitative Methoden der Gefährdungsbeurteilung überhaupt fundiert anwendbar sind. Andererseits übersteigt aber ein Vorgehen nach Einzelfällen die vorhandenen Ressourcen in den Unternehmen.

Und die großen Unsicherheiten bzw. Datenlücken in Bezug auf Toxizität von Nanopartikeln sowie das fast völlige Fehlen von Expositionsdaten machen eine umfassende quantitative Risikoabschätzung derzeit fast unmöglich und sie ist nur in wenigen Fällen wie Titandioxid durchführbar (Ostiguy et al., 2009).

SCENIHR (2009) zählt jedoch einige Eigenschaften auf, die sich dafür eignen zu ermitteln, welche experimentellen Studien in Betracht zu ziehen sind:

- Bei einer potenziellen Exposition gegenüber Fasern, Stäbchen und Röhrchen ist auf asbest-ähnliche Eigenschaften zu prüfen, wenn sie schwer abbaubar (persistent) und steif sind sowie ein großes Seitenverhältnis besitzen (z. B. Mikrometer in Länge und Nanometer im Durchmesser).
- Die Erzeugung von Nanopartikeln und Nanofasern mit reaktiven Oberflächen könnte feinstaub-ähnliche Wirkungen hervorrufen.
- Für Nanomaterialien vergleichbarer Abmessungen und Oberflächeneigenschaften könnten trotz kleiner Datenbasis relevante Eigenschaften hervorgehoben werden, die eine spezielle Prüfung erfordern.
- Die (öko)toxikologischen Eigenschaften des Bulk-Materials müssen bei erheblicher potenzieller Exposition berücksichtigt werden, außer es gibt klare Beweise, dass es nicht in biologische Systeme freigesetzt wird.

Derzeit kann die Frage, ob bzw. welche Nanomaterialien "gefährlich" sind, nicht einfach beantwortet werden. Es lassen sich aber einige spezifische Anhaltspunkte für den ArbeitnehmerInnenschutz aus den individuellen Materialeigenschaften ableiten. Damit ist wenigstens eine erste grobe Differenzierung des Gefährdungspotenzials möglich, und daraus abgeleitet auch eine grobe Abstufung des erforderlichen Schutzniveaus.

Solange die Kenntnisse über Nanomaterialien gering sind, empfiehlt sich daher trotz aller Bedenken ein pragmatisches Vorgehen mittels qualitativer Methoden der Risikoabschätzung, die auf Gruppierungen bzw. auch auf Hinweisen, wie sie zu Beginn aufgelistet wurden, beruhen (siehe weiter unten). Allerdings muss man sich immer die vorher angeführten Einschränkungen in Bezug auf die fehlende wissenschaftliche Basis vor Augen führen und sollte einen Sicherheitsspielraum berücksichtigen, der von einem höheren potenziellen Risiko ausgeht. Denn die plausiblen und praktikablen qualitativen Vorgangsweisen, wie sie z. B. im deutschen EMKG-Konzept zur Vereinfachung der Gefährdungsbeurteilung für Klein- und Mittelbetriebe für „normale“ chemische Arbeitsstoffe empfohlen werden, besitzen im Vergleich zur Situation bei den Nanomaterialien eine Datenbasis, wissenschaftliche Fundierung, Festlegung der Anwendbarkeit sowie Möglichkeit, die Wirksamkeit der Maßnahmen zu prüfen, die ungleich solider ist.

Mit solchen qualitativen Methoden soll jedoch die prinzipielle Gültigkeit des Prinzips "No data – no market" nicht aufgehoben werden. Die Bewältigung des unzureichenden Wissensstandes kann nicht auf die Anwenderbetriebe abgeschoben werden, von denen die meisten kleineren wahrscheinlich überfordert wären. Auch wenn derzeit ein Stoff nicht als gefährlicher Stoff einzustufen ist, sind die Hersteller von Nanomaterialien in die Pflicht zu nehmen, die stoffseitigen Gefahren zu charakterisieren, bedeutsame Datenlücken aufzuzeigen und Empfehlungen für eine sichere Verwendung in Befolgung des Vorsorgeprinzips zu geben (Risikomanagementmaßnahmen). Für die Praxis der Gefährdungsbeurteilung von Anwenderbetrieben heißt dies, bei einer für eine Risiko-beurteilung unzureichenden Datenlage z. B. in den Sicherheitsdatenblättern zuerst einmal bei den Herstellern nachzufragen und sich bestätigen zu lassen, dass ein Nanomaterial nicht gefährlich ist bzw. unter bestimmten Bedingungen sicher bearbeitet werden kann. Wenn auch der Hersteller keine näheren Angaben über das Gefährdungspotenzial machen kann, muss ein maximales Schutzniveau angestrebt werden.

Es gibt viele Hinweise, Empfehlungen und Leitfäden, wie eine Risikoabschätzung für Nanomaterialien durchzuführen ist, z. B. welche physikalisch-chemischen und toxikologischen Eigenschaften sowie weitere Parameter dafür relevant sind¹⁴. Ihre Präzisierung, Verbindlichkeit und Zielsetzung ist unterschiedlich, die meisten sind sehr allgemein gehalten und nicht unmittelbar praktisch. Zu beachten ist auch, dass die meisten bisher veröffentlichten Leitfäden vor allem auf die Vermeidung einer inhalativen Exposition ausgerichtet sind.

Im Folgenden werden einige ausgewählte qualitative Vorgehensweisen vorgestellt.

Erste Abschätzung des Handlungsbedarfs

Von der **Deutschen NanoKommission** wurde für Nanomaterialien eine vorläufige Einteilung in drei Risikoklassen mit jeweiligen Konsequenzen für Maßnahmen vorgeschlagen (BMU, 2008):

- Gruppe 1: Gefährdung wahrscheinlich - Besorgnis hoch
Kriterien: Exposition gegeben, hohe Mobilität, Reaktivität, Persistenz oder Toxizität der Materialien
Handlungsbedarf: Maßnahmenkonzept zur Minimierung der Exposition oder Verzicht auf bestimmte Anwendungen erforderlich
- Gruppe 2: Gefährdung möglich - Besorgnis mittel
Kriterien: Exposition nicht auszuschließen, unbekanntes Agglomerations- bzw. Deagglomerationsverhalten, zu wenig Informationen zur Löslichkeit und biologischen Abbaubarkeit, Möglichkeit der Freisetzung von Nanopartikeln aus einer Matrix nicht geklärt
Handlungsbedarf: Maßnahmenkonzept zur Verminderung der Exposition von Mensch und Umwelt erforderlich
- Gruppe 3: Gefährdung unwahrscheinlich - Besorgnis gering
Kriterien: Exposition weitgehend ausgeschlossen, Materialien löslich oder biologisch abbaubar, Materialien gebunden in einer Matrix, Bildung stabiler Aggregate oder Agglomerate
Handlungsbedarf: Keine über die "gute Arbeitsschutzpraxis" (oder Hygienepaxis) hinausgehenden Maßnahmen erforderlich

¹⁴ Vgl. auch Themenblatt A.

Dieser Vorschlag konzentriert sich auf die Stoffeigenschaften. **Schneider** (2010) berücksichtigt in seinem Vorschlag für ein erweitertes Konzept zur Gefährdungseinstufung von Nanomaterialien die (potenzielle) Expositionssituation und geht von 3 stoffbezogenen Gruppen (Eigenschaften) und 3 Gruppen für Arbeitsbedingungen aus, die allerdings auch die unbeabsichtigte Verwendung einbezieht.

- Partikelgruppe 1: Mobilität und Reaktivität hoch, Toxizität hoch, Staubungsverhalten hoch, Persistenz hoch; mittlere Partikelgröße < 50 nm; oder: Gesundheitsschäden wahrscheinlich / sicher belegt
- Partikelgruppe 2: Eigenschaften weitgehend unbekannt, klare Einordnung nicht möglich; oder: Hinweise auf Gesundheitsschäden vorhanden, aber nicht sicher bzw. nur mit Tierversuchen / Zellkulturen belegt
- Partikelgruppe 3: Löslich, biologisch abbaubar, Aggregate stabil, Staubungsverhalten gering, mittlere Partikelgröße > 50 nm; oder: keine Hinweise auf Gesundheitsschäden bzw. nur bei sehr hohen Konzentrationen, z. B. > 10⁷ Partikel/cm³
- Arbeitsbedingungen Gruppe 1: Unbeabsichtigte Verwendung oder Freisetzung von Nanopartikeln bei nicht auf Nanopartikeln ausgerichteten Tätigkeiten; Exposition unbekannt und nicht durch Vergleiche erschließbar, Gefahrenwahrnehmung der Mitarbeiter unwahrscheinlich bzw. nicht vorhanden
- Arbeitsbedingungen Gruppe 2: Unbeabsichtigte Verwendung/Freisetzung von Nanopartikeln bei nicht auf Nanopartikel ausgerichteten Tätigkeiten; Exposition nicht bekannt, aber aus Vergleich mit ähnlichen Tätigkeiten abschätzbar, Gefahrenwahrnehmung der Mitarbeiter nicht sicher vorhanden
- Arbeitsbedingungen Gruppe 3: Gewollte Verwendung, Prozessbedingungen definiert und gut bekannt, Exposition bekannt (z. B. durch Messungen), Größenspektrum bekannt, Nano-Qualifikation der Mitarbeiter hoch

Daraus ergeben sich, einem Vorsorgeprinzip folgend, 3 Klassen an "Besorgnis" (Handlungsbedarf):

	Partikelgruppe 3	Partikelgruppe 2	Partikelgruppe 1
Arbeitsbedingungen Gruppe 3	Niedrig	Mittel (wenn alle Bedingungen oben erfüllt sind)	Hoch
Arbeitsbedingungen Gruppe 2	Niedrig	Hoch (oder "Mittel" bei Erfahrungen aus gleichen Tätigkeitsbereichen)	Hoch
Arbeitsbedingungen Gruppe 1	Mittel	Hoch	Hoch

Im Vergleich zu diesem Konzept ist der **Schweizer Vorsorgeraster** (BAG/BAFU, 2010) sehr genau operationalisiert. Er zielt auf Klein- und Mittelbetriebe und ist keine Risiko-bewertung, sondern soll erste Hinweise auf das potenzielle Auftreten von nanospezifischen Risiken in Produktion und Anwendung liefern. Für die Bereiche Arbeit, Konsum und Umwelt wird gezeigt, ob diesbezüglich ein vorsorgender Handlungsbedarf besteht. Es wird jeweils der Normalbetrieb und ein „Worst case“-Szenario berücksichtigt.

Unschärfen des Systems wie z. B. Verunreinigungen oder eine ungenau bestimmte Größenverteilung der Nanomaterialien, sowie Unsicherheiten, die aus mangelnder Kenntnis der Vorgeschichte oder des weiteren Lebenswegs der Nanomaterialien resultieren, werden berücksichtigt.

Beispielhaft sind für Mensch bzw. Arbeit folgende Parameter ausschlaggebend¹⁵:

- Informationsstand:
Herkunft der Nanomaterialien;
Datenbasis;
Nächste Verwender;
Materialsystem, Störfaktoren.
- Wirkungspotenzial der Nanomaterialien:
Redoxaktivität und/oder katalytische Aktivität;
Stabilität (Halbwertszeit) im Körper.
- Potenzielle Exposition des Menschen:
Physikalische Umgebung;
Maximal mögliche Exposition.

Control Banding

In einer Literaturanalyse wird vorgeschlagen, qualitative Ansätze wie Control Banding in Forschungs- und frühen Entwicklungsstadien anzuwenden, in der späteren Entwicklung und in der Produktion dagegen eine umfassendere Risikoabschätzung¹⁶ vorzunehmen (Safe Work, 2009).

Hallock et al. (2009) empfehlen Control Banding für verschiedene physikalische Kategorien von Nanomaterialien, z. B. hängt die Strenge von Schutzmaßnahmen mit steigender Kontrolle von folgenden Formen der Nanomaterialien ab:

- Feste Materialien mit eingebetteten Nanostrukturen;
- Feste Materialien mit an die Oberfläche gebundenen Nanostrukturen;
- Flüssige Suspensionen von Nanopartikeln;
- Freie Nanopartikel (trockene, verteilbare einzelne Teilchen oder Agglomerate).

¹⁵ Für eine eingehende Darstellung siehe Themenblatt P.

¹⁶ Siehe z. B. die GoodNanoGuide Expert Matrix bzw. das OHS Reference Manual, in:
<http://goodnanoguide.org/Advanced>

Der Ansatz des Control-Banding ("CB") schätzt das Gefährdungspotenzial aus stoffseitigen Gefahren und Expositionen vereinfacht ein, um Maßnahmenstrategien zu erhalten, die auch bei Datenlücken oder eingeschränkten Ressourcen die ArbeitnehmerInnen ausreichend schützen sollen.¹⁷

Hier stellt das CB Nanotool ein relativ ausgefeiltes Werkzeug dar, von dem es bereits die zweite Version gibt (Paik et al., 2008; Zalk et al., 2009). Die Risikoklasse ergibt sich aus einer Matrix von je 4 Gefahrenbändern (Schadensschwere¹⁸) und Expositionsbändern (Eintrittswahrscheinlichkeit¹⁸). Für jede der 4 Risikoklassen werden Maßnahmenbänder ("control bands") vorgeschlagen:

- Risikoklasse 1: Generelle Lüftungsmaßnahmen;
- Risikoklasse 2: Abzüge oder Absaugung vor Ort;
- Risikoklasse 3: Einkapselung;
- Risikoklasse 4: Fachexpertise einholen.

Entsprechend einem Vorsorgeprinzip werden 75% des maximalen Wertes eines Risikofaktors bei unbekanntem Risiko zugeteilt. Damit ist Einkapselung (Risikoklasse 3) die Standardmaßnahme, wenn alles "unbekannt" ist; und wenn auch nur Risikofaktor als "hoch" bewertet wird und alle anderen "unbekannt" sind, ergeben sich maximale Kontrolle und Expertenberatung als erforderlich (Risikoklasse 4) (Paik et al., 2008).

Wie auch SCENIHR (0901) feststellt, sind Oberflächenchemie bzw. -aktivität etc. wichtiger als Masse-/Volumskonzentrationen oder Eigenschaften des Bulkmaterials. Die Schadensschwere wird zu zwei Dritteln von Risikofaktoren der Nano-Form, zu einem Drittel von Risikofaktoren der Bulk-Form des Materials bestimmt. Bei der Nano-Form sind physikalische und chemische Parameter stark gewichtet (insbesondere Oberflächenchemie), weiters fließen toxikologische Eigenschaften ein:

- Oberflächenchemie; Reaktivität und Fähigkeit, freie Radikale zu erzeugen;
- Form;
- Durchmesser;
- Löslichkeit;
- Karzinogenität, Reproduktionstoxizität und Mutagenität;
- Dermale Toxizität;
- Asthmaverursachung.

Bei der Bulk-Form werden als Maß der Toxizität ein etwaiger Grenzwert und dieselben toxikologischen Eigenschaften als Parameter berücksichtigt.

Die Eintrittswahrscheinlichkeit bezieht vorhandene Schutzmaßnahmen mit ein. Unter den Parametern ist das Freisetzungsvermögen des Nanomaterials stark bestimmend:

- Geschätzte Verwendungsmenge an Nanomaterialien bei der Tätigkeit;
- Staubigkeit / Aerosolbildung der Nanomaterialien (Freisetzungsvermögen);
- Anzahl der ArbeitnehmerInnen mit vergleichbarer Nano-Exposition;
- Häufigkeit und Dauer der Nano-Tätigkeiten.

¹⁷ Für eine eingehende Darstellung siehe Themenblatt O.

¹⁸ Schadensschwere: niedrig, mittel, hoch, sehr hoch; Eintrittswahrscheinlichkeit: sehr unwahrscheinlich, wenig wahrscheinlich, wahrscheinlich, sehr wahrscheinlich.

Auf die prinzipiellen Zweifel an der Anwendbarkeit qualitativer Methoden wurde oben hingewiesen. Die Autoren weisen zudem selbst auf eine Reihe von Einschränkungen hin, obwohl das CB-Nanotool in Reviews sogar als Beste Praxis bezeichnet wurde (Ostiguy et al., 2009). Beispielsweise erfordert es eine Anpassung der Wertbereiche¹⁹ in Bezug auf die Situation im Produktionsbetrieb oder bei einer Veränderung des Wissensstandes über mögliche negative Wirkungen, und damit ExpertInnenwissen und -erfahrung, und ist nicht ohne Weiteres in der Praxis einsetzbar.

