

Leitfaden für das Risikomanagement von Nanomaterialien am Arbeitsplatz

Günther Kittel

PPM forschung + beratung

Überarbeitete Version,

Linz, November 2013

Inhalt

Einleitung

Leitfaden

1. Sammlung von Informationen zum Nanomaterial
 - 1.1. Check auf Nano-Relevanz
 - 1.2. Erstellung einer Nano-Stoffliste
 - 1.3. Sammlung von Stoffinformationen
2. Sammlung von Informationen zur Nanoarbeit
 - 2.1. Charakterisierung der potenziellen Exposition
 - 2.2. Expositionsmessungen
3. Risiko-Abschätzung
 - 3.1. Erste Einschätzung
 - 3.2. Control Banding
 - 3.3. Vorgehen nach Wirkkategorien
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 und Reinigung bei Nanoarbeiten
 - 5.3. Instandhaltung bei Nanoarbeiten
 - 5.4. Abfallsammlung bei Nanoarbeiten
 - 5.5. Unbeabsichtigte Freisetzung bzw. Störfälle mit Nanomaterialien
 - 5.6. Arbeitsmedizinische Überwachung
 - 5.7. Information, Unterweisung und Einschulung für Nanoarbeiten
6. Prüfung der Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen
7. Dokumentation der Gefährdungsbeurteilung

Themenblätter

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

Glossar

Literatur

Einleitung

Für österreichische Unternehmen, die Nanotechnologien und Nanomaterialien einsetzen, stellt sich die Frage des angemessenen Risikomanagements von Arbeitsprozessen, um potenzielle Expositionen mittels wirksamer Maßnahmen so weit wie möglich bzw. notwendig einzuschränken. Nach wie vor wirken hier grundsätzliche Probleme und große Datenlücken erschwerend. In dieser Situation bietet ein praxisnaher und allgemein verständlicher Leitfaden Hilfestellung im betrieblichen Alltag. Er unterstützt auch die Beratung von Nano-Unternehmen durch das Arbeitsinspektorat und trägt zur Umsetzung des Österreichischen Aktionsplans Nanotechnologie sowie der Europäischen Arbeitsschutzstrategie bei.

Um eine sichere und gesunde Nanoarbeit zu ermöglichen, orientiert sich der Leitfaden mit einem präventiven Ansatz an herkömmlichen Vorgangsweisen für die Gefährdungsbeurteilung von chemischen Arbeitstoffen und, nicht zuletzt wegen der (noch) vorhandenen Wissensdefizite, am Vorsorgeprinzip.

In einem dynamischen Forschungs- und Entwicklungsfeld ist ein solcher Leitfaden als "work in progress" anzusehen. Auch die vorliegende, völlig überarbeitete Version kann nur den Status quo zum Zeitpunkt der Veröffentlichung abbilden. Bei seiner Umsetzung sind daher Veränderungen im Wissensstand und in den Rahmenbedingungen, sowie Erfahrungen aus der Praxis laufend zu berücksichtigen.

Der eigentliche Leitfaden beschreibt in Art einer Handlungsanleitung die Vorgangsweise bei Gefährdungsbeurteilung und Risikomanagement im betrieblichen Kontext. Er wendet sich vor allem an kleine und mittlere Unternehmen, die Nanomaterialien als Arbeitsstoffe in Produktion und Weiterverarbeitung verwenden. Forschungs- und Entwicklungsarbeit in Nano-Laboratorien ist ebenfalls Thema. Fragen der Entsorgung oder ökologische Aspekte werden jedoch nicht näher behandelt.

Auf der linken Spalte der A4-Seite (Querformat) sind die einzelnen Handlungsschritte beschrieben, die das Inhaltsverzeichnis zeigt. Details zu ihnen sind meist in Form von Auflistungen angeführt, teilweise sind Entscheidungsbäume eingebaut. Manche Schritte sind auch optional.

Nähere Informationen zur Umsetzung finden sich auf der rechten Seite in knappen Textkästen und mittels Verweisen auf Themenblätter, Quellen und Querbezüge.

Neben Glossar und Literatur geben 17 Themenblätter zu verschiedenen Aspekten des Nano-Risikomanagements bzw. der Nano-Gefährdungsbeurteilung eine überblicksmäßige Darstellung des derzeitigen Wissensstands und liefern nähere Hinweise, um den Leitfaden in der Praxis umzusetzen. (Stand: Anfang November 2013)

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

Nanomaterialien sind in mindestens einer räumlichen Dimension zwischen 1 nm und 100 nm groß, wobei die Größenverteilung und die Bildung von Agglomeraten bzw. Aggregaten zu berücksichtigen sind.

Diese Festlegung beruht allein auf der Größe der Bestandteile und wird nur als Bezugspunkt für rechtliche und politische Zwecke verwendet. Sie beschreibt keine Risikogrenzen, weil diese vom Ergebnis einer Gefährdungsbeurteilung abhängen. → **KASTEN rechts**

In Abweichung von der empfohlenen Definition der Europäischen Kommission zielt dieser Leitfaden auf Stoffe, Gemische (Zubereitungen) oder Erzeugnisse, die aus **bewusst hergestellten Nanomaterialien** bestehen bzw. solche enthalten.

Der Begriff "Nanomaterial/ien" wird im Weiteren in diesem Sinne verwendet und schließt natürliche oder bei Prozessen zufällig anfallende Stoffe aus, z. B. Schweißrauche oder Dieselmotoremissionen

Generell folgt das **Nano-Risikomanagement** den Kriterien:

- Vorsorgeprinzip,
- hohes Schutzniveau,
- Gefährdungsbeurteilung als Grundlage,
- Hierarchie von Schutzmaßnahmen (STOP),
- Dokumentation von Vorgehen und Wissenslücken.

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

- In diese Stoff-Liste werden alle zu prüfenden Materialien aufgenommen, auch wenn es noch unklar ist, ob Nanomaterialien tatsächlich beteiligt sind (Vorsorgeprinzip).
- Weil es um hergestellte Nanomaterialien geht, werden nicht-nanospezifische Risiken in Zusammenhang mit Struktur und chemischer Zusammensetzung von unbeabsichtigt entstehenden Teilchen (Fein-/Feinststaubproblematik) nicht in die Liste aufgenommen. Wenn beispielsweise nanoskalige Teilchen durch Abrieb- oder Verbrennungsprozesse gebildet bzw. Bruchstücke (Nanoplättchen) aus Beschichtungen abgelöst werden, ist nach den Empfehlungen für Ultrafeine Partikel vorzugehen. → **KASTEN rechts**

GLOSSAR

→ Die verwendeten Begriffe werden im Anhang erläutert!

DEFINITION VON NANOMATERIALIEN

Eine einheitliche und allgemein akzeptierte Definition fehlt noch, von der der Europäischen Kommission gibt es eine Empfehlung (EU, 2011): Nanomaterial ist ein natürliches, zufällig entstandenes oder bewusst hergestelltes Material, das Partikel in ungebundenem Zustand, als Aggregat oder Agglomerat enthält, und bei dem zumindest die Hälfte der Partikel in der Anzahlgrößenverteilung ein oder mehrere Außenmaße zwischen 1 bis 100 nm hat. Davon abweichend gelten auch einwandige Nanoröhrchen aus Kohlenstoff, bei denen eine oder mehrere äußere Dimensionen unter 1 nm sind, Fullerene und Graphenflocken als Nanomaterialien.

→ THEMENBLATT A

ULTRAFEINE PARTIKEL (UFP)

Das Deutsche Institut für Arbeitsschutz (IFA) gibt einen Überblick zum Stand der Diskussion und skizziert mess-technische Empfehlungen sowie Schutzmaßnahmen in Bezug auf Ultrafeinstäube und Nanopartikel.

→ IFA www.dguv.de/ifa/de/fac/nanopartikel/

Die Österreichische Staub-(Silikose-)bekämpfungsstelle kann Ultrafeine Partikel und Nanomaterialien messen.

→ ÖSBS, www.oesbs.at

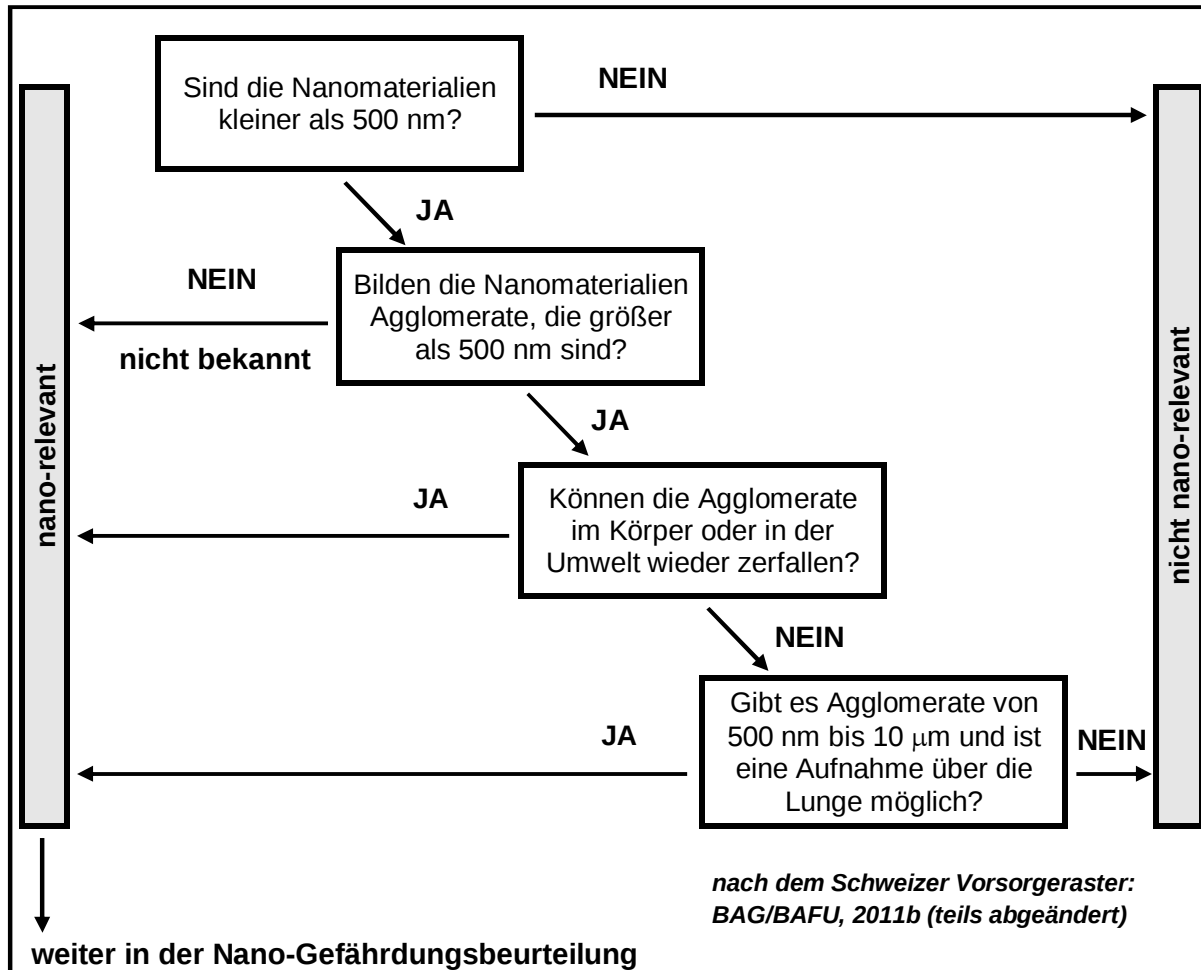
Das österreichische Portal über Nanotechnologie behandelt alle Nano-Aspekte.