Verschiedene Aktivitäten laufen zur Anwendung von Control Banding auf Nanomaterialien, z. B.:

- Der niederländische Stoffenmanager www.stoffenmanager.nl, ein web-gestütztes Hilfsmittel zur Gefährdungsbeurteilung, soll in einer neuen Version auch ein CB-Nano-Modul enthalten.
- Das internationale Normeninstitut, ISO, kritisierte das CB-Nanotool und schlug einen anderen konzeptuellen Rahmen eines CB-Ansatzes für das Risikomanagement synthetischer Nanomaterialien vor (ISO, 2009a):
 - Gefahrenband: Die Zuordnung erfolgt in einem zweistufigen Vorgehen. Die toxikologischen Endpunkte des Bulkmaterials (über Grenzwerte und Risikohinweise bzw. Gefahrenhinweise) und des nano-skaligen Materials (physikalisch-chemische Eigenschaften und toxikologische Daten, soweit vorhanden) werden berücksichtigt.
 - Expositionsband: Die Bestimmung expositionsvermindernder Faktoren erfolgt über vier Hauptfaktoren, Staubigkeit, physikalische Form, eingesetzte Menge, Art des Prozesses / der Arbeit. Die vorhandenen Schutzmaßnahmen gehen nicht ein.
 - Maßnahmenband: Im Konzept werden vier Maßnahmenbänder empfohlen, die Schutzmaßnahmen und Gute Praxis festlegen
 1. Gute arbeitshygienische Praxis einsetzen;
 2. Lokale Absaugung einsetzen;
 3. Prozess einkapseln / gute Lüftungsmaßnahmen und Kapselung;
 4. völlig geschlossene Systeme / keine offene Handhabung.

Bei allen CB-Verfahren wird die Wirksamkeit der Maßnahmenstrategie durch Messung der verbleibenden Exposition überprüft. Sie sind also mit herkömmlichen Grenzwert- und Expositionsbegrenzungsmethoden zu ergänzen um z. B. zu überprüfen, ob die Schutzmaßnahmen wirken und richtig umgesetzt wurden.

¹⁹ Sie entsprechen denen, die bei Forschungstätigkeiten zu erwarten und nicht direkt produktionsbezogen sind.

Qualitatives Vorgehen nach Stoffkategorien

Als pragmatisches Vorgehen noch einfacher anzuwenden als Control Banding-Ansätze ist die Kategorisierung der Nanomaterialien nach bestimmten Eigenschaften in Risikogruppen, zu denen jeweils spezifische Maßnahmenempfehlungen gegeben werden. Es muss aber nochmals darauf hingewiesen werden, dass dies nur eine erste grobe Näherung darstellen kann. So kann unter Umständen eine Beschichtung oder chemische Veränderung der Oberflächen von Nanomaterialien mit anderen Verbindungen ihre Toxizität verändern.

Der **niederländische Sozial- und Wirtschaftsausschuss** schlägt 4 Kategorien von Nanomaterialien vor²⁰, die als pragmatische Richtschnur für expositionsmindernde Maßnahmen dienen (SER, 2009):

- Faserförmige (unlösliche) Nanomaterialien (länger als 15 µm);
- Bereits in Bulk-Form krebserzeugende / mutagene / atemwegssensibilisierende / reproduktionstoxische (= "CMAR") Nanomaterialien;
- Unlösliche / schwer lösliche Nanomaterialien, die nicht faserförmig oder CMAR sind;
- Lösliche Nanomaterialien, die nicht faserförmig oder CMAR sind.

Aktivitäten in trockenen Nanomaterialien ist mehr Aufmerksamkeit zu schenken und sie brauchen viel weitreichendere Schutzmaßnahmen als Nanomaterialien, die in feste oder flüssige Matrix eingebettet sind. Allgemein ist zu empfehlen, die Aufnahme von Nanomaterialien durch Inhalation und/oder Hautkontakt während der Arbeitsprozesse zu vermeiden. Daher sollten Nanomaterialien bevorzugt gehandhabt werden:

- in einer Matrix,
- in einer Flüssigkeit suspendiert, oder
- in einer gekapselten Anlage bzw in einem geschlossenen System.

Für die Schutzmaßnahmen wird auf die klassische Hierarchie zurückgegriffen.

Aktuelle Empfehlungen zur Bewertung von Nanomaterialien werden in einem Projektbericht der **Hans-Böckler-Stiftung in Deutschland** vorgeschlagen (Roller, 2010). Danach ergeben sich folgende Stoffkategorien und Maßnahmenerfordernisse.

• Lösliche Nanomaterialien

Ohne spezifische toxische Eigenschaften: Besteht das lösliche Nanomaterial nur aus einem Stoff, der sich in Untersuchungen als nicht gesundheitsschädigend erwiesen hat / nicht gesundheitsschädlich eingestuft ist, ist keine Gefährdung anzunehmen.

Schutzmaßnahmen: Dennoch sollte eine Exposition vermieden werden; die arbeitshygienischen Mindestanforderungen sind zu erfüllen.

²⁰ Auf Basis von BSI (2007b); beim derzeitigen Wissensstand ist eine klare Unterscheidung der beiden mittleren Gruppen nicht immer möglich: Manche Nanopartikel können unter bestimmten Bedingungen krebserzeugende Eigenschaften aufweisen, obwohl dasselbe Material in Bulk-Form (verhältnismäßig) harmlos ist.

Mit spezifischen toxischen Eigenschaften: Besitzen lösliche Nanomaterialien gesundheitsschädigende Eigenschaften, sind die Schutzmaßnahmen an diesen ausrichten.

Schutzmaßnahmen: Als Anhaltspunkt Maßnahmen für diesen Stoff in Bulk-Form (Grobform), für Luftführungssysteme und Filtermaterialien sind jedoch die unterschiedliche Partikelgröße zu berücksichtigen.

- **Biobeständige Nanomaterialien ohne spezifische toxische Eigenschaften und ohne faserförmige Strukturen**: Bestehen die biobeständigen Nanomaterialien aus einem Stoff, der sich in Untersuchungen nicht als gesundheitsschädigend erwiesen / nicht als gesundheitsschädlich eingestuft ist, müssen sich die Schutzmaßnahmen an den generellen Maßnahmen bei Belastungen mit Ultrafeinstäuben orientieren.

Beispiele sind Industrieruß, Titandioxid, Aluminiumoxid, Aluminiumsilikat und Zirkonoxid.

Schutzmaßnahmen: Festlegung analog ultrafeinen Partikeln; eine Minimierung der Belastung ist erforderlich.

- **Nanomaterialien mit spezifischen toxischen Eigenschaften**: Besteht das Nanomaterial aus einem oder mehreren Stoffen mit gesundheitsschädigenden Eigenschaften, sind die Schutzmaßnahmen an diesen ausrichten.

Schutzmaßnahmen: Als Anhaltspunkt in Bezug auf toxische Gefährdung Maßnahmen für diese/n Stoff/e in Bulk-Form (Grobform) verwenden, für Luftführungssysteme und Filtermaterialien sind jedoch die unterschiedliche Partikelgröße zu berücksichtigen; eine deutlich geringere Belastung als für die Bulkform der jeweiligen Stoffe ist wegen der für die Nano-Form im Vergleich dazu erhöhten Bioverfügbarkeit (größere spezifische Oberfläche) anzustreben.

Besondere Maßnahmen erfordern als krebserzeugend eingestufte Stoffe im Material wie Arsen oder Arsenverbindungen, Cadmium oder Cadmiumverbindungen, Chrom(VI)-Verbindungen, Nickel oder Nickelverbindungen (wie Nickelsulfid oder Nickeloxid), kristallines Siliziumdioxid (Quarz).

Zusätzlich schwerlöslich: Für solche Nanomaterialien gelten außerdem die Hinweise bei den "biobeständigen Nanomaterialien" oben.

Schutzmaßnahmen: Zusätzlich zu den vorherigen Anmerkungen erfolgt ihre Festlegung analog ultrafeinen Partikeln.

- **Biobeständige faserförmige Nanomaterialien**: Weist das Material biobeständige faserförmige Strukturen mit Dimensionen wie die Fasern nach WHO²¹ auf, können asbestähnliche Wirkungen vorerst nicht ausgeschlossen werden und die Arbeitsschutzmaßnahmen müssen sich an denen für Tätigkeiten mit Asbest ausrichten. Allerdings dürften nicht alle CNTs asbestähnliche Wirkungen zeigen und deshalb kein so hohes Schutzniveau benötigen.

Schutzmaßnahmen: Sie sollten für biobeständige faserförmige Nanomaterialien, z. B. auch alle Arten von Kohlenstoff-Nanoröhrchen, nur dann nicht denen für Tätigkeiten mit Asbest folgen, wenn der Hersteller / Lieferant für sein Produkt nachweisen kann, dass keine asbestähnlichen Eigenschaften anzunehmen sind, und ein Sicherheitsdatenblatt mit dem erforderlichen Schutzniveau zur Verfügung stellt.

²¹ Lt. WHO entsprechen folgende Faser-Abmessungen in ihrer krebserzeugenden Wirkung dem Asbest: Länge über 5 µm, Durchmesser über 3 µm, Verhältnis von Länge zu Durchmesser über 3:1

Themenblatt F: Schutzmaßnahmen für die Arbeit mit Nanomaterialien

Ein nicht nur präventiver, sondern auch vorsorgender Ansatz ist solange anzuwenden:

- bis sich die großen Unsicherheiten in Bezug auf die Toxizität von Nanomaterialien und das Fehlen von Expositionsdaten verringert haben;
- bis genaue und detaillierte Methoden für das Messen/Monitoring von Nanomaterialien in der Arbeitsumwelt entwickelt wurden;
- bis die Forschung den Nachweis erbracht hat, dass die Schutzmaßnahmen für bestimmte Nanomaterialien wirksam sind;
- bis spezifische Grenzwerte für Nanopartikel oder für spezielle Nanomaterialien festgelegt wurden.

Mit wenigen Ausnahmen, wie bestimmte lösliche Nanomaterialien, ist bei Nano-Arbeiten zumindest ein Schutzniveau wie für biobeständige Ultrafeinstäube notwendig. Der Allgemeine Staubgrenzwert ist nicht für Beurteilung ultrafeiner Stäube geeignet.²² Er garantiert also nicht das Ausbleiben negativer gesundheitlicher Folgen. Außerdem sind die ernstzunehmenden Hinweise auf krebserzeugende Wirkung mancher Nanomaterialien zu berücksichtigen. Deshalb sollten nach gegenwärtigem Wissensstand für Nanomaterialien Belastungen von $0,1 \text{ mg/m}^3$ nicht überschritten werden.²³

Derzeit ist Nanomaterialien zur Sicherheit ein höheres potenzielles Risiko zuzuordnen, auch wenn dies nach den Kriterien für die Einstufung gefährlicher Stoffe nicht zutrifft. Die Exposition muss daher soweit, wie vernünftigerweise erreichbar, vermindert werden. Welche Konzentration an Nanopartikeln unter dem Aspekt der Verhältnismäßigkeit im Rahmen der Minimierung am einzelnen Arbeitsplatz noch vertretbar ist, ist wegen deren Mannigfaltigkeit und infolge fehlender Beurteilungsgrundlagen derzeit nicht endgültig zu beantworten (SUVA, 2009).

Der niederländische Sozial- und Wirtschaftsausschuss hat es wie folgt auf den Punkt gebracht: Allgemein ist zu empfehlen, die Aufnahme von Nanomaterialien durch Inhalation und/oder Hautkontakt während der Arbeitsprozesse zu vermeiden. Daher sollten Nanomaterialien bevorzugt gehandhabt werden (SER, 2009):

- in einer Matrix,
- in einer Flüssigkeit suspendiert, oder
- in einer gekapselten Anlage bzw in einem geschlossenen System.

²² D.h. für Staubfraktion mit Partikelgröße kleiner als $0,1 \mu\text{m}$ Diffusionsäquivalentdurchmesser inkl. ihrer Agglomerate und Aggregate (BAuA/VCI, 2008).

²³ Nicht berücksichtigt sind hier das Problem der eventuellen Veränderung gesundheitlicher Wirkungen durch Beschichten der Nanomaterialien, sowie die Eignung von „Massenkonzentration“ als Maßangabe.

Detaillierter werden die empfehlenswerten Vorgangsweisen bei der Arbeit mit Nanomaterialien im Folgenden entlang der Hierarchie der Schutzmaßnahmen beschrieben.²⁴ Die verschiedenen Maßnahmen werden in der Regel in Kombination mit anderen Schutzmaßnahmen eingesetzt, beispielsweise technische Maßnahmen mit organisatorischen Maßnahmen und/oder Persönlicher Schutzausrüstung z. B. bei Probenahmen. Natürlich sind außer den nano-spezifischen Maßnahmen auch alle Maßnahmen einzuhalten, die sich aus der Gefährdungsbeurteilung für weitere vorhandene chemische Arbeitsstoffe, z. B. Lösungsmittel, ergeben.

Einige Arten von Nanomaterialien stehen im Blickpunkt der Aufmerksamkeit:

- Speziell zu beachten sind **biobeständige faserförmige Nanomaterialien**: Für Kohlenstoff-Nanoröhrchen (CNTs), die Dimensionen aufweisen wie die Fasern nach WHO²⁵, wird vom IFA auf Basis der Exposition-Risiko-Beziehung für Asbest eine vorläufige Faserkonzentration von 10.000 Fasern/m³ zur Beurteilung der Exposition vorgeschlagen. Außerdem ist neben der Anwendung von Schutzmaßnahmen nach dem Stand der Technik auch bei Einhalten des angeführten Beurteilungswertes das Tragen von Atemschutz und persönlicher Schutzkleidung unbedingt empfehlenswert. Allerdings dürften nicht alle CNTs asbestähnliche Wirkungen zeigen und deshalb kein so hohes Schutzniveau benötigen. Für alle biobeständige faserförmige Nanomaterialien sollten jedoch nur dann keine asbestähnlichen Eigenschaften angenommen werden, wenn der Hersteller dies für sein Produkt durch Untersuchungen nachgewiesen hat und die erforderlichen Schutzmaßnahmen im Sicherheitsdatenblatt enthalten sind.
- Ein anderes Beispiel für die Notwendigkeit besonderer Maßnahmen sind Nanomaterialien, die als **krebserzeugend eingestufte Stoffe** enthalten, wie Arsen oder Arsenverbindungen (z. B. in Quantenpunkten oder Quantum Dots), Cadmium oder Cadmiumverbindungen (z. B. in Quantenpunkten oder Quantum Dots), Chrom(VI)-Verbindungen, Nickel oder Nickelverbindungen (wie Nickelsulfid oder Nickeloxid) oder kristallines Siliziumdioxid (Quarz).
- Zu beachten sind weiters Nanomaterialien, die **mutagene, reproduktionstoxische bzw. atemwegssensibilisierende Stoffe** beinhalten.

²⁴ Vgl. zu Schutzmaßnahmen für Nano-Arbeiten unter anderem BAuA/VCI (2007), BASF (oJ), BSI (2007b), Borm et al. (2008), HA (2009b), Holden et al. (2008), Kittel et al. (2009), NIOSH (2009b), Ostiguy et al. (2009), Safe Work (2009), SER (2009), Schmid/Danuser/Riediker (2008), SUVA (2009) und UIC (2009), die Veröffentlichungen des NanoSAFE-Projekts und die GoodNanoGuide-Website, sowie für Labors z. B. TU Delft (2008) und Hallock et al. (2009).

²⁵ Lt WHO entsprechen folgende Faser-Abmessungen in ihrer krebserzeugenden Wirkung dem Asbest: Länge über 5 µm, Durchmesser über 3 µm, Verhältnis von Länge zu Durchmesser über 3:1.

SUBSTITUTION

Zuerst einmal geht es um die Verminderung des freien und/oder dispersiven Charakters nano-skaliger Materialien.

Prinzipiell ist immer zu erwägen, ob die mit Nano-Eigenschaften verbundenen Vorteile erhöhte Risiken rechtfertigen. Die **Vermeidung von Nanomaterialien** z. B. mittels Ersatz durch mikro-skalige Substanzen ist aber kaum eine realistische Alternative, da gerade ihre spezifischen Eigenschaften zur Erzeugung neuartiger Produkte benötigt werden. Die **Substitution von einem Nanomaterial durch ein anderes**, weniger gefährliches, ist derzeit ebenfalls nur selten durchführbar, weil eine umfassende Ersatzstoffprüfung aufgrund der bestehenden Datenlücken in der Regel nicht möglich ist.

Eine durchführbare und sinnvolle Option ist es jedoch, das Prozessdesign sicherer zu machen, d.h. der **Ersatz von Arbeitsprozessen**: Technische Verfahren können durch weniger gefährliche ersetzt werden, z. B. emissionsgeminderte Stoffvarianten verwendet oder Sprühanwendungen durch aerosolararme Verfahren (Streichen, Tauchen) ersetzt werden. Bestimmte, mit einem sehr hohen Risiko verbundene Verfahrensschritte können automatisiert oder ganz unterlassen werden, z. B. das Umschütten von Nano-Pulvern. Natürlich ist auch eine ungeeignete oder veraltete Ausrüstung zu ersetzen, um potenzielle Leckstellen oder Entzündungsquellen zu vermindern.

Inhalative Risiken sind bei Nano-Arbeiten besonders zu beachten. Aber Arbeitsprozesse sollten auch so verändert werden, dass Spritzen oder Eintauchen mit der Hand vermieden wird.

Eine **Substitution in Bezug auf die physikalisch-chemische Form** ist unbedingt zweckmäßig: Wenn es technisch möglich ist, sollten Zubereitungen die Nanomaterialien in flüssigen oder festen Medien gebunden enthalten. Damit wird ihre Freisetzung erschwert und ihr Expositionspotenzial wesentlich herabgesetzt. Das ist insbesondere unerlässlich, wenn ein Arbeiten im geschlossenen System nicht möglich ist.