→ NanoInformationsportal <http://nanoinformation.at/>

1.1. CHECK AUF NANORELEVANZ

Nano heißt nicht gleich gefährlich; umgekehrt sind nicht automatisch alle Materialien sicher, die nicht unter die EU-Definition fallen. Die Schweiz empfiehlt zur Prüfung der Nanorelevanz 500 nm als Grenze der Nanoskaligkeit, um keine nanospezifischen Risiken zu übersehen. Über das Agglomerationsverhalten erfolgt der Ausschluss aus der weiteren Betrachtung.

Der folgende **Entscheidungsbaum** hat daher einen Sicherheitsfaktor: → **KASTEN rechts**



NANORELEVANZ

Im Rahmen des Schweizer Vorsorgerasters sind nur Nano-Objekte relevant, die in zwei oder drei Dimensionen nanoskalig sind, in freier, Matrix-gebundener, aggregierter oder agglomerierter Form. Im Übrigen beruht Nanorelevanz auf folgenden Überlegungen (BAG/BAFU, 2011b):

- In einem bestimmten Größenbereich besitzt der nanoskalige 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 Form, 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 empfohlen, Nanopartikel und Nanostäbchen bis 500 nm einzubeziehen. Als Maß für die Größe der Primärpartikel wird aus praktischen Gründen nicht die genaue Größenverteilung, sondern deren Maximum verwendet, weil:

- Größenverteilungen mit dem Maximum bei 500 nm bis in den niedrigen Nanometer-Bereich gehen können;
- bis etwa knapp 300 nm nanospezifische Wechselwirkungen stattfinden können.

Liegen die Primärpartikel in agglomerierter oder aggregierter 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, S**

1.2. ERSTELLUNG EINER NANO-STOFFLISTE

Jede Stoffliste sollte leicht veränderbar sein. Dies gilt speziell für Nanomaterialien, weil so auch zu einem späteren Zeitpunkt die Spalten um weitere Daten ergänzt werden können, die für einen Check auf Nano-Relevanz oder zu einer vereinfachten Risikoabschätzung erforderlich sind (→ **1.1** 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 nanoskaligen Arbeitsstoff aufzunehmen:

- **für die Grobform** (Bulkform) des Materials die üblichen stoffbezogenen Angaben (Hersteller-/Lieferantendaten, Handels- und technische Namen, Gefahrenhinweise, Sicherheitshinweise, etwaige Grenzwerte usw.);
- **für die Nanoform** stoffbezogene Angaben wie wichtige physikalisch-chemische Daten und toxikologische Hinweise, soweit vorhanden (→ **1.3** / → **Themenblatt B**);
- **für die Nanoarbeit** wesentliche prozess- und tätigkeitsbezogene Angaben (→ **2** / → **Themenblatt B**).

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;
- andere Informationen und Mitteilungen, z. B. Werbebroschüren.

ANLEGEN VON STOFF-LISTEN

Eine einfach anpassbare Liste kann z. B. in Word- oder Excel-Format erstellt werden. Anregungen zur Gestaltung der Auflistung können dem Evaluierungsheft E4 der AUVA entnommen werden. Auch eine Websuche ist möglich, z. B. nach den Begriffen "*gefahrstoffverzeichnis muster*".

Themenblatt B zeigt Beispiele der inhaltlichen Gestaltung.

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

→ **THEMENBLATT: B**

INFORMATIONSQUELLEN

Eine Auswahl von deutschsprachigen Informationsquellen ist der Literaturliste am Ende des Leitfadens vorangestellt

→ **LITERATUR**

VORSORGEPRINZIP

Das Europäische Parlament, sowie viele Einrichtungen und Behörden fordern, ein Vorsorgeprinzip im Nanobereich anzuwenden. Dieses zielt darauf, potenzielle Schäden von vornherein zu vermeiden, auch wenn deren Art, Ausmaß oder Eintrittswahrscheinlichkeit ungewiss sind.

Gibt es zu Nanomaterialien keine wissenschaftlich gesicherten Erkenntnisse bzw. sind nach derzeitigem Wissen ernsthafte Gesundheitsschäden nicht auszuschließen, sollten sie wie gesundheitsgefährdende Stoffe behandelt werden: Expositionen vermeiden bzw. zur Minimierung möglichst weitreichende Schutzmaßnahmen ergreifen, bis über ihr Risikopotenzial gesichertes Wissen vorliegt.

→ **THEMENBLATT: P**

1.3. SAMMLUNG VON STOFFINFORMATIONEN

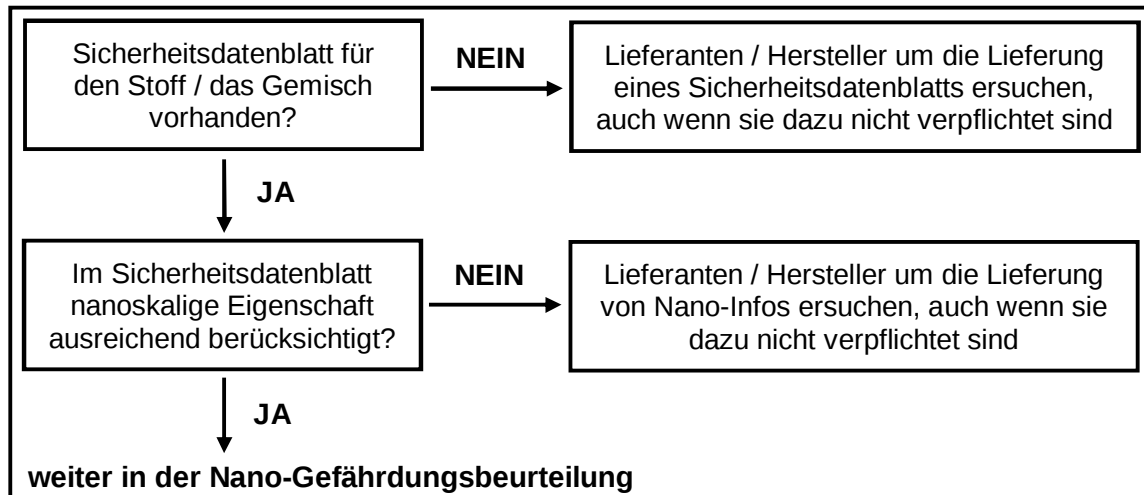
Lieferanteninfos sind meist ungenügend. Oft ist nicht einmal angegeben, ob Nanopartikel überhaupt vorhanden ist, und wenn ja, in welchem Prozentsatz. Zudem gibt es große Mängel im Wissen über die gesundheitsschädigenden Eigenschaften von Nanomaterialien, vor allem über wiederholte oder dauernde Belastung bei inhalativer Aufnahme.

Selbst wenn es solche Angaben gibt, ist oft unklar, wie sie erhalten wurden: aus Studien am konkreten Nanomaterial oder aus Studien an vergleichbaren, aber nicht identischen Stoffen, z. B. an der chemisch gleichen Grobform oder an einem chemisch gleichen Nanomaterial, das aber nicht bzw. 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 schwierig und aufwändig, über Nanomaterialien selbst Daten zu recherchieren. Und jeder Hinweis spart Zeit und Mühe. Daher sind **ausreichende Informationen innerhalb der Lieferkette einzufordern:** → KASTEN rechts



INFORMATION IN DER LIEFERKETTE

Sicherheitsdatenblätter sind das zentrale Kommunikationselement in der Lieferkette und könnten die Beurteilung des Gefährdungspotenzials von Nanomaterialien sowie die Auswahl nötiger Schutzmaßnahmen wesentlich erleichtern (insbesondere die Abschnitte 1,2 3 und 9). Meist erfüllen sie aber derzeit 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 könnten daher viele Nanomaterialien davon nicht betroffen sein.

Die Deutsche Chemische Industrie versichert jedoch, freiwillig ein Sicherheitsdatenblatt auch für Stoffe zu liefern, für die es nicht vorgeschrieben ist. Expositionsszenarien etc. sind darin allerdings nicht enthalten.