Dies bedeutet, statt Nanomaterialien in trockener staubender Pulverform oder Pulver mit Nanomaterialien zu bearbeiten, denselben Arbeitsstoff in Form von Granulaten, Pellets, Pasten, Compounds (in Verbundwerkstoffen eingebettet) oder in einer Flüssigkeit (als Suspension) einzusetzen.

Bei Nano-Suspensionen ist darauf zu achten, dass es bei Füllvorgängen oder anderen Tätigkeiten außerhalb geschlossener Systeme nicht zur Aerosolbildung kommt. Wässrige Pumpsprays sollen unproblematisch sein.

TECHNISCHE MASSNAHMEN

Als erste Wahl bei der Herstellung von und bei Tätigkeiten mit Nanopartikeln werden **möglichst geschlossene Systeme / Anlagen** eingesetzt bzw. wird in geschlossenen Apparaturen gearbeitet, weil dies als praktisch emissionsfrei eingeschätzt werden kann. Dies ist z. B. bei Gasphasenproduktion, Sprühtrocknung oder allen anderen Prozessen, bei denen trockene Nanomaterialien eingesetzt werden, notwendig. Vorhandene, **nicht geschlossene Anlagen / Apparaturen sind zu kapseln**.

Sind dennoch Arbeitsschritte mit potenzieller Nano-Exposition notwendig, die nicht in geschlossenen Systemen durchführbar sind, müssen zusätzliche technische und organisatorische Maßnahmen zur Verminderung von Stäuben oder Dämpfen eingesetzt werden. Die Möglichkeit einer solchen Emission besteht z. B. bei Portionieren, Befüllen und Entleeren, Mahlen, Konfektionieren oder Probenahme. Dann ist eine **Absaugung direkt an der Quelle** vorzunehmen, d.h. gefährliche Gase, Dämpfe, Aerosole und Stäube sind je nach produziertem Nanomaterial und Produktionsbedingungen möglichst an der Entstehungsstelle zu erfassen, zu begrenzen und abzuführen (Abzüge, Abzugshauben, Absaugungen usw.). Allgemeine Lüftungsmaßnahmen sind nicht geeignet, gefährliche Nanomaterialien aus der Arbeitsumwelt zu eliminieren.

Die Absaug-, Lüftungs- und Filtertechnik muss geeignet konstruiert und umgesetzt sein, um eine inhalative Exposition der ArbeitnehmerInnen zu vermeiden bzw. zu minimieren, wobei prinzipiell eine breite Palette an Techniken zur Verfügung steht. Bessere Absaugmethoden arbeiten z. B. mit HEPA-Filtrierung und elektrostatischer Abscheidung (Elektrofilter). Gegebenenfalls sind eine Abtrennung des Arbeitsraums und eine Anpassung der Raumlüftung (leichter Unterdruck) vorzunehmen. Schwebstofffilter der Filterklassen H (HEPA, High Efficient Particulate Air) bzw. U (ULPA, Ultra Low Penetration Air) sind einzusetzen.

Die abgesaugte Luft darf nicht ohne **Abluftreinigung mit hohen Abscheidegraden** ins Freie geleitet bzw. zurückgeführt werden, z. B. bei Luftrückführung in den Arbeitsraum Verwendung eines HEPA-Filters H14.

Portionierung pulverförmiger Nanomaterialien: Müssen pulverförmige Nanomaterialien verwendet werden, sind möglichst automatische Sackentleerungsstationen zu benutzen. Vom Hersteller / Lieferant sollte verlangt werden, die Arbeitsstoffe in kleineren Gebinden bereitzustellen, um eine Portionierung überhaupt zu vermeiden. (HA, 2009b)

Entleeren des Reaktors: Dies ist samt Folgeschritten besonders bei trockenen Nanomaterialien ein sehr kritischer Schritt und eine Kapselung sollte so weit wie möglich beibehalten werden (z. B. mittels Handschuhkasten oder durch Entleeren mit einem Industriestaubsauger und Auffangen in wassergefülltem Behälter). Falls ein geschlossenes System nicht möglich ist, kann innerhalb einer Kabine mit laminarer Luftströmung oder mit Abzugshaube gearbeitet werden. Das Füllen der Behälter kann auch in einem eigenen abgetrennten und mit HEPA-Filtern ausgerüsteten Raum erfolgen. Staubförmige Materialien sollten zur Vermeidung von Staubwolken eher geschaufelt als geschüttet werden. Für diese Schritte ist eine ausreichende Persönliche Schutzausrüstung wegen des erhöhten Risikos notwendig (siehe unten). (Klenke, 2008)

Forschung und Labor: Hier sollten die Tätigkeiten ebenfalls nicht offen, sondern unter Abzügen oder in Handschuhkästen durchgeführt werden. Dies gilt auch für die Arbeit mit Flüssigkeiten, da z. B. bei der Ultraschall-Behandlung von Suspensionen feinste Aerosole mit den jeweiligen Nanomaterialien freigesetzt werden können.

Weitere Maßnahmen können wegen spezieller Stoffeigenschaften notwendig sein.

Beispielsweise sind beim **Umgang mit oxidierbaren Nanomaterialien** zusätzliche Explosionsschutzmaßnahmen zu treffen²⁶. Die Brand- und Explosionsgefährdung durch Nanomaterialien ist beträchtlich, auch wenn dasselbe Material bei makro- oder mikro-großer Korngröße relativ inert ist. Das NanoSafe-Projekt empfiehlt die Errichtung von Ex-Zonen und, wenn möglich, das Arbeiten in inerter Atmosphäre durch Einleiten eines Inertgases während der Produktion. Andernfalls muss das Sauerstoffniveau überwacht und mit einem Alarmsystem verbunden werden. (Klenke, 2008)

Spezifische Schutzmaßnahmen sind auch beim **Umgang mit reaktiven oder katalytisch wirksamen Nanomaterialien** notwendig, der Kontakt mit unverträglichen Substanzen ist auszuschließen.

ORGANISATORISCHE MASSNAHMEN

Für die Arbeit mit Nanomaterialien sind organisatorische Maßnahmen nicht nur für die Nano-Tätigkeiten in der Produktion im Engeren zu planen und umzusetzen.

Bei der Arbeit ist eine Minimierung der (potenziellen) Expositionszeit anzustreben. Es muss daher eine Arbeitsorganisation entwickelt werden, die es ermöglicht, die **Dauer und Häufigkeit** der Arbeit mit Nanomaterialien zu **minimieren**.

Die **Zahl der potenziell exponierten Personen** ist zu **minimieren**. Dies bedeutet einerseits eine Verringerung der Anzahl der ArbeitnehmerInnen, die mit Nanomaterialien umgehen, auf die notwendige Mindestzahl.

Andererseits muss der Zugang zu den Nano-Arbeitsbereichen beschränkt werden, d.h. er darf nur für befugte und geschulte Personen erlaubt sein. Für nicht berechnigte Personen besteht ein Zugangsverbot zu diesen Bereichen.

Freigesetzte Nanomaterialien können wegen ihrer geringen Größen länger als schwerere Teilchen in der Luft verbleiben. Wenn der eigentliche Arbeitsbereich, in dem sie entstehen, nicht abgetrennt ist, können sie daher auch in entfernte Bereiche des Raumes driften und Beschäftigte belasten, die gar keine Nano-Tätigkeiten ausüben. Nach einer Schweizer Untersuchung arbeiteten pro Unternehmen zwei Personen direkt mit Nano-Anwendungen und zwei weitere im selben Raum (Riediker et al., 2008)!

Die Arbeiten sind also auf spezifische Nano-Bereiche zu begrenzen. Diese **Nano-Arbeitszonen** müssen deutlich gekennzeichnet und abgegrenzt werden. Dafür und für den Zugang sind entsprechende Regeln festzulegen.

Außerdem sollten die gehandhabten **Mengen** an Nanomaterialien so weit wie möglich **reduziert** werden.

²⁶ Siehe zu entzündlichen und explosiven Eigenschaften von Nanomaterialien: Bouillard (2008) und Bouillard et al. (2008)

Weitere organisatorische Maßnahmen betreffen arbeitshygienische Regeln oder die Schulung der Beschäftigten, die mit Nano zu tun haben, sowie Arbeiten und Vorfälle „außer der Norm“. Absaug- und Lüftungssysteme, aber auch geschlossene Systeme müssen regelmäßig gereinigt, geprüft, gewartet und instandgesetzt werden. Die messtechnische Überwachung der Raumluft ist zu organisieren. Nanomaterialien sind geeignet zu lagern. Reinigungsarbeiten müssen sachgerecht durchgeführt, Nano-Abfälle sicher gesammelt werden. Der Betrieb muss auf die unbeabsichtigte Freisetzung von Nanomaterialien vorbereitet sein.

Zu beachten sind in diesem Zusammenhang neben der Prüfung der Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen insbesondere folgende Punkte²⁷:

Information, Unterweisung und Schulung bei Nano-Tätigkeiten für:

- Beschäftigte, die Nano-Arbeiten durchführen;
- Instandhaltungspersonal;
- Lagerpersonal;
- Reinigungspersonal.

Ggfs. **Erstellung von Betriebsanweisungen** zu Nano-Arbeiten, beispielsweise für:

- Spezielle Tätigkeiten (z. B. Portionierung, Füllvorgänge, Probenahme);
- Reinigung;
- Lagerung.

Festlegung von Regeln, Maßnahmen bzw. Vorgangsweisen für den Umgang mit Nanomaterialien in Zusammenhang mit:

- Generelle Arbeitshygiene;
- Instandhaltung;
- Lagerung;
- Unbeabsichtigte Freisetzung (Störfälle);
- Reinigung;
- Abfallsammlung.

²⁷ Für eine detaillierte Darstellung siehe die Themenblätter „Info Beschäftigte“ (L), „Hygiene-Reinigung-Instandhaltung-Abfall“ (H), „Lagerung“ (G), „Störfälle“ (J), sowie „Messen-Prüfen“ (D) und „Arbeitsmedizinische Überwachung“ (K).

PERSÖNLICHE SCHUTZAUSRÜSTUNG

Geeignete persönliche Schutzmaßnahmen sind als letzte Möglichkeit bzw. letzte Stufe in der Hierarchie zu treffen, wenn alle anderen Maßnahmen nicht ausreichen eine Exposition zu vermeiden oder nicht möglich sind, z. B. zusätzlich zu den technischen Maßnahmen, falls eine Aerosolbildung und/oder ein Hautkontakt durch diese nicht auszuschließen ist.

Die Verwendung Persönlicher Schutzausrüstung sollte auch vom Vorsorgeprinzip getragen sein, wenn ein sehr hohes Risikoniveau besteht, und solange es schwierig ist die Wirksamkeit anderer Maßnahmen zu evaluieren. In der Regel wird sie mit anderen Schutzmaßnahmen kombiniert.

Persönliche Schutzausrüstung, vor allem Atemschutz, erfordert eine besondere Beachtung von Auswahl, Unterweisung, Aufsicht und Instandhaltung, da eine falsche Wahl, ein schlechter Sitz oder ein mangelhafter Gebrauch sie nutzlos machen können.²⁸

Generell sollte man sich beim Einkauf Persönlicher Schutzausrüstung **vom Hersteller die Wirksamkeit** gegenüber den verwendeten Nanomaterialien **bestätigen lassen**. Dies gilt für Filter und Filtermasken ebenso wie für Handschuhe oder Schutzkleidung. Die in Projekten wie NanoSAFE oder von Einrichtung wie dem deutschen IFA nachgewiesene Wirksamkeit von Atemschutzmasken, Einmalanzügen und Handschuhen gegenüber bestimmten Nanopartikeln kann nicht für alle Nanomaterialien verallgemeinert werden.

Atemschutz

Eine Atemschutzausrüstung ist für Tätigkeiten notwendig, bei denen Nanomaterialien in die Luft emittiert werden können, z. B. beim Umgang mit Stäuben oder Aerosolen in nicht abgeschlossener Umgebung, bei Instandhaltungs- oder Reinigungsarbeiten. Die Art des Atemschutzes hängt von den Ergebnissen der Risikoabschätzung ab. Zur Vermeidung inhalativer Expositionen sind prinzipiell faserförmige Filtermasken mit mittlerem und hohem Abscheidevermögen geeignet: P2, P3 bzw. N95, P100 (NIOSH-Standard). Bei Filtermasken mit niedrigem Abscheidevermögen (P1) ist dagegen die Durchlässigkeit zu hoch.

- Für staubende Stoffe können Voll- oder Halbmasken mit P2- oder P3-Filtern, Partikelfiltergeräte mit Gebläse und Haube oder Helm (TH2P, TH3P), Partikelfiltergeräte mit Gebläse und Voll- oder Halbmaske (TM2P, TM3P), eventuell auch partikelfilternde Halbmasken (FFP2, FFP3) verwendet werden.²⁹
- Eine Risikoquelle stellt der Sitz der Maske auf dem Gesicht dar, der ausreichend dicht sein muss. Alle Träger sollten den Sitz des Gesichtsstücks erproben.

²⁸ Vgl. OECD, 2000b.

²⁹ Nach HA (2009b), wo auch die Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Atemschutzgeräte erörtert werden; ausführlich zu diesem Thema auch NIOSH (2009b).

Hautschutz

Bei möglichem Hautkontakt ist das Tragen von **Schutzhandschuhen** zwingend, weil die möglichen gesundheitlichen Auswirkungen nach Hautkontakt mit Nanomaterialien noch nicht vollständig untersucht sind. In der Regel sind derzeit die Angaben der Hersteller zur Auswahl der Handschuhe nicht ausreichend, auch hier sollte eine Bestätigung der Wirksamkeit eingeholt werden. Die Handschuhe müssen jedenfalls eine ausreichende mechanische Stabilität aufweisen.

- Vielfach wird zur Verwendung von Wegwerfhandschuhen aus Nitril geraten.
- Im NanoSAFE-Projekt wird empfohlen zwei Handschuhe übereinander zu tragen, da Nanopartikel am Markt erhältliches Handschuhmaterial durchdringen können (Golanski et al., 2008).
- Wichtig ist die Überlappung der Handschuhe mit sonstiger Schutzkleidung sowie das korrekte An- und Ausziehen.

Augenschutz und Schutzkleidung

Eventuell ist aufgrund der Risikoabschätzung auch das Tragen von Schutzbrillen nötig. Dicht schließende Korbbrillen sind zu verwenden, z. B. beim Tragen von Halbmasken.

Neben dem Schutz der Hände kann es nötig sein, auch andere Hautpartien zu schützen, durch Schürzen oder Sicherheitsschuhe, vor allem jedoch durch Schutzkleidung.

- Membranmaterialien bieten einen viel besseren Schutz als gewebte Materialien z. B. aus Baumwolle. Auch Polypropylen hat sich als Material nicht bewährt. Geeignet sind beispielsweise nicht gewebte (luftdichte) Stoffe wie Tyvek, ein Faserfunktionstextil aus thermisch verschweißten Fasern aus sehr dichtem Polyethylen (HDPE).
- Einweg-Overalls mit Kapuze u.ä. sind zu bevorzugen, da detailliertere Informationen über die Reinigung noch fehlen (siehe aber NIOSH, 2009b).
- Wenn notwendig, kann ein höheres Schutzniveau durch Chemikalienschutzanzüge bewirkt werden.

Umgang mit Nano-Flüssigkeiten

Safe work (2009) gibt zur Handhabung von Flüssigkeiten, die Nanopartikel enthalten, folgende Hinweise³⁰:

- Polymer-Stulpenhandschuhe (z. B. Nitrilkautschuk) oder Nitrilhandschuhe mit verlängerten Ärmeln verwenden; Auswahl des Handschuhmaterials je nach seiner chemischen Widerstandsfähigkeit gegenüber den jeweiligen Nanomaterialien und, wenn sie in Flüssigkeiten suspendiert sind, gegenüber diesen;
- Augenschutz benutzen, z. B. Brillen, die Spritzschutz bieten, oder Gesichtsschirme;
- Geschlossene Schuhe aus wenig durchlässigem Material verwenden, eventuell auch Wegwerf-Überschuhe.

³⁰ Wenn Nanomaterialien zusammen mit Detergentien, Tensiden oder oberflächenaktiven Chemikalien (z. B. Dimethylsulfoxid) verwendet werden, kann die Aufnahme durch die Haut zu einer erhöhten Exposition führen, weil solche Stoffe bei manchen Chemikalien die Aufnahmegeschwindigkeit erhöhen.

Themenblatt G: Lagerung von Nanomaterialien

Die folgenden Hinweise zum Lagern von (speziell pulverförmigen) Nanomaterialien wurden von der Hessen-Nanotech-Initiative (HA, 2009b) für die Farben- und Lackbranche formuliert. Sie wurden ergänzt und sind auch für andere Wirtschaftszweige bzw. für Klein- und Mittelbetriebe allgemein anwendbar:

- In eigenen Räumlichkeiten lagern;
- Zutrittsregeln zu diesem Lager ausarbeiten;
- Zugang zu diesem Lager nur für befugte Personen;
- Punkt 7 des Sicherheitsdatenblatts auf wichtige Informationen zur Lagerung durchsehen (z. B. spezielle Empfehlungen, Hinweise bez. Zusammenlagerung); ggfs. bei Hersteller/Lieferant nachfragen;
- Verwendung von Aufreißsäcken vermeiden; Hersteller/Lieferant nach Gebinden fragen, bei denen beim Öffnen kein Material austreten kann (z. B. Fässer);
- Beschädigte Gebinde oder Paletten mit beschädigten Gebinden nicht in diesem Lager unterbringen, sondern in einem gesonderten Raum vorher den Schaden beheben: z. B. Umfüllen; aber Sackware oder Big-Bags mit einer zweiten Hülle versehen, z. B. Kunststoffsock, und verschließen;
- Bei Verschütten feucht aufwischen, bei größeren Mengen Industriestaubsauger mit wirksamen Feinstaubfiltern benutzen (siehe Themenblatt H zu Hygiene, Reinigung, Instandhaltung und Abfallsammlung für Nanomaterialien);
- Für Schadensfälle geeignete Schutzmaßnahmen und Ausrüstung bereitstellen;
- Bereits (z. B. für Portionierung) geöffnete Säcke getrennt von noch verschlossener Sackware lagern; Hersteller/Lieferant nach Gebinden fragen, deren geringere Größe eine Portionierung möglichst unnötig macht;
- Betriebsanweisung "Lagern von Nanomaterialien" erstellen;
- Lagerpersonal informieren, unterweisen und einschulen.