→ THEMENBLATT: C

MINDESTAUSKUNFT VOM LIEFERANTEN

Der AGS (2013b) empfiehlt bei staubenden Tätigkeiten und Informationsdefiziten folgende Informationen anzufordern:

- Einstufung der nanoskaligen Form;
- Partikelanzahlgrößenverteilung;
- spezifische Oberfläche;
- Form und Struktur;
- Oberflächenmodifikation der Nanoobjekte;
- Wasserlöslichkeit;
- Angaben zum Staubungsverhalten;
- Angaben zur Brennbarkeit.



→ 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 Grobform beinhaltet dies eventuelle Grenzwerte, auch wenn diese auf die Nanoform nicht unmittelbar übertragbar sind. Wenn möglich, sollte ein Vergleich zwischen beiden Formen angestellt werden.

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

PHYSIKALISCH-CHEMISCHE EIGENSCHAFTEN

Viele physikalisch-chemischen Merkmale eignen sich zwar nicht für eine generelle Definition von Nanomaterialien, sind jedoch für die Gefahrenermittlung und damit für die Gefährdungsbeurteilung relevant, z. B.: → **KAISTEN rechts**

- Größe und Partikelanzahlgrößenverteilung (die sich bei der Verarbeitung verändern kann, z. B. beim Dispergieren);
- spezifische Oberfläche;
- Dichte;
- Stabilität in wichtigen Medien (inkl. der Fähigkeit zu aggregieren und zu zerfallen);
- Adsorptionsverhalten der Oberfläche;
- Löslichkeit in Wasser;
- Staubungsverhalten;
- Form und Struktur;
- chemische Zusammensetzung und Reaktivität.

Für brennbare Materialien und Ultrafeinstäube sind die Brand- und Explosionseigenschaften zusätzlich zu berücksichtigen.

Gesammelt werden sollten auch Informationen über Substitutionsmöglichkeiten und Verfahren oder Zubereitungen des Nanomaterials, die eine geringere Gefährdung aufweisen.

Fehlende Angaben zur Wasserlöslichkeit bzw. zu Form und Struktur des Nanomaterials müssen unbedingt vom Hersteller / Lieferanten eingefordert werden!

CHARAKTERISIERUNG VON NANOMATERIALIEN

Parameter wie Größe und Größenverteilung, spezifische Oberfläche, Agglomerationsverhalten, Gestalt, Persistenz oder Oberflächenchemie und -aktivität sind wichtiger als Masse-/Volumskonzentrationen oder Eigenschaften der Grobform. Manchmal können auch noch weitere Einflußgrößen bedeutend sein, wie z. B. Photoaktivierung oder das Potenzial, aktiven Sauerstoff zu erzeugen.

Eine sehr wichtige Einflussgröße ist das Freisetzungsvermögen eines Nanomaterials, seine Fähigkeit in die Luft zu gelangen und somit eine Gefährdung für die Beschäftigten 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 Wissensstand sind für Nanomaterialien Analogieschlüsse bzw. die Gruppierung in spezifische Risikokategorien schwierig: siehe aber z. B. Hartwig, 2013. Jedes Nanomaterial im Einzelfall auf sein Gefahrenpotenzial zu untersuchen, ist jedoch bei der enormen Vielfältigkeit und Anzahl schwierig und aufwändig.

→ **THEMENBLATT: A, B**

EINIGE SPEZIELLE INFORMATIONSQUELLEN

Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung: GESTIS Stoffdatenbank www.dguv.de/ifa/stoffdatenbank (erste Einträge)

Deutsche Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft:

- Liste "Nanoteilchen in Bau- und Reinigungsprodukte" www.bgbau.de/praev/fachinformationen/gefahrstoffe/nano
- WINGIS Online www.bgbau.de/gisbau/wingis (einige Produkte; allgemeine Infos zu Nanotätigkeiten)

Kfz-Industrie: Branchenspezifische Datenblätter im IMDS (International material data system) www.mdsystem.com/

2. SAMMLUNG VON INFORMATIONEN ZUR NANOARBEIT

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, mögliche Expositionsquellen und Einflussfaktoren für die 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 möglichen 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 sind MitarbeiterInnen und Vorgesetzte einzubeziehen!

- 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 im Betrieb.
- Es sind dabei insbesondere 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 nicht auf in der Nähe tätige KollegInnen, Vorgesetzte, Kontraktoren, LeiharbeiterInnen usw. vergessen.
- 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 ja/nein; adäquate Persönliche Schutzausrüstung bei kurzfristiger Tätigkeit verwendet ja/nein), benötigt aber eventuell Messungen (→ 2.2).

Die Auflistung der Ergebnisse zur potenziellen Exposition kann in Tabellenform erfolgen.

Im Sicherheitsdatenblatt sollten in Abschnitt 3 Infos zum Auftreten von Nanomaterialien in angegebenen Verwendungen stehen, z. B. Aerosolbildung beim Versprühen.

→ **THEMENBLATT: B**

2.2. EXPOSITIONSMESSUNGEN

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

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

Die Messungen von Nanopartikeln hat viele **Schwierigkeiten**, z. B.: → **KASTEN rechts**

- fehlende Harmonisierung der Messstrategien;
- generelle Probleme wie die Wahl der Maßangaben (Metrik);
- fehlende Standardisierung der Messverfahren;
- Mangel an tragbaren und einfachen Messgeräten;
- als Routine-Messungen noch zu großer Aufwand vor allem für kleinere Unternehmen.

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;
- Sammeln alle eventuell bereits im Betrieb vorhandenen relevanten Messdaten.

Nachweisgrenzen der Messgeräte beachten! Liegen sie beispielsweise von 10 bis 300 nm, so sollten Aggregate und Agglomerate mit einem Durchmesser von 100 bis 300 nm im ganzen Beurteilungsverfahren berücksichtigt werden (→ **2.1**).

MESSEN

Metrik, Messtechnik und Messstrategie bleiben zentrale Themen in Zusammenhang mit Nanomaterialien.

Die Aussagekraft der Massenkonzentration (in mg/m³) als Konzentrationsangabe für Nanomaterialien ist gering, alternative Beschreibungen erfolgen z. B. über Partikelanzahlgrößenverteilung oder Oberflächenkonzentration.

Viele relevante Messverfahren sind noch nicht standardisiert bzw. allgemein anerkannt, z. B. die Bestimmung der Partikelanzahlgrößenverteilung im Gesamtmaterial. Auch gibt es noch keine nanospezifische Methode zur Messung des Staubindex, mit dem das Staubungsverhalten beschrieben werden kann. Es wird empfohlen, in der Zwischenzeit die besten verfügbaren alternativen Methoden anzuwenden (AGS, 2013b).

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

Zur Diskussion von Beurteilungswerten ("Grenzwerte") für Nanomaterialien, siehe Themenblatt D!

Verwertbare Messungen am Arbeitsplatz müssen mit demselben Verfahren bzw. demselben Gerätetyp durchgeführt werden. Es ist zumindest die benutzte Methodik anzuführen, um Messergebnisse miteinander vergleichen zu können.

Im Sicherheitsdatenblatt sollten vorliegende Messwerte zur Exposition gegen A-Staub angeführt sein,

→ **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 oft nicht einfach.

- 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 ein Vorgehen nach Einzelfällen meist die Ressourcen, vor allem in den kleineren Unternehmen. Große Unsicherheiten bzw. Datenlücken in Bezug auf Toxizität von Nanopartikeln sowie das (noch) fast völlige Fehlen von Expositionsdaten machen eine umfassende quantitative Risikoabschätzung derzeit sehr schwierig, und sie ist nur in wenigen Fällen durchführbar.

Empfehlungen für die Praxis der Gefährdungsbeurteilung:

- Anwenderbetriebe sollten bei einer für eine Risikobeurteilung unzureichenden Datenlage z. B. in den Sicherheitsdatenblättern zuerst **bei den Herstellern / Lieferanten nachfragen** und sich bestätigen lassen, dass ein Nanomaterial nicht gefährlich ist bzw. unter bestimmten Bedingungen sicher bearbeitet werden kann. Kann auch der Produzent keine näheren Angaben über das Gefährdungspotenzial machen, sollte ein maximales Schutzniveau angestrebt werden!
- Trotz aller damit verbundenen Unschärfen und Einschränkungen empfiehlt es sich, bei **Risikoabschätzung und Maßnahmenfestlegung mittels qualitativer Methoden entlang der Gruppierung von Stoffen mit oder ohne Control-Banding-Ansatz pragmatisch vorzugehen (→ 3.2 und 3.3)**, bis es mehr Kenntnisse über Nanomaterialien gibt. Allerdings sollte aufgrund der fehlenden wissenschaftlichen Basis ein Sicherheitsspielraum berücksichtigt werden, der von einem höheren potenziellen Risiko ausgeht.

RISIKOABSCHÄTZUNG

Schwerpunkt ist die Vermeidung inhalativer Expositionen. Mit Ausnahme löslicher Nanomaterialien ohne gesundheits-schädigende Wirkungen ist bei Arbeiten mit Nanomaterialien mindestens ein Schutzniveau wie für biobeständige Ultrafeinstäube gefordert.

Es gibt viele Hinweise, Empfehlungen und Leitfäden, wie eine Risikoabschätzung für Nanomaterialien durchzuführen ist, welche physikalisch-chemischen und toxikologischen Eigenschaften sowie weitere Parameter dafür relevant sind. Ihre Präzisierung, Verbindlichkeit und Zielsetzung ist unterschiedlich, viele sind sehr allgemein gehalten und nicht unmittelbar praktisch anwendbar.

Themenblatt E listet zu Beginn Hinweise auf Nanomaterialien und Tätigkeiten auf, die im Produktionsprozess ein nanospezifisches Gefährdungspotenzial besitzen.

Bei einem quantitativen Vorgehen können z. B. die Risk Management Matrix und das OSH Reference Manual im Abschnitt "OSH Expert Matrix" des GoodNanoGuide <http://goodnanoguide.org/> unterstützen.