In Deutschland ist eine Technische Regel für das Lagern von Gefahrstoffen in Ausarbeitung, die weitere konkrete Hinweise liefern könnte.

Themenblatt H: Hygiene, Reinigung, Instandhaltung und Abfallsammlung für Nanomaterialien

Neben allgemeinen Regeln der Arbeitshygiene werden Hinweise zur Reinigung, Instandhaltung und Abfallsammlung aufgelistet, wobei die erforderlichen Maßnahmen und notwendige Schutzausrüstung von der Höhe des potenziellen Risikos abhängt, ob z. B. Nanostäube vorhanden sind oder nicht³¹.

Hygienische Regeln einhalten

Allgemeine und spezielle hygienische Grundsätze stellen unter Beachtung des Vorsorgeprinzips wichtige organisatorische Schutzmaßnahmen bei der Arbeit mit Nanomaterialien dar.

Für saubere Arbeitskleidung und geeignete Persönliche Schutzausrüstung ist zu sorgen:

- Verbot von Rauchen, Essen und Trinken in Nano-Arbeitsbereichen;
- Geeignete Waschelegenheiten bereitstellen, z. B. Waschbecken, Duschen;
- Arbeitskleidung auf Sauberkeit prüfen;
- Persönliche Schutzausrüstung, einschließlich Schutzkleidung, ist vom Arbeitgeber zur Verfügung zu stellen und zu reinigen;
- Arbeitskleidung und Alltagskleidung getrennt aufbewahren, u.U. in verschließbaren Spinden;

Saubere Arbeitsplätze garantieren

Es muss sichergestellt sein, dass die Nano-Arbeitsbereiche und Nano-Arbeitsplätze regelmäßig mit geeigneten Methoden gereinigt werden. Die Reinigung darf keine Stäube oder Aerosolbildung verursachen: Auf keinen Fall mit Druckluft abblasen, Trockenwischverfahren einsetzen oder mit Besen, Bürsten u.ä. kehren!

Die folgenden Hinweise gelten sinngemäß nicht nur für Reinigungs- und Dekontaminationstätigkeiten im Engeren, sondern auch für Instandhaltung, Entsorgung etc.:

- Eine Standardisierung der Arbeitsoberflächen ist empfehlenswert: Die Oberflächen sollten z. B. nicht porös, fugenfrei und leicht zu reinigen sein;
- Nassreinigung ist vorzuziehen: d.h. Ablagerungen oder verschüttete Materialien nass aufwischen;

³¹ Vgl. zu Schutzmaßnahmen für Nano-Arbeiten unter anderem Baron (2009), BSI (2007b), HA (2009b), ISO (2009a), NIOSH (2009b), Ostiguy et al. (2009), SUVA (2009), TU Delft (2008; für Labors) und UIC (2009), sowie insbesondere Klenke (2008; NanoSAFE).

- Alternativ sind vor allem größere Mengen, bspw. ein ganzer Sackinhalt, mit einem Industriestaubsauger mit wirksamen Filtern (z. B. HEPA H14) aufzunehmen: Nanopartikel in wassergefüllter Trommel auffangen; die Wirksamkeit der Staubsauger vom Hersteller bestätigen lassen; bei explosionsgefährlichen Nanopartikeln explosionsgeschützte Geräte verwenden;
- Arbeitsmittel sind regelmäßig korrekt zu warten und Verbrauchsmaterialien auszutauschen (Staubsaugerfilter, Reinigungsgeräte usw.);
- Für die Reinigung sind geeignete Schutzmaßnahmen und Ausrüstung je nach Risikoniveau bereitstellen (siehe vor allem die Anmerkungen zu Persönlicher Schutzausrüstung im Themenblatt F zu Schutzmaßnahmen);
- Persönliche Schutzausrüstung ist je nach Erfordernissen zu ersetzen bzw. regelmäßig korrekt zu warten;
- Verfahren für Reinigung mit festgelegten Terminen sind auszuarbeiten, z. B.: Staub-Arbeitszonen zumindest einmal pro Schicht reinigen; adäquate Hilfsmittel beschreiben, z. B. Staubsauger mit HEPA-Filtern, mit geeigneten Lösungsmitteln angefeuchtete Stoffe;
- Betriebsanweisung "Nano-Reinigung" erstellen;
- Reinigungspersonal informieren, unterweisen und einschulen.

Instandhaltung sicherstellen

Systematische Instandhaltung, d.h. Inspektion, Wartung und Instandsetzung, ist unabdingbare Voraussetzung, um die Wirksamkeit von technischen Schutzmaßnahmen gewährleisten zu können:

- Absaug- und Lüftungssysteme sind regelmäßig einer Leistungs- bzw. Funktionsprüfung zu unterziehen und instandzuhalten; dies gilt auch für geschlossene Systeme, was ein zeitweises Öffnen der Anlagen erfordert, wenn eine vollautomatische Reinigung bzw. Instandhaltung nicht möglich ist;
- Verfahren für Instandhaltung mit festgelegten Terminen sind auszuarbeiten, z. B.: ganze Ausrüstung vor Instandhaltung verschließen und reinigen; adäquate Hilfsmittel beschreiben, z. B. Staubsauger mit HEPA-Filtern, mit geeigneten Lösungsmitteln angefeuchtete Stoffe;
- Für Instandhaltung geeignete Schutzmaßnahmen und Ausrüstung je nach Risikoniveau bereitstellen, da auch bei Verwendung geschlossener oder gekapselter Systeme und Anlagen bspw. bei Probenahmen, Reinigungs- und Wartungsarbeiten ein Öffnen der Anlagen erforderlich ist (siehe vor allem die Anmerkungen zu Persönlicher Schutzausrüstung im Themenblatt F zu Schutzmaßnahmen);
- Persönliche Schutzausrüstung ist je nach Erfordernissen zu ersetzen bzw. regelmäßig korrekt zu warten;
- Auf die jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten abgestimmte spezielle Betriebsanweisungen "Nano-Instandhaltung" erstellen;
- Instandhaltungspersonal informieren, unterweisen und einschulen.

Nano-Abfälle getrennt sammeln

Bis spezifische Regelungen bestehen, müssen Nano-Abfälle, die bei Reinigung, Instandhaltung etc. anfallen, so gesammelt werden, dass keine Nanomaterialien austreten können.

Nanomaterialien:

- In dicht schließenden Abfallbehälter sammeln;
- Mit einer Etikettierung versehen, die den Abfall als nano-skalig ausweist und beschreibt, sowie Informationen über seine bekannten und vermuteten Eigenschaften enthält;
- Metallpulver in Metallbehältern, Oxide in Kunststoffbehältern sammeln;
- In einem Abzug oder an einem ähnlich geeigneten Ort lagern.

Papiere, Reinigungstücher, Persönliche Schutzausrüstung samt Verbrauchsmaterialien, sowie andere Gegenstände mit loser Nano-Kontamination:

- In einem (antistatischen) Plastiksack sammeln;
- Gefüllten Sack in einen zweiten Sack oder ein anderes dichtes Behältnis stecken, verschließen und etikettieren;
- In einem Abzug oder an einem ähnlich geeigneten Ort lagern.

Themenblatt J: Unbeabsichtigte Freisetzung bzw. Störfälle mit Nanomaterialien

Für Notfälle wie Lecks sind zur Vervollständigung der Gefährdungsbeurteilung Aktionspläne zu erstellen, deren Methoden von Risikoniveau und Stoffmengen abhängen.

Auch Klein- und Mittelbetriebe, die mit geringeren Mengen arbeiten, müssen für das Verschütten und die unbeabsichtigte Freisetzung von Nanomaterialien entsprechende Vorsorge treffen, z. B.:

- Maßnahmen und Regeln für unbeabsichtigte Freisetzung festlegen;
- Wenn notwendig, den betroffenen Bereich kennzeichnen und den Zugang auf das Reinigungspersonal beschränken;
- Wenn notwendig, die Ausbreitung verschütteter Nanomaterialien durch geeignete Hilfsmittel verhindern, z. B. saugfähige Matten, geeignete Absorptionsmaterialien bei Verschütten von Suspensionen;
- Bei Verschütten feucht aufwischen, bei größeren Mengen Industriestaubsauger mit wirksamen Feinstaubfiltern benützen (siehe Themenblatt H zu Hygiene, Reinigung, Instandhaltung und Abfallsammlung für Nanomaterialien);
- Abfälle in geeignete, dicht schließenden Behältern sammeln;
- Geeignete Schutzmaßnahmen und Ausrüstung je nach Risikoniveau bereitstellen (siehe vor allem die Anmerkungen zu Persönlicher Schutzausrüstung im Themenblatt F zu Schutzmaßnahmen);
- Reinigungspersonal informieren, unterweisen und einschulen.

Störfälle

Freisetzungen großer Mengen von Nanomaterialien oder Störfälle mit über die Arbeitsstätte hinausgehenden Auswirkungen sind nicht bekannt, dagegen einige Betriebsunfälle dokumentiert worden. In Österreich dürften gegenwärtig nur kleine Mengen von Nanomaterialien mit entsprechenden brand- und explosionsgefährlichen Eigenschaften verwendet oder hergestellt werden.

In der Schweiz wurden einige Störfallszenarien untersucht (Lagerbrand, Verpuffung, Explosion), die sich nur wenig von Szenarien in der chemischen Industrie bei der Herstellung/Verarbeitung vergleichbar aktiver Stoffe unterscheiden. Nach derzeitigem Wissen sind daher die entsprechenden Vorschriften bspw. für Stäube auch für Nanomaterialien anzuwenden. (BAFU, 2010)

Themenblatt K: Arbeitsmedizinische Überwachung bei Nanomaterialien

Arbeitsmedizinische Überwachung wird in nächster Zeit für ArbeitnehmerInnen, die gegenüber Nanomaterialien exponiert sind, keine bedeutende Rolle spielen.

Zwar sollte sie Teil eines umfassenden Risikomanagements sein und häufig wird empfohlen, ein arbeitsmedizinisches Überwachungsprogramm einzurichten, um das Auftreten neuer Erkrankungen zu erfassen. Allerdings gibt es noch keine nano-spezifischen arbeitsmedizinischen Untersuchungen, da nach wie vor die evidenz-basierten Grundlagen für Untersuchungen fehlen und keine Indikatoren bzw. Wirkungsparameter bekannt sind, die den Beginn einer Schädigung durch Nanomaterialien kennzeichnen und im Rahmen arbeitsmedizinischer Vorsorgeuntersuchungen überprüfbar sind.³²

Daher schlägt NIOSH (2009a) in seinem ausführlichen Report zum Thema vor, neben vorsorgenden Schutzmaßnahmen sowie Messungen auf Basis etablierter medizinischer Überwachungsansätze vorzugehen.

Hauptaugenmerk liegt dabei momentan auf dem Atemtrakt. In einer Übergangszeit könnte daher auf, für Atemwegserkrankungen übliche Methoden zurückgegriffen werden, z. B. auf regelmäßige Lungenfunktionsuntersuchungen. Damit eine solche Maßnahme tatsächlich einen epidemiologischen Nutzen bringt, müssten die Ergebnisse mit jenen der Expositionsmessungen verknüpft dokumentiert werden. Ohne fundierten Verdacht dürfen aber keine selbst potenziell schädigend wirkenden Untersuchungsverfahren verwendet werden, z. B. Röntgenuntersuchungen.

Mittmann-Frank et al. (2009) stellen ein detailliertes arbeits- und präventivmedizinisches diagnostisches Programm vor, das Untersuchungen zur individuellen Gesundheit, zu persönlichen Risikofaktoren, zu Expositionen, zu speziellen Wirkmechanismen und zu präklinischen Markern von Organwirkungen umfasst.

Gesundheitsüberwachung soll (chemische) Arbeitsbelastungen verringern. Voraussetzungen dafür sind allerdings eine vorherige Gefährdungsbeurteilung, die Festlegung von Schutzmaßnahmen, die Dokumentation der betroffenen Arbeitsplätze, sowie Information und Unterweisung der betroffenen ArbeitnehmerInnen. Die untersuchenden ArbeitsmedizinerInnen müssen daher die konkreten Arbeitsbedingungen kennen, eine Arbeitsanamnese durchführen und die Beschäftigten gezielt über Belastungen und Arbeitsgestaltung beraten.³³ Beim derzeitigen Wissensstand ist es in Bezug auf Nanomaterialien schwierig, alle diese Bedingungen zu erfüllen.

Verschiedene Unternehmen berichten, für Nano-Beschäftigte Routineprogramme der Gesundheitsvorsorge anzubieten, bzw. durch arbeitsmedizinische Betreuung die Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen abzusichern, gehen allerdings nicht auf Details ein (Bayer, 2007; Evonik, o.J.). In Österreich wurden in einem Unternehmen, das Kohlenstoff-Nanoröhrchen und -fasern produziert, alle ArbeitnehmerInnen jährlich zum Lungenröntgen und zur Blutuntersuchung geschickt (Kittel et al., 2009).

³² Siehe bspw. BSI (2007b), Nasterlack et al. (2008), Schulte (2008b), Kelly (2009), NIOSH (2009a), Safe Work (2009), UIC (2009).

³³ Vgl. ZAI-Erlass vom 2.12.2009 "Ermittlung und Beurteilung einer § 49-Untersuchungspflicht".

Themenblatt L: Information, Unterweisung und Einschulung für Nano-Arbeiten

Eine wesentliche organisatorische Maßnahme ist die gründliche Information und Unterweisung in Bezug auf Nano-Arbeitsplätze und Nano-Arbeiten. Dies betrifft in erster Linie die Beschäftigten, muss jedoch auch ihre Vorgesetzten mit einbeziehen.

Bestimmte Tätigkeiten benötigen eine spezielle Information und Unterweisung, z. B. Reinigungsarbeiten, Lagerung oder Instandhaltung (siehe auch das Themenblatt H zu Hygiene, Reinigung, Instandhaltung und Abfallsammlung für Nanomaterialien).

Je nach Zweck sind unterschiedliche Arten der Information einzusetzen:

- Die mündliche Unterweisung, wie generell vorgeschrieben, regelmäßig wiederholen;
- Die bedeutendsten Informationen über auftretende Gefährdungen, notwendige Schutzmaßnahmen und aller, zu ihrer Umsetzung und Einhaltung erforderlichen Hinweise in Arbeitsanweisungen, Betriebsanweisungen und Regeln einfügen;
- Schriftliche Betriebsanweisungen insbesondere für Tätigkeiten mit hohem Risikopotenzial (bspw. in Form eines, am Arbeitsplatz angebrachten Plakats), sowie für die vorher erwähnten Nicht-Routine-Tätigkeiten erstellen;
- Praktische Einübung der Handhabung und Durchführung von Schutzmaßnahmen für Nano-Arbeiten empfehlenswert, weil z. B. ein schlechter Sitz oder eine unkorrekte Verwendung die Persönliche Schutzausrüstung unbrauchbar machen können.

Inhaltlich sind die ArbeitnehmerInnen gezielt zu unterrichten über:

- Die Bezeichnung des verwendeten Nanomaterials und seine physikalisch-chemischen Eigenschaften;
- Die mit einer Exposition verbundenen potenziellen gesundheitlichen Auswirkungen;
- Die spezifische Nano-Tätigkeit;
- Arbeits- und Betriebsanweisungen sowie Regeln dafür;
- Hauptergebnisse der Risikobeurteilung und wesentliche Informationen in Bezug auf das Risikomanagement;
- Insbesondere die eingesetzten notwendigen Schutzmaßnahmen einschließlich Persönlicher Schutzausrüstung;
- Notfallmaßnahmen;
- Ergebnisse etwaiger Expositionsmessungen; ggfs. kollektives Ergebnis eines Gesundheitsmonitorings.

Themenblatt M: Nano-Dokumentation

Eine sorgfältige Dokumentation der Gefährdungsbeurteilung ist für Nanomaterialien besonders wichtig,

- da aufgrund der derzeit noch beträchtliche Informationslücken Gefahrenermittlung und Risikoabschätzung oft nur qualitativ möglich sind,
- es noch keine gesundheitsbasierten Grenzwerte gibt,
- und die getroffenen Entscheidungen später klar nachvollziehbar sein müssen.

Anregungen für die zu berücksichtigenden Inhalte liefern z. B. die Hessen-Nanotech-Initiative (HA, 2009a, 2009b) oder die deutsche Technische Regel für Gefahrstoffe 400 (Gefährdungsbeurteilung für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen; Jänner 2008).