Dier vorliegende Leitfaden setzt den Schwerpunkt auf Produktion und Weiterverarbeitung. Vorgehensweisen in Laboratorien werden jedoch in Themenblatt R skizziert.

→ **THEMENBLATT: E, A**

3.1. ERSTE EINSCHÄTZUNG

Eine erste Einschätzung, ob ein **dringender** nanospezifischer Handlungsbedarf vorliegt, ist aus Stoff- und Expositionscharakteristika möglich. Ein Beispiel dafür ist der **Vorschlag von Schneider** (2010a), der auch die unbeabsichtigte Verwendung bzw. Freisetzung von Nanomaterialien miteinbezieht.

→ **THEMENBLATT E**

- 3 stoffbezogene Gruppen: je nach Löslichkeit, Staubungsverhalten, Abbaubarkeit, Mobilität, Reaktivität, Toxizität, mittlerer Partikelgröße und Stabilität von Aggregaten oder: Nachweisbarkeit von Gesundheitsschäden
- 3 Gruppen von Arbeitsbedingungen: je nach Art der Verwendung, Freisetzung von Nanopartikeln, Vorhandensein von Expositiondaten, Qualifikation und Einschätzung der Gefahrenwahrnehmung der ArbeitnehmerInnen
- Aus einer Matrix ergibt sich, einem Vorsorgeprinzip folgend, der Handlungsbedarf in 3 Klassen: groß, mittel oder niedrig.

Genau ausgearbeitet ist der **Schweizer Vorsorgeraster** (BAG/BAFU, 2011). 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 nanospezifischer Handlungsbedarf für die hergestellten Nanomaterialien wird in nur 2 Klassen angezeigt:

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

VORLÄUFIGE EINTEILUNG DER NANOKOMMISSION

Die Deutsche NanoKommission definierte 3 Nano-Risikoklassen mit verschiedenem Handlungsbedarf (BMU, 2008):

Gruppe 1 - Gefährdung wahrscheinlich: Exposition, Mobilität hoch, Nanomaterialien reaktiv, persistent oder toxisch; Maßnahmenkonzept zur Minimierung der Exposition oder Verzicht auf bestimmte Anwendungen zwingend

Gruppe 2 - Gefährdung möglich: Exposition möglich, De-/Agglomerationsverhalten unbekannt, Info zu Löslichkeit und Abbaubarkeit zu gering, Freisetzung von Nanopartikeln ungeklärt; Maßnahmenkonzept zur Verminderung der Exposition von Mensch und Umwelt erforderlich

Gruppe 3 - Gefährdung unwahrscheinlich: keine/kaum Exposition, Materialien löslich oder biologisch abbaubar bzw. gebunden in Matrix, Aggregate/Agglomerate stabil; gute Hygienepaxis ausreichend

→ **THEMENBLATT: E**

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 fließen ein, z. B. Verunreinigungen, eine nicht exakt bestimmte Größenverteilung, oder Unsicherheiten, die aus mangelnder Kenntnis der Vorgeschichte oder des weiteren Lebenswegs der Nanomaterialien resultieren.

Es gibt ein elektronisches Hilfsmittel als Excel-sheet.

Es werden nur zwei Ergebnisgruppen gebildet. Allerdings ergibt sich der detaillierte Vorsorgebedarf aus der Analyse der einzelnen Parameter. So sind bei hohen Punktezahlen in bestimmten Aspekten und Bereichen dort nähere Ermittlungen anzustellen und ggfs. Maßnahmen zu treffen.

→ **THEMENBLATT: S**

3.2. CONTROL BANDING

Qualitative bzw. halbquantitative Ansätze der Risikoabschätzung wie Control-Banding sind für Forschungs- und frühe Entwicklungsstadien empfehlenswert. In der späteren Entwicklung und in der Produktion ist dagegen eine umfassendere Risikoabschätzung notwendig. Je nach Art der Nanoarbeit können sie auch für kleine und mittlere Unternehmen, vor allem aber für Kleinstbetriebe sehr sinnvoll sein. Sie unterliegen jedoch einigen Einschränkungen.

Control-Banding erhält mit vereinfachenden Annahmen des Gefährdungspotenzials aus Stoff-Gefahren und Expositionen die adäquaten Maßnahmenstrategien. Beim **CB Nanotool** ergibt sich so die Risikoklasse aus einer Matrix von 4 Gefahrenbändern (Schadensschwere) und 4 Expositionsbändern (Eintrittswahrscheinlichkeit).

Die **Schadensschwere** wird zu zwei Drittel von Risikofaktoren der Nanoform und zu einem Drittel von Risikofaktoren der Grobform (Bulkform) des Materials bestimmt.

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

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

- geschätzte verwendete Menge Nanomaterialien bei der Tätigkeit; deren Staubigkeit / Aerosolbildung (Freisetzungsvermögen, stark gewichtet); Anzahl der ArbeitnehmerInnen mit vergleichbarer Nano-Exposition; Häufigkeit und Dauer der Nanotätigkeiten.