Die Dokumentation sollte, soweit verfügbar und angepasst an die Charakteristika des Unternehmens, folgende Informationen beinhalten:

- Verwendete Nanomaterialien und ihre gesundheitsgefährdenden und physikalisch-chemischen Eigenschaften;
- Nano-Arbeitsbereiche und -Tätigkeiten, Arbeitsbedingungen (Charakterisierung der potenziellen Exposition);
- Festgelegte technische, organisatorische und personenbezogene Schutzmaßnahmen;
- Anzahl der Beschäftigten, die mit Nanomaterialien umgehen bzw. Kontakt haben;
- Zusammenstellung der Informationen in der Lieferkette (Sicherheitsdatenblätter, technische Merkblätter, Hinweise der Lieferanten);
- Sammlung der toxikologischen und epidemiologischen Daten;
- Weitere erhobene oder recherchierte Daten, Dokumente, Regelungen, etc.;
- Ergebnisse etwaiger Arbeitsplatz- und Raumluftmessungen;
- Sonstige Ergebnisse der Prüfung der Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen, Ergebnisse der Prüfung von weiteren Maßnahmen des Risikomanagements;
- Arbeits- und Betriebsanweisungen, interne Regeln (für Lagerung, Reinigung, Instandhaltung, etc.);
- Vorgehensweise bei Gefahrenermittlung und Risikoabschätzung.

Eine sinnvolle Ergänzung sind, wenn vorhanden, Dokumente zu Qualitätssicherung bzw. zum Sicherheits- und Gesundheitsmanagement des Unternehmens, zu Haftungsfragen, sowie zu durchgeführten Qualitäts- und Sicherheitsuntersuchungen.

Es ist empfehlenswert, ein personenbezogenes Expositionsregister zu führen, um in Verbindung mit Ergebnissen etwaiger Vorsorgeuntersuchungen eine Basis für spätere epidemiologische Studien zu liefern.

Themenblatt N: Arbeitsschutz in Labors

Der Bereich Forschung & Entwicklung ist nicht direkt Zielgruppe dieses Leitfadens. Zur Vervollständigung werden jedoch beispielhaft die Empfehlungen skizziert, die für Forschungsaktivitäten der niederländischen Universitäten mit freien nano-strukturierten Materialien erstellt wurden (TU Delft, 2008).³⁴

Darin sind Nanopartikel nach derzeitigem Wissen als (potenziell) nanotoxisch zu behandeln, wenn Folgendes gilt:

- Das Bulk-Material ist als toxisch eingestuft

und/oder

- die Nanopartikel erfüllen alle nachstehenden Kriterien:
 - Die Primärteilchen sind kleiner als 100 nm (z. B. Agglomerat im Mikro-Bereich, das aus Teilchen der Größe 20 nm besteht),
 - sie sind praktisch unlöslich in Wasser und lösen sich in Körperflüssigkeiten nicht oder nur sehr langsam,
 - sie sind fest.

Wenn diese Kriterien nur teilweise erfüllt sind, kann das Material ebenfalls toxisch sein, aber nicht speziell nanotoxisch, und die üblichen chemischen Schutzmaßnahmen sind umzusetzen.

Handhabung von Nanopulvern

- Nur in geschlossenem Abzug oder Handschuhkästen arbeiten;
- Alle Teile, die mit Nanopartikeln in Kontakt waren, reinigen und ausgeschüttetes Material entfernen;
- Wenn kein geschlossener Abzug vorhanden ist und mit den Nanomaterialien in einem "offenen" Abzug oder in einer anderen kontrollierten "offenen" Umgebung gearbeitet wird, ist eine FFP3- oder P3-Filtermaske zu tragen.
- Beim Umgang mit Nanopulvern in Mengen über dem Milligramm-Bereich müssen entzündliche Eigenschaften gut bekannt sein;
- Unbekannte entzündliche Eigenschaften sind in Tests zu ermitteln.
- Gute Laborpraxis befolgen: wenn notwendig, Schutzhandschuhe, Labormantel, Schutzbrillen, Schutzschild und geschlossene Schuhe tragen (siehe Hygieneplan).

Umgang mit Suspensionen von Nanopartikeln in Flüssigkeiten:

- Für das Nanomaterial geeignete Schutzhandschuhe tragen, um Hautkontakt zu vermeiden;
- Ausbreitung von flüssigen Tröpfchen in der Laborluft vermeiden.

³⁴ Vgl. auch Hallock et al. (2009) vom Massachusetts Institute of Technology (MIT) / USA, die sich mit dem Thema Nano & Sicherheit und Gesundheit in Universitätslaboratorien beschäftigen und unter anderem auch Gute Praxis auflisten.

Verarbeitung von Nanopartikel in Gasphase:

- Nur geschlossene Reaktionsgefäße verwenden, vorzugsweise bei atmosphärischem oder Unterdruck; Dichtheit zwischen Versuchsdurchgängen checken;
- Bei Arbeit mit Unterdruck Standard-Sicherheitsregeln und gesetzliche Vorschriften für Druckgefäße beachten;
- Bei Arbeiten mit geringem Überdruck sind geschlossene Abzüge ausreichend;
- Wenn kein geschlossener Abzug vorhanden ist und mit dem Nanomaterialien in einem "offenen" Abzug oder in einer anderen kontrollierten "offenen" Umgebung gearbeitet wird, ist eine FFP3- oder P3-Filtermaske zu tragen.
- An der Ausgangsseite der Absaugung HEPA-Filter vor Auslass im Abzug einsetzen; Filter regelmäßig testen und bei Erreichen ihrer maximalen Kapazität auswechseln.
- Gute Laborpraxis befolgen: wenn notwendig, Schutzhandschuhe, Labormantel, Schutzbrillen, Schutzschild und geschlossene Schuhe tragen (siehe Hygieneplan).

Kontinuierliches Monitoring der Laborluft:

- Nanopartikel-Detektor mit Alarmfunktion in jedem Nanolabor.

Reinigung von Reaktoren und mit Nanopartikeln verunreinigten Gegenständen:

- Staubsauger mit HEPA-Filter verwenden;
- Mit feuchtem Tuch aufwischen (Wasser oder Lösungsmittel verwenden);
- Tuch mit Wasser spülen;
- Immer Wegwerf-Schutzhandschuhe tragen;
- Immer in Abzug reinigen, der danach gesäubert wird;

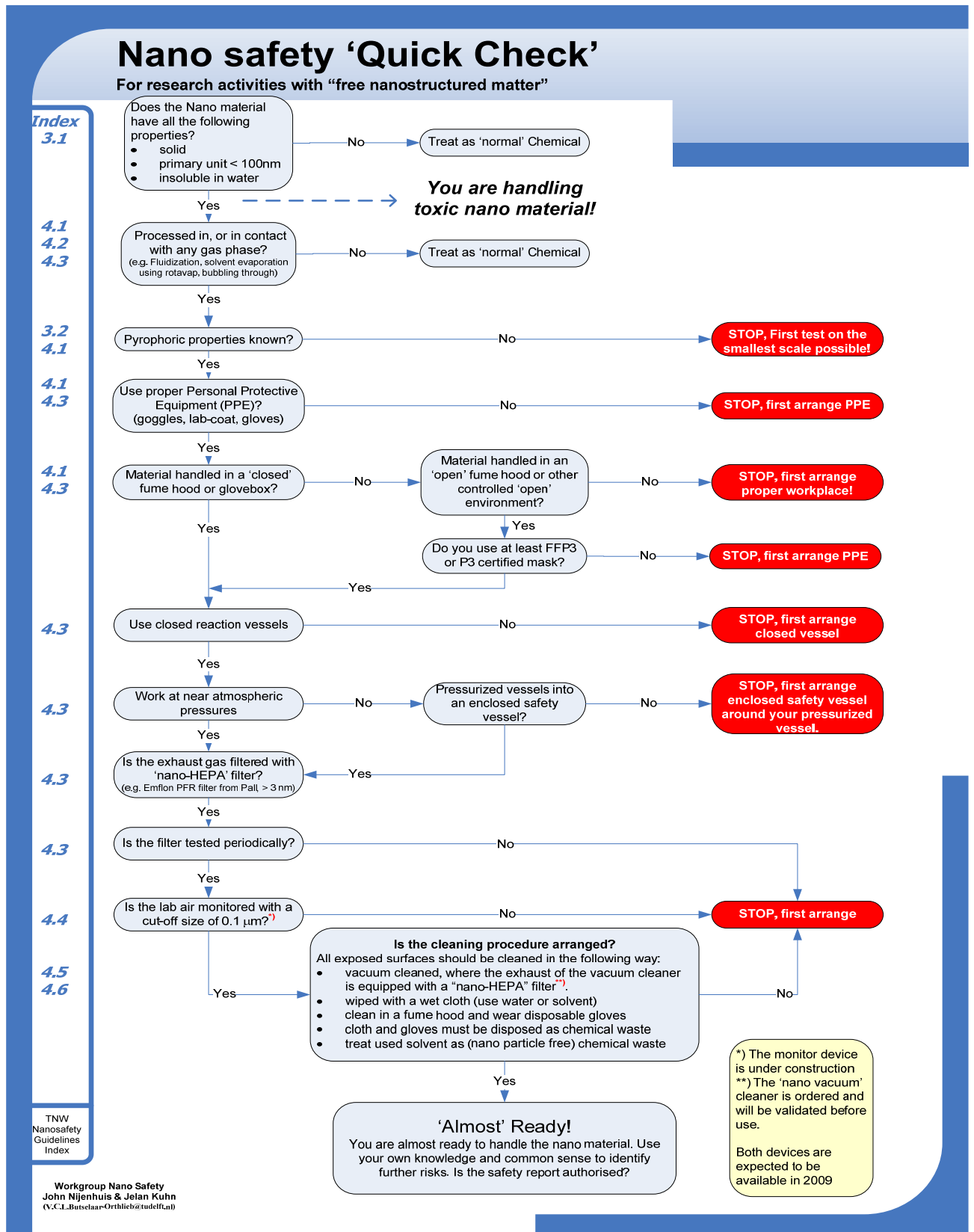
Entsorgung von Nanopartikeln:

- Mengen über dem Milligramm-Bereich als chemischen Abfall entsorgen, wenn die Löslichkeit des Teilchens in Wasser sehr gering ist (z. B. Gold, TiO_2);
- Bei höherer Löslichkeit Regeln je nach Toxizitätsklasse des makroskopischen Materials anwenden;
- Nanopartikel-Rückstände in Wasser vom Reinigen können in den Abfluss gespült werden.

Transport von Nanopartikeln:

- Wie normale Chemikalien, d.h. in geschlossenen Behältern.

Der folgende Ablaufplan fasst die Empfehlungen zusammen.



Themenblatt O: Control Banding & Nanomaterialien

Im Control-Banding-Ansatz³⁵ wird das Risiko stoffseitiger Gefahren bzw. Expositionen vereinfacht eingeschätzt, um Bänder von Maßnahmenstrategien zu erhalten, die je nach dem jeweiligen Gefährdungspotenzial einen ausreichenden Schutz der Beschäftigten gewährleisten sollen. Sie werden eingesetzt, wenn große Datenlücken existieren (z. B. in der pharmazeutischen Industrie) oder Ressourcen und fachliche Expertise nicht in ausreichendem Maß zur Verfügung steht (z. B. in kleineren Unternehmen)³⁶.

Sie können unter definierten Bedingungen nützliche Orientierungshilfe und sinnvolles Hilfsmittel bei der Gefährdungsbeurteilung und der Auswahl von Schutzmaßnahmen darstellen, eine umfassende quantitative Gefährdungsbeurteilung oder klassische Expertenmethoden jedoch nicht gänzlich ersetzen (NIOSH, 2009c). Sie sollten mit herkömmlichen Grenzwert- und Expositionsbegrenzungsmethoden ergänzt werden um z. B. zu überprüfen, ob die Schutzmaßnahmen wirken und richtig umgesetzt wurden. CB-Strategien können auch nicht für alle Arbeitssituationen die notwendige Genauigkeit und Sicherheit bieten. Auch das deutsche Einfache Maßnahmenkonzept Gefahrstoffe, das auf KMU zielt, nimmt bspw. bestimmte Tätigkeiten und Stoffe von der Anwendbarkeit ausdrücklich aus (z. B. Arbeiten in der Gasphase oder mit explosionsgefährlichen Stoffen). Überdies stellt es für die einzelnen Maßnahmenebenen detaillierte Schutzleitfäden bereit.

Die Anwendung von CB für eine vollständige Gefährdungsbeurteilung erfordert noch eine Weiterentwicklung auf Basis von Expositionsmodellen, was aufgrund mangelnder Daten über Nanomaterialien und spezifische Expositionen derzeit nicht möglich ist.

Control Banding im Nano-Bereich

Es lohnt es sich jedoch, sich mit Control-Banding für Nano-Arbeiten näher zu befassen, solange die Kenntnisse über Nanomaterialien sehr unvollständig sind und unzureichend kommuniziert werden, sowie Expositions-messungen in der Praxis großen Problemen gegenüberstehen. Es muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass die Gruppierung von Nanomaterialien in spezifische Risikokategorien nach derzeitigem Wissen als noch nicht möglich erachtet wird (SCENIHR, 2009)!

Andrew Maynard stellte 2007 ein CB-Konzept mit je fünf Wirkungs- und Expositions-Indizes für Nanomaterialien in der Luft vor: Als Faktoren der Schadensschwere empfahl er Gefährlichkeit des Bulk-Materials, sowie Oberfläche, Oberflächenaktivität, Form und Größe des Nanomaterials, als Faktoren der Eintrittswahrscheinlichkeit dessen Staubigkeit und verwendete Menge. (Maynard, 2007).

³⁵ Auch: Risk Management Toolbox; im Weiteren mit "CB" bezeichnet.

³⁶ Siehe z. B. für Ersteres Naumann (2009), für Letzteres: COSHH Essentials in www.coshh-essentials.org.uk/ (UK); EMKG (Version 2.1) in: www.baua.de/cln_135/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/EMKG/EMKG.html (BAuA, DE); Stoffenmanager in: www.stoffenmanager.nl (NL).

Ein ausgefeilterer nano-spezifischer CB-Ansatz einer qualitativen Gefährdungsbeurteilung stammt von Paik et al. (2008). Ihr **CB Nanotool** ist Werkzeug, um eine Risikoklasse aus den Punktzahlen von Schadensschwere (Gefahrenband) und Eintrittswahrscheinlichkeit (Expositionsband) zu berechnen. Für jede von vier Risikoklassen wird eine, durch folgende Matrix definierte Schutzstrategie vorgeschlagen.

		EINTRITTSWAHRSCHEINLICHKEIT			
		Sehr unwahrscheinlich (0 - 25)	Wenig wahrscheinlich (26 - 50)	Wahrscheinlich (51 - 75)	Sehr wahrscheinlich (76 - 100)
SCHADENSSCHWERE	Sehr hoch (76 - 100)	Risikoklasse 3	Risikoklasse 3	Risikoklasse 4	Risikoklasse 4
	Hoch (51 - 75)	Risikoklasse 2	Risikoklasse 2	Risikoklasse 3	Risikoklasse 4
	Mittel (26 - 50)	Risikoklasse 1	Risikoklasse 1	Risikoklasse 2	Risikoklasse 3
	Niedrig (0 - 25)	Risikoklasse 1	Risikoklasse 1	Risikoklasse 1	Risikoklasse 2

Risikoklassenmatrix als Funktion von Schadensschwere und Eintrittswahrscheinlichkeit (Paik et al., 2008)

Die Maßnahmenbänder ("control bands") richten sich nach der Risikoklasse³⁷:

- Risikoklasse 1: Generelle Lüftungsmaßnahmen
- Risikoklasse 2: Abzüge oder Absaugung vor Ort
- Risikoklasse 3: Einkapselung
- Risikoklasse 4: Fachexpertise einholen

75% des maximalen Wertes eines Risikofaktors werden bei unbekanntem Risiko zugeteilt. Damit ist Einkapselung (Risikoklasse 3) die Standardmaßnahme, wenn alles "unbekannt" ist; und wenn auch nur Risikofaktor als "hoch" bewertet wird und alle anderen "unbekannt" sind, ergibt sich maximale Kontrolle und Expertenberatung als erforderlich (Risikoklasse 4; Paik et al., 2008).

Die Autoren weisen auf Einschränkungen hin (Paik et al., 2008, Zalk et al., 2009):

- So bestimmen die einzelnen Risikofaktoren und die ihnen zugeordneten Punktzahlen letztlich das gesamte Risiko. Sie reflektieren den derzeitigen Wissensstand über Expositionen gegenüber Nanomaterialien und können sich daher verändern.
- Dieses Instrument ist immer mit "gewisser Vorsicht" zu verwenden, da es auf Einschätzungen beruht (z. B. der Gewichtung von Faktoren).
- Die entwickelten Wertbereiche entsprechen denen, die bei Forschungstätigkeiten zu erwarten sind.
- Obwohl das CB-Nanotool von vielen Einrichtungen und Unternehmen angewendet und sogar als Beste Praxis (Ostiguy et al., 2009) bewertet wurde, sollte es nicht direkt angewendet werden, ohne zu prüfen und zu überlegen, was der jeweiligen Anlage entspricht.

³⁷ Vgl. die analogen EMKG-Maßnahmenbänder (Version 2.1): Grundmaßnahmen, Erweiterter Maßnahmenbedarf, Hoher Maßnahmenbedarf, Expertenwissen.

Dies und eine eventuell nötige Anpassung der Wertbereiche in Bezug auf die Situation im Betrieb und das akzeptable Risikoniveau braucht ebenso Fachexpertise wie der Fakt, dass sich die relative Wichtigkeit eines Faktors im Vergleich zu einem anderen ändern kann, wenn mehr Kenntnisse über negative Wirkungen zur Verfügung stehen.

CB-Nanotool ist kein statisches, sondern ein dynamisch weiter entwickelbares Instrument. Beispielsweise kann Staubigkeit als Faktor der messbaren gesamten Oberfläche des Nanopartikels und/oder der Partikelzahl definiert werden. Es benötigt daher ExpertInnenwissen und -erfahrung und ist nicht ohne Weiteres in der Praxis anwendbar.

Überhaupt werden sich mit der Zeit die Art der Nano-Arbeit und der Schutzmaßnahmen verändern, wenn mehr Informationen über die Expositionsszenarien verfügbar sind.

Die Pilotversion (Paik et al., 2008; Ostiguy et al., 2009) wird als Webtool von der ILO <http://goodnanoguide.org/tiki-index.php?page=Control+Banding> zur Verfügung gestellt. Sie wurde in den LLN und anderen Laboratorien praktisch geprüft, in Zeitschriften peer-reviewt und auf internationalen Tagungen und Workshops präsentiert. Daraufhin wurde sie überarbeitet und als zweite Version CB Nanotool 2.0 im Web veröffentlicht: www.controlbanding.net/Services.html³⁸ (Zalk et al., 2009)

Wichtige Veränderungen betrafen bspw. die Einführung eines zusätzlichen Risikofaktors bei der Schadensschwere, die Berücksichtigung des asthmaauslösenden Potenzials und eine strengere Gewichtung vorhandener Grenzwerte für das Bulk-Material.

Die Berechnung der Indizes für Schadensschwere und Eintrittswahrscheinlichkeit ist auf der folgenden Seite abgebildet. Die ausgewählten Faktoren basieren auf Auswertung der Literatur in Bezug auf ihre Relevanz. Die Gewichtungen dieser verschiedenen Risikofaktoren werden als schwierigster Schritt bei der Ausarbeitung des CB-Nanotools gesehen. (Zalk et al, 2009)

Die Schadensschwere wird zu 70% von Risikofaktoren des Nanomaterials, zu 30% von Risikofaktoren des Bulkmaterials (Ausgangsmaterial) bestimmt:

- Beim Nanomaterial physikalische und chemische Merkmale (starke Gewichtung), sowie toxikologische Eigenschaften;
- Beim Bulkmaterial Grenzwert und dieselben toxikologischen Eigenschaften.

Bei Datenlücken werden 75% der jeweiligen maximalen Punktezahl zugeschrieben.

Die Eintrittswahrscheinlichkeit bezieht sich auf die Wahrscheinlichkeit für Beschäftigte, gegenüber Nanomaterialien potenziell exponiert zu sein. Hier gehen die vorhandenen Schutzmaßnahmen mit ein:

- Das Freisetzungsvermögen (Staubigkeit bzw. Aerosolbildung) ist zu knapp einem Drittel bestimmend; dies beeinflusst in erster Linie die inhalative Exposition, indirekt aber auch die dermale Exposition.
- Die geschätzte Verwendungsmenge ist ein wenig geringer gewichtet;
- Weitere Faktoren sind die Anzahl der Beschäftigten, sowie Dauer und Häufigkeit der Tätigkeit mit Nanomaterialien.

Bei Datenlücken werden 75% der jeweiligen maximalen Punktezahl zugeschrieben.

³⁸ Dort sind Leitfäden, Formblätter und Beispiele downloadbar; Praktische Beispiele finden sich auch in Paik et al. (2008) und vor allem in Zalk et al. (2009), wo die schwierigen Gewichtungen der verschiedenen Risikofaktoren zusammenfassend diskutiert wird.

CB-Nanotoool
(Version 2.0)

Zalk et al., 2009

Faktoren Schadensschwere:	niedrig	mittel	unbekannt	hoch
Oberflächenchemie Nanopartikel; Reaktivität und Fähigkeit, freie Radikale zu erzeugen	0 niedrig	5 mittel	7,5	10 hoch
Form Nanopartikel	0 kugelförmig o. kompakt	5 unregelmäßig / anisotrop	7,5	10 röhren- oder faserförmig
Durchmesser Nanopartikel	0 41 bis 100 nm	5 11 bis 40 nm	7,5	10 1 bis 10 nm
Löslichkeit Nanopartikel	0 nein	5 löslich	7,5	10 unlöslich
Karzinogenität Nanopartikel	0 nein		4,5	6 ja
Reproduktionstoxizität Nanopartikel	0 nein		4,5	6 ja
Mutagenität Nanopartikel	0 nein		4,5	6 ja
Dermale Toxizität Nanopartikel	0 nein		4,5	6 ja
Asthmaverursachung Nanopartikel	0 nein		4,5	6 ja
Toxizität Bulkmaterial	0 TWA/MAK > 1 mg/m ³	5 TWA/MAK 0,1 bis 0,01mg/m ³	7,5	10 TWA/MAK < 0,01 mg/m ³
Karzinogenität Bulkmaterial	0 nein		3	4 ja
Reproduktionstoxizität Bulkmaterial	0 nein		3	4 ja
Mutagenität Bulkmaterial	0 nein		3	4 ja
Dermale Toxizität Bulkmaterial	0 nein		3	4 ja
Asthmaverursachung Bulkmaterial	0 nein		3	4 ja

Berechnung Index Schadensschwere:

Punkte summieren (max. 100):
0 - 25 niedrig,
26 - 50 mittel,
51 - 75 hoch,
76 - 100 sehr hoch

Faktoren Eintrittswahrscheinlichkeit:	niedrig	mittel	unbekannt	hoch
Geschätzte Verwendungsmenge an Nanomaterialien bei der Tätigkeit	6,25 0 - 10 mg	12,5 11 - 100 mg	unbekannt	hoch
Staubigkeit / Nebelbildung der Nanomaterialien (Freisetzungsvermögen)	0 (keine)		18,75	25 > 100 mg
	7,5 (niedrig)	15	22,5	30
Anzahl der ArbeitnehmerInnen mit vergleichbarer Nano-Exposition	0 1 - 5	10 11 - 15	11,25	15 > 15
	5 6 - 10			
	weniger als monatlich monatlich	10 wöchentlich	11,25	15 täglich
Dauer der Nano-Tätigkeiten	0 < 30 Minuten 30-60 Minuten	10 1 - 4 Stunden	11,25	15 > 4 Stunden

Berechnung Index Eintrittswahrscheinlichkeit:

Punkte summieren (max. 100):
0 - 25 äußerst unwahrscheinlich,
26 - 50 wenig wahrscheinlich,
51 - 75 wahrscheinlich,
76 - 100 sehr wahrscheinlich

Ausblick

Die Anwendung des CB-Nanotools auf die Produktion von bzw. mit Nanomaterialien erfordert Anpassungen aus mehreren Gründen (Paik et al., 2008, Zalk et al., 2009):

- Bei Nano-Produktion in großem Maßstab können sich die verwendeten Wertbereiche von den in der vorliegenden Version verwendeten sehr unterscheiden, vor allem bei den Risikofaktoren für die Eintrittswahrscheinlichkeit.
- Es gibt es üblicherweise mehrere Produktionsschritte, die alle zu prüfen sind.
- Vor allem sind die Mengen verwendeter Nanomaterialien viel größer als in Forschung und Entwicklung, sodass der entscheidende Faktor, der die Wahrscheinlichkeit von Nano-Expositionen bei verschiedenen Tätigkeiten beeinflusst, das Freisetzungsvermögen ist, d.h. die Staubigkeit bzw. Nebelbildung (Aerosolbildung).
- Quantitative Messungen sind hier ein wesentlicher Teil der Prüfung der Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen.
- Die Informationen innerhalb der Lieferkette insbesondere über Sicherheitsdatenblätter stellen eine potenziell sehr wichtige Datenquelle dar, die jedoch derzeit nicht befriedigend ist, was nano-skalige Bestandteile betrifft.

Dafür ist fachliche Expertise, auch speziell hinsichtlich Nanotechnologien und Nanomaterialien, unbedingt notwendig.

In einer aktuelleren Literaturanalyse von Nano-Schutzmaßnahmen wird empfohlen, Control Banding und ähnliche Ansätze in Forschungs- und frühen Entwicklungsstadien anzuwenden, in der späteren Entwicklung und in der Produktion dagegen eine umfassendere Risikoabschätzung vorzunehmen (Safe Work, 2009).

Derzeit gibt es in Bezug auf Nano-CB Aktivitäten in unterschiedlichen Einrichtungen bzw. Ländern. Es ist daher empfehlenswert, die Entwicklungen auf diesem Gebiet laufend zu beobachten und auf ihre Anwendbarkeit im Produktionsbereich und insbesondere für kleinere Unternehmen zu prüfen.

Dazu gehört auch die Weiterentwicklung des **Stoffenmanager**, des holländischen web-gestützten Hilfsmittels für Expositionsbeurteilung und Control Banding (Festlegung von Schutzmaßnahmen). Der Stoffenmanager ist kostenlos online auf Niederländisch und Englisch zugänglich: www.stoffenmanager.nl

Im Auftrag des Sozialministeriums wird 2010 eine neue Version 4.5 entwickelt. Dazu soll auch ein CB-Nano-Modul gehören.

An einem Control Banding-Ansatz für das Risikomanagement technischer Nanomaterialien arbeitet derzeit auch das internationale Normeninstitut, **ISO**. Der endgültige Leitfaden soll im März 2012 veröffentlicht werden. Ein Arbeitspapier skizziert den konzeptuellen Rahmen (ISO, 2009a):

1. Nanomaterial einem Gefahrenband zuordnen

Eine der Herausforderungen ist es, innerhalb der Toxizitätsbestimmenden Faktoren eine begrenzte Gruppe auszuwählen und zu gewichten, sodass die Gefahr repräsentiert wird, ohne durch zu viele Faktoren in der Anwendung zu kompliziert zu sein. Hier wird ein zweistufiges Vorgehen vorgeschlagen, das toxikologische Endpunkte des Bulkmaterials (via Grenzwerte und Risikohinweise bzw. Gefahrenhinweise) und des nano-skalierten Materials (physikalisch-chemische Eigenschaften und toxikologische Daten, soweit vorhanden) berücksichtigt.

2. Expositionsvermindernde Faktoren bestimmen (Expositionsband)

Damit wird das Potenzial von Nanomaterialien beschrieben, unter normalen Prozessbedingungen in die Luft am Arbeitsplatz zu gelangen. Vorgeschlagen werden vier Hauptfaktoren, die zum Emissionspotenzial beitragen (Staubigkeit, physikalische Form, eingesetzte Menge) bzw. sich auf die hauptsächlichen Tätigkeiten beziehen (Art des Prozesses / der Arbeit und deren Wahrscheinlichkeit, Nanomaterial freizusetzen). Die vorhandenen Schutzmaßnahmen sind in diesem Ansatz keine Eingangsgröße.

3. Empfohlene Schutzmaßnahmen und Gute Praxis festlegen (Maßnahmenband):

Vier Maßnahmenbänder werden im Konzept vorgeschlagen:

- Gute arbeitshygienische Praxis einsetzen;
- Lokale Absaugung einsetzen;
- Prozess inkapseln / gute Lüftungsmaßnahmen und Kapselung;
- Völlig geschlossene Systeme / keine offene Handhabung.

Themenblatt P: Vorsorgeraster

Der Schweizer Vorsorgeraster (BAG/BAFU, 2010) zielt auf Klein- und Mittelbetriebe und ist keine Risikobeurteilung, sondern mittels eines groben Screenings eine erste Abschätzung, ob und wo in der Produktion und Anwendung nanospezifische Risiken auftreten können³⁹.

Der vorsorgende nano-spezifische Handlungsbedarf synthetischer Nanomaterialien für ArbeitnehmerInnen, KonsumentInnen und Umwelt wird mittels zwei Klassen gezeigt:

- Klasse A: Nanospezifischer Handlungsbedarf auch ohne Vorliegen weiterer Abklärungen gering
- Klasse B: Nanospezifischer Handlungsbedarf gegeben, Prüfung bestehender Maßnahmen, weiterführende Abklärungen und erforderlichenfalls Risikominderungsmaßnahmen erforderlich

Die Ermittlung ist getrennt für die verschiedenen Prozesse durchzuführen, ggfs. mit einer situationsbezogenen Unterteilung in verschiedene Tätigkeiten. Der Vorsorgeraster gilt nur für spezifische Arten von Nanomaterialien in genau definierter Umgebung. Bei Änderung der physikalischen Umgebung (z. B. in Bezug auf Lösungsmittel, Matrix bzw. Substrat, Aggregatzustand), der Anwendungsbedingungen oder der Nanomaterialien im Gebrauch (z. B. schnelles Auflösen einer Beschichtung) ist er neuerlich durchzuführen.

Nach Abklärung der „Nano-Relevanz“ (siehe Leitfaden) ergibt sich der Vorsorgebedarf in erster Linie aus dem Wirkungspotenzial der Nanomaterialien und der potenziellen Exposition des Menschen bzw. dem potenziellen Eintrag in die Umwelt.⁴⁰ Zusätzlich werden Rahmenbedingungen bzw. Informationsstand berücksichtigt. Es wird jeweils der Normalbetrieb und ein „Worst case“-Szenario betrachtet.

Informationsstand:

- Herkunft der nanoskaligen Ausgangsmaterialien;
- Datenbasis für nanoskalige Ausgangsmaterialien;
- Nächste Verwender der Nanomaterialien;
- Materialsystem, Störfaktoren (z. B. Verunreinigungen).

Wirkungspotenzial der Nanomaterialien:

- Redoxaktivität und/oder katalytische Aktivität;
- Stabilität (Halbwertszeit) im Körper.

³⁹ Unter www.bag.admin.ch/themen/chemikalien/00228/00510/05626/ sind Informationen und Hilfsmittel zum Vorsorgeraster zu finden.

⁴⁰ Längere Fasern sind gesondert zu bewerten.

Potenzielle Exposition des Menschen:

- Physikalische Umgebung:
 - Luft
 - Aerosole über 10 μm
 - Aerosole unter 10 μm
 - Flüssige Medien
 - Feste Matrix, nicht stabil unter Gebrauchsbedingungen
 - Feste Matrix, stabil unter Gebrauchsbedingungen, Nanopartikel mobil
 - Feste Matrix, stabil unter Gebrauchsbedingungen, Nanopartikel nicht mobil
- Maximal mögliche Exposition:
 - Verwendete Menge an Nanomaterialien pro Tag;
 - Menge an Nanomaterialien, mit der ein/e ArbeitnehmerIn im "worst case" in Kontakt kommen kann;
 - Häufigkeit der Handhabung von Nanomaterialien.

Das Ausfüllen des Rasters soll rund eine Stunde benötigen. Diese Zeit wird jedoch ohne Einschulung bzw. beim ersten Mal vermutlich nicht genügen. Ein elektronisches Hilfsmittel in Form eines Excel-sheets wird zur Verfügung gestellt.

Die Beschränkung auf die Bildung von nur zwei Gruppen scheint nicht ausreichend zu sein. Überdies ist diskussionswürdig, dass das Endergebnis in einer exakten Punktzahl ausgedrückt wird. Allerdings ist auch nach den AutorInnen das Aufsummieren über den gesamten Lebenslauf nicht sehr aussagekräftig. Detaillierte Aussage zum genauen Vorsorgebedarf ergeben sich erst aus der Analyse der einzelnen Parameter, z. B. sollten beim Auftreten von hohen Punktezahlen in bestimmten Aspekten und Bereichen dort nähere Ermittlungen angestellt und wenn nötig Maßnahmen getroffen werden.

Dieses Hilfsmittel liefert also allgemeine Aussagen und dient der Bewusstseinsbildung.

Glossar

Adsorption:

Anreicherung von Stoffen aus Gasen oder Flüssigkeiten an einer Feststoff-Oberfläche.

Aerosol:

Gemisch aus fein verteilten festen oder flüssigen Teilchen und einem Gas, z. B. bei festen Teilchen Staub oder Rauch, bei flüssigen Nebel.

Agglomerat:

(Sekundärpartikel) Ansammlung von schwach miteinander verbundenen → Primärpartikeln, Aggregaten oder einer Kombination von diesen. Die Oberfläche des Agglomerats ist etwa vergleichbar mit der Summe der Oberfläche seiner Bestandteile.

Aggregat:

(Sekundärpartikel) Gruppe fest aneinander gebundener → Primärpartikel, entsteht z. B. durch Versintern. Die Oberfläche des Aggregats kann deutlich kleiner sein als die Summe der Oberflächen seiner Bestandteile.

Biobeständig (Biopersistent):

Eigenschaft von Stoffen, unverändert durch physikalische, chemische oder biologische Prozesse in der Umwelt zu verbleiben, z. B. im Körper nicht abbaubar zu sein.

Bulkform, Bulkmaterial:

Mit Bulkform ist die „Grobform“, die makroskopische Form eines Materials derselben chemischen Zusammensetzung gemeint (im Gegensatz zur Nano-Form).

Carbon Black:

Industrieruß, der unter kontrollierten Bedingungen synthetisiert wird und physikalisch und chemisch exakt definiert ist.

CNTs:

→ Kohlenstoff-Nanoröhrchen.

Coating:

Veränderung der Oberfläche der Primärpartikel durch Beschichten, um neue Eigenschaften zu erreichen, sie z. B. stabiler und weniger reaktiv zu machen.

Control Banding:

Vereinfachte Einschätzung von stoffbezogenen Risiken bzw. Expositionen, um Bänder von Maßnahmenstrategien zu erhalten, die jeweils einen ausreichenden Schutz der Beschäftigten gewährleisten sollen (→ Themenblatt O „Control Banding“).

Dendrimere:

Baumähnliche verzweigte Polymerstrukturen mit einer im Idealfall symmetrischen, kugelförmigen Struktur der Moleküle. Die Eigenschaften des Innenraums bzw. die speziellen Oberflächeneigenschaften der Verästelungen können für den Transport von Wirkstoffen genutzt werden.

Dispersion:

Gemenge aus mindestens zwei Stoffen, die sich nicht oder kaum ineinander lösen oder chemisch miteinander verbinden. Bei Nano-Dispersionen besteht mindestens ein Bestandteil aus → nanoskaligen Partikeln: → Nano-Aerosol, → Nano-Suspension, → Nano-Emulsion.

Exposition:

Ausgesetzt sein des Körpers (z. B. von ArbeitnehmerInnen) gegenüber potenziell schädlichen Einflüssen.

Expositionsszenario:

Sammlung von Bedingungen, inkl. Verwendungsbedingungen und Risikomanagementmaßnahmen, mit denen beschrieben wird, wie ein Arbeitsstoff hergestellt oder verwendet wird, sodass es nicht zu gesundheitlichen Schädigungen kommen kann.

Epidemiologische Studie:

Wissenschaftliche Untersuchung eines Ursache-Wirkungs-Zusammenhangs innerhalb einer Bevölkerung(sgruppe).

Freisetzungsvermögen:

Fähigkeit eines Arbeitsstoffs, aufgrund seiner Eigenschaften in die Luft zu gelangen und z. B. dadurch die ArbeitnehmerInnen gefährden zu können. Es muss zwischen den Aggregatzuständen fest bzw. flüssig unterschieden werden: Bei festen Stoffen stehen die Partikelgröße und Bindung im Vordergrund („Staubigkeit“), bei Flüssigkeiten jedoch Anwendungstemperatur, Dampfdruck und Siedepunkt („Nebelbildung“).

Fullerene:

Aus zahlreichen Kohlenstoffatomen zusammengesetzte kugelförmige, käfigförmige Moleküle. Stabilstes Fulleren ist das aus 60 Kohlenstoffatomen bestehende C₆₀, eine geschlossene Kugel mit 12 Fünf- und 20 Sechsecken in Form eines Fußballs.

Graphen:

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

HEPA-Filter (high efficiency particulate airfilter):

Schwebstofffilter mit Partikelfilterklassen H10 bis H14, die Abscheidegrade von über 85% bis über 99,975% besitzen.

Inspektion:

Feststellung des Ist-Zustandes, z. B. einer Anlage oder Absaugung (vorbeugender Charakter).

Instandhaltung:

Oberbegriff für → Inspektion, → Wartung und → Instandsetzung.

Instandsetzung:

Wiederherstellung des Soll-Zustandes, z. B. einer Anlage oder Absaugung. Unterschieden werden kann zwischen vorbeugender Instandsetzung (z. B. Teile mit Verschleißcharakter zu festgelegten Terminen unabhängig von ihrem Zustand auswechseln) und ereignisorientierter Instandsetzung bzw. Reparatur (defekte Teile nach Schadensfeststellung wieder instandsetzen).

Kohlenstoff-Nanoröhrchen (carbon nanotubes):

→ Nanoskalige zylindrische Röhren aus Kohlenstoff, vorstellbar als aufgerollte ein- oder mehrlagige Graphitschicht. Es gibt einwandige Kohlenstoff-Nanoröhrchen (single-walled carbon nanotubes – SWCNT) und mehrwandige Kohlenstoff-Nanoröhrchen (multi-walled carbon nanotubes – MWCNT).

Massenkonzentration:

Gehaltsangabe der Masse eines Stoffes bezogen auf das Volumen eines Stoffgemisches oder einer Lösung (in mg/m³). Im vorliegenden Leitfaden geht es um die Konzentration eines Arbeitsstoffes als Gas, Dampf oder Schwebstoff in der Luft am Arbeitsplatz

Nano-Aerosol (airborne nanoparticles):

→ Aerosol mit → nanoskaligen Partikeln.

Nano-Emulsion:

Eine → Dispersion, bei der flüssige Nanopartikel fein verteilt in flüssigen Medien vorliegen, z. B. Öl-in-Wasser-Emulsion.

Nanofasern (nanofibres):

→ Nanoobjekte mit zwei gleich großen → nanoskaligen und einer deutlich größeren dritten Dimension (Raumrichtung). Zu den Nanofasern gehören elektrisch (halb-) leitende Fasern (nanowires), → Nanoröhrchen (nanotubes) und feste Nanostäbchen (nanorods).

Nanokomposite (nanocomposites):

In einer homogenen Mischung aus mehreren Materialien zusammengesetzte Verbundwerkstoffe. Gewünschte Eigenschaften der Matrixmaterialien werden z. B. durch Zugabe von Additiven wie Füllstoffe, Verstärkungsstoffe etc. erreicht.

Nanomaterialien (nanomaterials):

Künstlich hergestellte Materialien, die meist mit drei Eigenschaften verbunden werden: annähernd im Größenbereich zwischen 1 und 100 Nanometern; in mindestens einer inneren oder äußeren Dimension (Raumrichtung) → nanoskalig; dadurch neue Eigenschaften. (→ Themenblatt A „Definition-Charakterisierung“). Bei Nanomaterialien wird zwischen → Nano-Objekten und → Nano-strukturierten Materialien unterschieden.

Nanometer (nm):

Milliardster Teil eines Meters (10^{-9} m); Abkürzung „nm“.

Nano-Objekte (nano-objects):

Materialien, deren äußere Abmessungen in einer, zwei oder drei Dimensionen nanoskalige Größe (zwischen ca. 1 nm bis 100 nm) aufweisen. Nano-Objekte können nach → Nanopartikeln, → Nanofasern (Nanostäbchen) und → Nanoplättchen unterteilt werden.

Nanopartikel (nanoparticles):

→ Nanoobjekte, bei denen alle drei äußeren Abmessungen → nanoskalige Werte aufweisen.

Nanoplättchen (nanoplates, nanopellets):

→ Nanoobjekte, deren äußere Dimensionen (Raumrichtungen) in einer Ausdehnung → nanoskalige und in zwei Dimensionen deutlich größere Werte aufweisen.

Nanopulver:

Bestehen aus → nanoskaligen Partikeln, wobei die mittlere Partikelgröße definitionsgemäß kleiner als circa 100 nm ist.

Nanoröhrchen (nano tubes):

Hohle → Nanoobjekte mit zwei gleich großen → nanoskaligen und einer deutlich größeren dritten Dimension (Raumrichtung).

Nanoskalig (nanoscale):

Größenbereich, der circa von 1 nm bis 100 nm reicht.

Nanostrukturierte Materialien:

Haben eine → nanoskalige innere oder Oberflächenstruktur und treten oft als Verbundsysteme von → Nanoobjekten auf: → Aggregate, → Agglomerate, → Nano-Komposite.

Nano-Suspension:

→ Dispersion, bei der feste Nanopartikel fein verteilt und stabilisiert in flüssigen Medien, oft Wasser, vorliegen.

Nebelbildung:

→ Freisetzungsvermögen.

Primärpartikel:

Ursprünglich entstehendes einzelnes Teilchen, Grundbaustein größerer Einheiten.

Schwebstoffe:

Schwebstoffe oder suspendierte Stoffe sind z. B. in Luft enthaltene mineralische oder organische Feststoffe, die nicht in Lösung gehen, wie → Aerosole oder Stäube.

Staubigkeit:

→ Freisetzungsvermögen.

ULPA-Filter (ultra low penetration air):

Schwebstofffilter mit Partikelfilterklassen U15 bis U17, die Abscheidegrade von nahezu 100% besitzen.

Ultrafeine Partikel (UFP):

Alle Partikel, die kleiner sind als $0,1 \mu\text{m}$ (= 100 nm).

Quantenpunkte (quantum dots):

→ Nanostrukturierte Halbleiter, die in Form eines Kristallgitters aus einigen tausend Atomen halbleitender Materialien unterschiedlicher Art zusammengesetzt sind, wie z. B. Indium-Gallium-Arsenid (InGaAs) oder Cadmiumselenid (CdSe). Durch das Mischungsverhältnis der verschiedenen Atomsorten lassen sich die elektronischen und optischen Eigenschaften der Quantenpunkte maßschneidern.

Redoxpotential:

Das Redoxpotential eines Systems ist ein Maß für die Bereitschaft, in einer chemischen Reaktion Elektronen aufzunehmen und damit als Oxidationsmittel zu wirken.

Spezifische Oberfläche:

Oberfläche pro Volumseinheit.

Wartung:

Erhaltung des Soll-Zustandes, z. B. einer Anlage, Absaugung (vorbeugender Charakter).

WHO-Faser:

Lt WHO entsprechen folgende Faser-Abmessungen in ihrer krebserzeugenden Wirkung dem Asbest: Länge über $5 \mu\text{m}$, Durchmesser über $3 \mu\text{m}$, Verhältnis von Länge zu Durchmesser über 3:1.

Literatur

- BAG, SECO, BAFU (Hg.). Aktionsplan "Synthetische Nanomaterialien". Bericht des Bundesrates vom 9. April 2008. Bern: UVEK, 2008. DL: www.umwelt-schweiz.ch/div-4002-d
- Baron, Miriam. Guidance on Handling and Use of Nanomaterials. Conference on Nano-Safety, 22-24.4.2009. Ljubljana. DL: www.baua.de/
- BAFU (Hg.). Brand- und Explosionseigenschaften synthetischer Nanomaterialien. Erste Erkenntnisse für die Störfallvorsorge. Bern: Bundesamt für Umwelt, 2010. DL: www.bafu.admin.ch/publikationen/
- BASF (Hg.). Leitfaden zur sicheren Herstellung von und bei Tätigkeiten mit staubförmigen freien Nanopartikeln oder solche Partikel enthaltenden Produkten. Ludwigshafen: BASF, o.J. DL: www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/Nanotechnologie/Links-Beispiele.html_nnn=true
- BAuA (Hg.). Nanotechnologie. Online-Infos. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Web: www.baua.de/cln_137/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/Nanotechnologie/Nanotechnologie.html
- BAuA/VCI (Hg.) Leitfaden für Tätigkeiten mit Nanomaterialien am Arbeitsplatz. Frankfurt/Main: Verband der Chemischen Industrie (VCI), August 2008. DL: www.vci.de/
- Bayer (Hg.). Bayer Code of Good Practice zum Umgang bei Herstellung und On-Site-Gebrauch von Nanomaterialien. Leverkusen: Bayer, August, 2007. DL: www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/Nanotechnologie/Links-Beispiele.html_nnn=true
- BMU (Hg.). Verantwortlicher Umgang mit Nanotechnologien. Bericht und Empfehlungen der NanoKommission der deutschen Bundesregierung 2008. Berlin: Bundesumweltministerium – NanoKommission, November, 2008. DL: www.bmu.de/nanokommission
- Boenke, Achim. Nanomaterials in EU Chemicals Legislation: Aspects for Worker Protection. IP NANOKER workshop "Nanomaterials and Environment: Handling and Management in Research Facilities", Brussels, 20.12.2006. Brussels: DG Enterprise, 2006. DL: www.nanoker-society.org/
- Borm, Paul; Houba, Remko; Linker, Fenneke. Good Uses of Nanomaterials in the Netherlands. Maastricht: Nano4All, Oktober 2008. DL: www.nano4all.nl/Reporshortsummary.pdf
- Bouillard, Jaques. How to estimate nanoaerosol explosion risk? nanoSAFE (Hg.), October, 2008. DL: [www.nanosafe.org/home/liblocal/docs/Dissemination report/DR4_s.pdf](http://www.nanosafe.org/home/liblocal/docs/Dissemination%20report/DR4_s.pdf)
- Bouillard, Jaques; Crossley, Alison; Dien, Jean-Michel; Dobson, Peter; Klepping, Tony; Vignes, Alexis. What about explosivity and flammability of nanopowders? Safety Parameters Characterisation Techniques for Nanoparticles. nanoSAFE (Hg.), February, 2008. DL: [www.nanosafe.org/home/liblocal/docs/Dissemination report/DR2_s.pdf](http://www.nanosafe.org/home/liblocal/docs/Dissemination%20report/DR2_s.pdf)
- Brun, Emanuelle. Nanomaterials and occupational safety and health in the EU. European Responsible Care Conference, Prag, 21.-23.10.2009. DL: <http://cefic.be/en/responsible-care-events.html>
- BSI (ed.). Nanotechnologies – Part 2: Guide to safe handling and disposal of manufactured nanomaterials. PD 6699-2:2007. London: British Standards Institution, Dezember 2007. DL: www.bsigroup.com/ [2007b]
- BSI (ed.). Nanotechnologies – Part 1: Good practice guide for specifying manufactured nanomaterials. PD 6699-1:2007. London: British Standards Institution, Dezember 2007. DL: www.bsigroup.com/ [2007a]
- BAG / BAFU (Hg.). Merkblatt zum Vorsorgeraster für synthetische Nanomaterialien (Version 2.0). Bern: Bundesamt für Gesundheit, Bundesamt für Umwelt, März, 2010. DL: www.bag.admin.ch/themen/chemikalien/00228/00510/05626/ [2010c]
- BAG / BAFU (Hg.). Wegleitung zum Vorsorgeraster für synthetische Nanomaterialien (Version 2.0). Bern: Bundesamt für Gesundheit, Bundesamt für Umwelt, März, 2010. DL: www.bag.admin.ch/themen/chemikalien/00228/00510/05626/ [2010b]

- BAG / BAFU (Hg.). Vorsorgeraster für synthetische Nanomaterialien (Version 2.0). Bern: Bundesamt für Gesundheit, Bundesamt für Umwelt, März, 2010. DL: www.bag.admin.ch/themen/chemikalien/00228/00510/05626/ [2010a]
- Engel, Stefan. Risk Assessment Dealing With Nanomaterials. Meeting NanoCap - BASF, Ludwigshafen, 16.1.2007.
- Engel, Stefan. Erfahrungen bei Expositionsmessungen am Arbeitsplatz. VCI Stakeholder Dialog Nanomaterialien am Arbeitsplatz, 19.04.2007. Frankfurt/Main: VCI, April 2007. DL: www.vci.de/
- European Parliament. Report on regulatory aspects of nanomaterials. 2008/2208(INI); Committee on the Environment, Public Health and Food Safety; Rapporteur Carl Schlyter. Brüssel: European Parliament, April 2009.
- Evonik (Hg.) Gesundheitsschutz für Mitarbeiter. Essen: Evonik, o.J. DL: <http://nano.evonik.com/sites/nanotechnology/de/verantwortung/sichere-produktion/>
- Golanski, Luana; Guillot, Arnaud; Tardif, François. Are conventional protective devices such as fibrous filter media, cartridge for respirators, protective clothing and gloves also efficient for nanoaerosols? Efficiency of fibrous filters and personal protective equipments against nanoaerosols. nanoSAFE (Hg.), January, 2008. DL: www.nanosafe.org/home/liblocal/docs/Dissemination_report/DR1_s.pdf
- GoodNanoGuide. Internet-based collaboration platform, Basic, Intermediate and Advanced sections. ICON (International Council on Nanotechnology). Web: <http://goodnanoguide.org/>
- HA (Hg.). Sichere Verwendung von Nanomaterialien in der Lack- und Farbenbranche. Ein Betriebsleitfaden. Schriftenreihe Hessen Nanotech, Band 11 (Vorabdruck). Wiesbaden: Hessen Agentur, September 2009. DL: www.hessen-nanotech.de/mm/Betriebsleitfaden_NanoFarbeLacke_Vorab.pdf [2009b]
- HA (Hg.). NanoKommunikation. Leitfaden zur Kommunikation von Chancen und Risiken der Nanotechnologien für kleine und mittelständische Unternehmen in Hessen. Schriftenreihe Hessen Nanotech, Band 4. Wiesbaden: Hessen Agentur, März 2009 (2.Aufl.). DL: www.hessen-nanotech.de/mm/Leitfaden-Kommunikation-Nanotech-Chancen-Risiken-KMU-final-Web.pdf [2009a]
- HA (Hg.). Innovationsfördernde Good-Practice-Ansätze zum verantwortlichen Umgang mit Nanomaterialien. Eine Übersicht zu Handlungsempfehlungen für kleine und mittelständische Unternehmen in Hessen. Supplement zum Leitfaden NanoKommunikation. Wiesbaden: Hessen Agentur, Mai 2008. DL: www.hessen-nanotech.de/mm/Suppl-NanoKomm_final_Web.pdf
- Hallock, Marilyn F.; Greenley, Pam; DiBernardis, Lou; Kallin, Dan. Potential risks of nanomaterials and how to safely handle materials of uncertain toxicity. In: *JCHAS*, Vol. 16, Issue 1, p. 16-23, January/February 2009. DL: www.mendeley.com/download/public/12110/34610957/b224f238eea2dd5369400c67671a6898f71cfbe2/dl.pdf
- Holden, Patricia A. et al. Health and Safety Practices in the Nanomaterials Workplace: Results from an International Survey. In: *Environ. Sci. Technol.*, 2008, 42 (9), S. 3155-3162.
- Hull, Matthew S. Nanotechnology Environmental, Health and Safety: A Guide for Small Business. In: GoodNanoGuide website, upload 14. Juli 2010. DL: <http://goodnanoguide.org/Basic>
- IFA (Hg.). Ultrafeine Aerosole und Nanopartikel am Arbeitsplatz. Online-Infos. St. Augustin: Institut für Arbeitsschutz des DGUV. Web: www.dguv.de/ifa/de/fac/nanopartikel/index.jsp
- ISO (ed.). Preparation of Material Safety Data Sheet (MSDS) for nanomaterials. ISO TS 13329. Genf: ISO, 2009. [2009b]
- ISO (ed.). Guidelines for occupational risk management applied to engineered nanomaterials based on a 'control banding approach'. ISO TS 12901-2, edition 1 (final standard to be published March 2012). Genf: ISO, 2009. [2009a]
- ISO (ed.). Nanotechnologies -- Terminology and definitions for nano-objects -- Nanoparticle, nanofibre and nanoplate. ISO/TS 27687:2008, edition 1 (in revision). Genf: ISO, 2008. [2008b]
- ISO (ed.). Nanotechnologies - Health and safety practices in occupational settings relevant to nanotechnologies. ISO/TR 12885:2008. Genf: ISO, 2008. [2008a]

- JRC (Lövestam, Göran, et al.). Considerations on a Definition of Nanomaterial for Regulatory Purposes. Reference Report by the Joint Research Centre (JRC) of the European Commission. Luxemburg: European Union, 2010. DL: http://ec.europa.eu/dgs/jrc/downloads/jrc_reference_report_201007_nanomaterials.pdf
- Kelly, Richard J. Occupational medicine implications of engineered nanoscale particulate matter. In: *JCHAS*, Vol. 16, Issue 1, p. 24-39, January/February 2009. DL: <http://escholarship.org/uc/item/3rk3p677>
- Kittel, Günther; Elsigan, Gerhard; Bettelheim, Peter. Umgang mit Nano im Betrieb. Erfahrungen aus Fallstudien in Österreich. Linz: PPM forschung + beratung, Dezember 2009. DL: www.arbeitsinspektion.gv.at/AI/Arbeitsstoffe/nano/
- Klenke, Martin. First results for safe procedures for handling nanoparticles. nanoSAFE (Hg.), October, 2008. DL: www.nanosafe.org/home/liblocal/docs/Dissemination_report/DR6_s.pdf
- Meili, Christoph. The "Nano Information Pyramid" Could Help to Solve the "No Data – no Market" - Problem of Nanotechnologies. In: 5th International „NanoRegulation“ Conference, Rapperswil, 25.-26.11.2009, Conference Report. St.Gallen: The Innovation Society, January 2010. DL: www.innovationsociety.ch
- LUBW (Hg.). Nanomaterialien: Arbeitsschutzaspekte. Karlsruhe: Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Oktober 2009. DL: www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/6644/?shop=true
- Maynard, Andrew D. Nanotechnology: The Next Big Thing, or Much Ado about Nothing? In: *Ann. Occup. Hyg.*, Vol. 51, No. 1, pp. 1–12, 2007. DL: <http://annhyg.oxfordjournals.org/cgi/reprint/51/1/1>
- Mittmann-Frank, Michaela, Berger, Hendrik; Buchter, Axel. Arbeitsmedizinisches und präventivmedizinisches Untersuchungsprogramm bei Exposition mit Nanopartikeln und speziellen oder neuen Materialien. In: *Zbl Arbeitsmed*, Bd. 59, H. 11, S. 336-343, 2009. DL: www.uniklinikum-saarland.de/fileadmin/UKS/Einrichtungen/Fachrichtungen_Theor_und_Klin_Medizin/Arbeitsmedizin/Nanotoxikologie/Zentralblatt_Untersuchungsprogramm_Nano_Mittmann-Frank.pdf
- NanoKommission der deutschen Bundesregierung (Hg.). Verantwortlicher Umgang mit Nanotechnologien Bericht und Empfehlungen der NanoKommission der deutschen Bundesregierung 2008. Berlin: BMU, November 2008. DL: www.bmu.de/nanokommission
- Nasterlack, Michael; Zober, Andreas; Oberlinner, Christoph (BASF). Considerations on occupational medical surveillance in employees handling nanoparticles. In: *Int Arch Occup Environ Health*, Vol. 81, H. 6, S. 721-726, Mai 2008.
- Naumann, Bruce D. Control Banding in the Pharmaceutical Industry. Melbourne: Australien Institute of Occupational Hygienists, Oktober 2009. DL: www.aioh.org.au/downloads/documents/ControlBandingBNaumann.pdf
- NIOSH (ed.). Qualitative Risk Characterization and Management of Occupational Hazards: Control Banding (CB). A Literature Review and Critical Analysis. DHHS (NIOSH) Publication No. 2009-152. Washington: CDC/National Institute for Occupational Safety and Health, August 2009. DL: www.cdc.gov/niosh/docs/2009-152/ [2009c]
- NIOSH (ed.). Approaches to Safe Nanotechnology. Managing the Health and Safety Concerns Associated with Engineered Nanomaterials. DHHS (NIOSH) Publication No. 209-125. Cincinnati: CDC/National Institute for Occupational Safety and Health, März 2009. DL: www.cdc.gov/niosh/docs/2009-125/pdfs/2009-125.pdf [2009b]
- NIOSH (Hg.). Interim Guidance for Medical Screening and Hazard Surveillance for Workers potentially exposed to Engineered Nanoparticles. DHHS (NIOSH) Publication No. 2009-116: Cincinnati: CDC/ National Institute for Occupational Safety and Health, Februar 2009. DL: www.cdc.gov/niosh/docs/2009%2D116/pdfs/2009-116.pdf [2009a]
- NIOSH (ed.). Evaluation of Health Hazard and Recommendations for Occupational Exposure to Titanium Dioxide. Cincinnati: CDC/National Institute for Occupational Safety and Health, November 2005. DL: www.cdc.gov/niosh/docket/pdfs/NIOSH-033/0033-112605-draftCIB.pdf
- OECD (ed.). Report of the Workshop on Risk Assessment of Manufactured Nanomaterials in a Regulatory Context. Series on the Safety of Manufactured Nanomaterials Nr 21. ENV/JM/MONO (2010)10. Paris: OECD, Mai 2010. DL: [www.ois.oecd.org/olis/2010doc.nsf/linkto/env-jm-mono\(2010\)10](http://www.ois.oecd.org/olis/2010doc.nsf/linkto/env-jm-mono(2010)10)

- OECD (ed.). Guidance for the Use of OECD Database on Research into the Safety of Manufactured Nanomaterials. Paris: OECD / Working Party on Manufactured Nanomaterials, October 2008 (Vers.1). DL: www.oecd.org/dataoecd/21/19/44033847.pdf [2009a]
- OECD (ed.). Comparison of Guidance on Selection of Skin Protective Equipment and Respirators for Use in the Workplace: Manufactured Nanomaterials. Series on the Safety of Manufactured Nanomaterials Nr 12. ENV/JM/MoONO (2009)17. Paris: OECD, Juni 2009. DL: www.oecd.org/dataoecd/15/56/43289781.pdf [2009b]
- OECD (ed.). Emission Assessment for Identification of Sources and Release of Airborne Manufactured Nanomaterials in the Workplace: Compilation of Existing Guidance. Series on the Safety of Manufactured Nanomaterials Nr 11. ENV/JM/MONO (2009)16. Paris: OECD, Juni 2009. DL: www.oecd.org/dataoecd/15/60/43289645.pdf [2009c] zur Sammlung bestehender Leitlinien zur Emissionsbeurteilung bei der Arbeit
- OECD (ed.). Preliminary Analysis of Exposure Measurement and Exposure Mitigation in Occupational Settings: Manufactured Nanomaterials. Series on the Safety of Manufactured Nanomaterials Nr 8. ENV/JM/MONO(2009)6. Paris: OECD, April 2009. DL: www.oecd.org/dataoecd/36/36/42594202.pdf [2009d] zur vorläufigen Analyse von Expositionsmessungen von Nanomaterialien
- OECD (ed.). List of Manufactured Nanomaterials and List of Endpoints for Phase One of the OECD Testing Programme. Series on the Safety of Manufactured Nanomaterials Nr 6. ENV/JM/MONO(2008)13/REV. Paris, 2008.
- Orthen, Bruno. Implikationen des Leitfadens für Tätigkeiten mit Nanomaterialien (VCI/BAuA). Gegenwärtiger Stand beim Umgang mit Nanomaterialien. VCI Stakeholder Dialog Nanomaterialien am Arbeitsplatz, 19.04.2007. Frankfurt/Main: VCI, April 2007. DL: www.vci.de/
- Ostiguy, Claude; Roberge, Brigitte; Ménard, Luc; Endo, Charles-Anica. Best Practices Guide to Synthetic Nanoparticle Risk Management. Report R-599. Québec: IRSST, Jänner 2009. DL: www.irsst.qc.ca/files/documents/PubIRSST/R-599.pdf
- Ostiguy, Claude, Lapointe, Gilles Ménard, Luc, Cloutier, Yves, Trottier, Mylène, Boutin, Michel, Antoun, Monty, Normand, Christian. Nanoparticles. Current Knowledge about Occupational Health and Safety Risks and Prevention Measures. Report R-470. Québec: IRSST, September 2006. DL: www.irsst.qc.ca/files/documents/PubIRSST/R-470.pdf
- Paik, Samuel Y.; Zalk, David M.; Swuste, Paul. Application of a Pilot Control Banding Tool for Risk Level Assessment and Control of Nanoparticle Exposures. In: *Ann. Occup. Hyg.*, Vol. 52, No. 6, pp. 419–428, 2008. DL: <http://annhyg.oxfordjournals.org/cgi/reprint/52/6/419>
- Riediker, Michael; Schmid, Kaspar; Danuser, Brigitta. Nanoparticle Usage and Protection Measures in the Manufacturing Industry – A Representative Survey. In: *J Occup Environ Hyg* 7:224-232, 2010.
- Riediker, Michael; Schmid, Kaspar; Danuser, Brigitta. Swiss Nano-Inventory. An assessment of the usage of nanoparticles in Swiss industry. Final report. Lausanne: IST, Oktober 2008.
- Roller, Markus. Krebserzeugende Wirkungen von Nanomaterialien am Arbeitsplatz. Düsseldorf: Hans-Böckler-Stiftung, 2010 (in Druck).
- Roller, Markus. Untersuchungen zur krebserzeugenden Wirkung von Nanopartikeln und anderen Stäuben. Projektnr. F 2083. Dortmund: BAuA, 2008. DL: www.baua.de/cln_135/de/Publikationen/Fachbeitraege/F2083.html
- Safe Work Australia (ed.). Engineered Nanomaterials: Evidence on the Effectiveness of Workplace Controls to Prevent Exposure. November 2009. DL: www.safeworkaustralia.gov.au/swa/AboutUs/Publications/EngineeredNanomaterials-EvidenceontheEffectivenessofWorkplaceControlstoPreventExposure.htm
- SCENIHR (ed.). Opinion on: Scientific basis for the definition of the term "Nanomaterial", approved by the SCENIHR for public consultation. Brüssel: EC, July 2010. DL: http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenih_r_o_030.pdf
- SCENIHR (ed.). Opinion on: Risk assessment of products of nanotechnologies, adopted by the SCENIHR at the 28th plenary meeting of 19 January 2009. Brüssel: EC, January 2009. DL: http://ec.europa.eu/health/archive/ph_risk/committees/04_scenih_r/docs/scenih_r_o_023.pdf
- SCENIHR (ed.). Opinion on: The scientific aspects of the existing and proposed definitions relating to products of nanoscience and nanotechnologies, by the adopted by the SCENIHR at the 21st plenary on 29 November 2007. Brüssel: European Commission, 2007. DL: http://ec.europa.eu/health/archive/ph_risk/committees/04_scenih_r/docs/scenih_r_o_012.pdf

- Schäfer, Heinz-Günther. VCI-Leitfaden zur Informationsweitergabe in der industriellen Lieferkette bei Nanomaterialien. Stakeholder-Dialog „Nanomaterialien: Informationsweitergabe in der industriellen Lieferkette“, Frankfurt am Main, 5.3.2008. Frankfurt/Main: VCI, März, 2008. DL: www.vci.de/
- Schäfer, Heinz-Günther. Best-Practice-Leitfaden von BAuA und VCI. VCI Stakeholder-Dialog „Nanomaterialien am Arbeitsplatz“, 19.04.2007. Frankfurt/Main: VCI, April 2007. DL: www.vci.de/
- Schneider, Gerald. Nanopartikel – und was nun? Hilfsmittel zur Gefährdungsbeurteilung beim Umgang mit Nanopartikeln. In: *Sicherheitsingenieur* 7 / 2010, 10.
- Schulte, Paul; Geraci, Charles; Zumwalde, Ralph; Hoover, Mark; Kuempel, Eileen. Occupational risk management of engineered nanoparticles. In: *J Occup Environ Hyg* 5:239-49, 2008. DL: www.nanoarchive.org/572/1/Occupational_Risk_Management_of_Engineered_Nanoparticles.pdf [2008a]
- Schulte, Paul; Geraci, Charles; Zumwalde, Ralph; Hoover, Mark; Castranova, Vincent; Kuempel, Eileen; Murashov, Vladimir; Vainio, Harri; Savolainen, Kai. Sharpening the focus on occupational safety and health in nanotechnology. In: *Scand J Work Environ Health*, Vol. 34, No 6, 2008. DL: http://findarticles.com/p/articles/mi_7726/is_200812/ai_n32310605/ [2008b]
- SER (Hg.). Nanoparticles in the Workplace: Health and Safety Precautions. Advisory Report Working Conditions Committee. Den Haag: SER (Sociaal-Economische Raad), März 2009. DL: www.ser.nl/en/publications/publications/2009/2009_01.aspx
- SUVA (Hg.). Nanopartikel an Arbeitsplätze. Printversion von www.suva.ch/nanopartikel . Luzern: SUVA, September 2009. DL: www.suva.ch/nanopartikel_an_arbeitsplaetzen.pdf
- Tardif, François, Sicard, Yves, Shakesheff, Alan, Moehlmann, Carsten, Backmann, Ulrika. Is it possible to easily measure the engineered nanoparticles at workplaces? An essential step for exposure evaluation in case of potential nanotoxicity. nanoSAFE (Hg.), June, 2008. DL: www.nanosafe.org/home/liblocal/docs/Dissemination_report/DR3_s.pdf
- TU Delft (ed.). TNW Nanosafety Guidelines. Recommendations for research activities with 'free nanostructured matter' within the Faculty of Applied Sciences of Delft University of Technology. Delft: TU Delft, September 2008. DL: www.veiligheidskunde.nl/xu/document/cms/streambin.asp?requestid=43531312-6BA0-400D-B916-7562D0EEBDE3
- UIC (ed.). Good practices guide Nanomaterials and HSE. Paris: Union des Industries Chimiques, April 2009. DL: www.uic.fr/
- UIC (ed.). Evaluation et prevention des risques professionnels lies aux agents chimiques. DT 80 révision 1. Paris: Union des Industries Chimiques, Dezember 2008. DL: www.uic.fr/
- VCI (Hg.). Leitfaden zur Informationsweitergabe in der Lieferkette beim Umgang mit Nanomaterialien über das Sicherheitsdatenblatt. Frankfurt/Main: VCI, März 2008. DL: www.vci.de/ [2008b]
- VCI (Hg.). Leitfaden zur abgestuften Sammlung von Gefährdungsinformationen zur Risikobeurteilung von Nanomaterialien. Frankfurt/Main: VCI, Februar 2008. DL: www.vci.de/ [2008a]
- VdL (Hg.) VdL-Leitfaden für den Umgang mit Nanoobjekten am Arbeitsplatz. Frankfurt/Main: Verband der deutschen Lack- u. Druckfarbenindustrie, Juni 2010. DL: www.lackindustrie.de/
- Wriedt, Henning. Umsetzung des Vorsorgeprinzips durch gesetzliche und freiwillige Regelungen. Vortrag auf der A+A 2009, Veranstaltung "Sicherer Umgang mit Nanopartikeln und Nanotechnologie", Düsseldorf, 5. November 2009.
- Zalk, David M.; Paik, Samuel Y.; Swuste, Paul. Application. Evaluating the Control Banding Nanotool: a qualitative risk assessment method for controlling nanoparticle exposures. In: *J. Nanopart. Res.*, Vol. 11, No. 7, pp. 1685–1704, 2009. DL: www.springerlink.com/content/4t3241552m176137/