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.

Für die qualitative Risikoeinschätzung mittels CB-Nanotool müssen die obigen Stoffeigenschaften ermittelt und das Expositionspotenzial charakterisiert werden (→ 1.3, 2.1).

CONTROL BANDING

Das CB Nanotool ist in der Praxis nicht einfach einsetzbar. Beispielsweise orientieren sich die Wertbereiche an Forschungstätigkeiten; ihre Anpassung auf die Situation im Unternehmen oder aufgrund geänderter Kenntnisse über mögliche negative Wirkungen erfordert Expertenwissen und Expertenerfahrung (Zalk/Paik, 2010).

Eine zweite Version wird im Web zur Verfügung gestellt: CB Nanotool 2.0 www.controlbanding.net/Services.html

Dort stehen Leitfäden, Formblätter und Beispiele; praktische Beispiele finden sich auch in Paik et al. (2008) und vor allem in Zalk et al. (2009), wo die schwierige Gewichtung der verschiedenen Risikofaktoren diskutiert wird.

Weitere Beispiele für Nano-Control Banding auf Englisch:

- Der Guidance der holländischen Sozialpartner (Cornelissen et al., 2011);
- das CB-Werkzeug von ANSES aus Frankreich (ANSES, 2010; Riediker et al., 2011);
- das CB-Konzept des internationalen Normeninstituts (ISO, 20012a und 2012b);
- ein australisches CB-Tool (WHSQ, 2010a; SW 2010b).

→ **THEMENBLATT: E**

EINFACHES MASSNAHMENKONZEPT GEFAHRSTOFFE

Es lässt sich eingeschränkt auch im Nanobereich einsetzen, z. B. das EMKG-Hilfsinstrument Taschenscheibe bei der inhalativen Belastung durch Nanostäube. Zielgruppe sind dabei kleinere Betriebe (Packroff, 2011):

1. Tätigkeiten mit festen Nanomaterialien mit unbekanntem Gefahrenpotenzial, die stark stauben, werden der mittleren Gefährlichkeitsgruppe "C" zugeordnet.
2. Als Freisetzungsguppe wird dafür "Hoch" zugeordnet.
3. Je nach der verbrauchten Menge ergeben sich als erforderliche Schutzmaßnahmen:
4. "Technik" / Absaugung (kleine Menge / Gramm) bzw. "Geschlossenes System" (mittlere Menge / Kilogramm und große Menge / Tonnen).

Zu den 4 Maßnahmenniveaus gibt es detaillierte **Schutzleitfäden** auf der BAuA-Website.

STOFFENMANAGER NANO

Dieses Hilfsmittel schätzt das Nano-Emissionspotenzial ab und berechnet das Immissionspotenzial der hergestellten Nanomaterialien. Der Schwerpunkt liegt dabei auf inhalativen Gefährdungen.

- 5 Gefahrenklassen (niedrig, mittel, hoch, sehr hoch, äußerst hoch, unbekannt) werden schrittweise ermittelt aus den Parametern: Wasserlöslichkeit, Vorhandensein biobeständiger Nanofasern, nanospezifische Gefahren, toxikologische Datenlücken;
- 4 Expositionsklassen (niedrig, mittel, hoch, sehr hoch, äußerst hoch, unbekannt) werden aus folgenden gewichteten Faktoren ermittelt: Emissionspotenzial Stoff, Emissionspotenzial Tätigkeiten (Umgang), vorhandene Schutzmaßnahmen, Einkapselung der Gefahrenquelle, Verdünnung bzw. Dispersion, individuelles Verhalten der Beschäftigten, Abtrennung der Beschäftigten, Verunreinigung (Oberflächen), Gebrauch Persönlicher Schutzausrüstung.

Mittels einer 5x4-Matrix erhält man 3 Risikoniveaus bzw. Prioritätenbänder für Maßnahmen: niedrig, mittel, hoch. Eine Liste von Schutzmaßnahmen zur Verminderung der Nano-Exposition wird empfohlen, mit denen eine neuerliche Prioritätenberechnung und damit eine weitere Optimierung vorgenommen werden kann.

EMKG

Das Einfache Maßnahmenkonzept Gefahrstoffe der BAuA (2012) ist eine Handlungshilfe für Klein- und Mittelbetriebe bei der Gefährdungsbeurteilung von Arbeiten mit gefährlichen chemischen Stoffen: www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/EMKG/EMKG.html

In vier Stufen werden Maßnahmen gegen das Einatmen bzw. die Aufnahme über die Haut ermittelt:

- Zuordnung zur Gefährlichkeitsgruppe;
- Ermittlung der Freisetzungsguppe bzw. Wirkfläche;
- Festlegung der Mengengruppe bzw. Wirkdauer;
- Ableitung des Maßnahmenbedarfs.

→ **THEMENBLATT: E**

STOFFENMANAGER

Das holländische, web-gestützte Tool zur Gefährdungsbeurteilung enthält ein CB-Nano-Modul, das auch in einer englischen Fassung vorliegt.

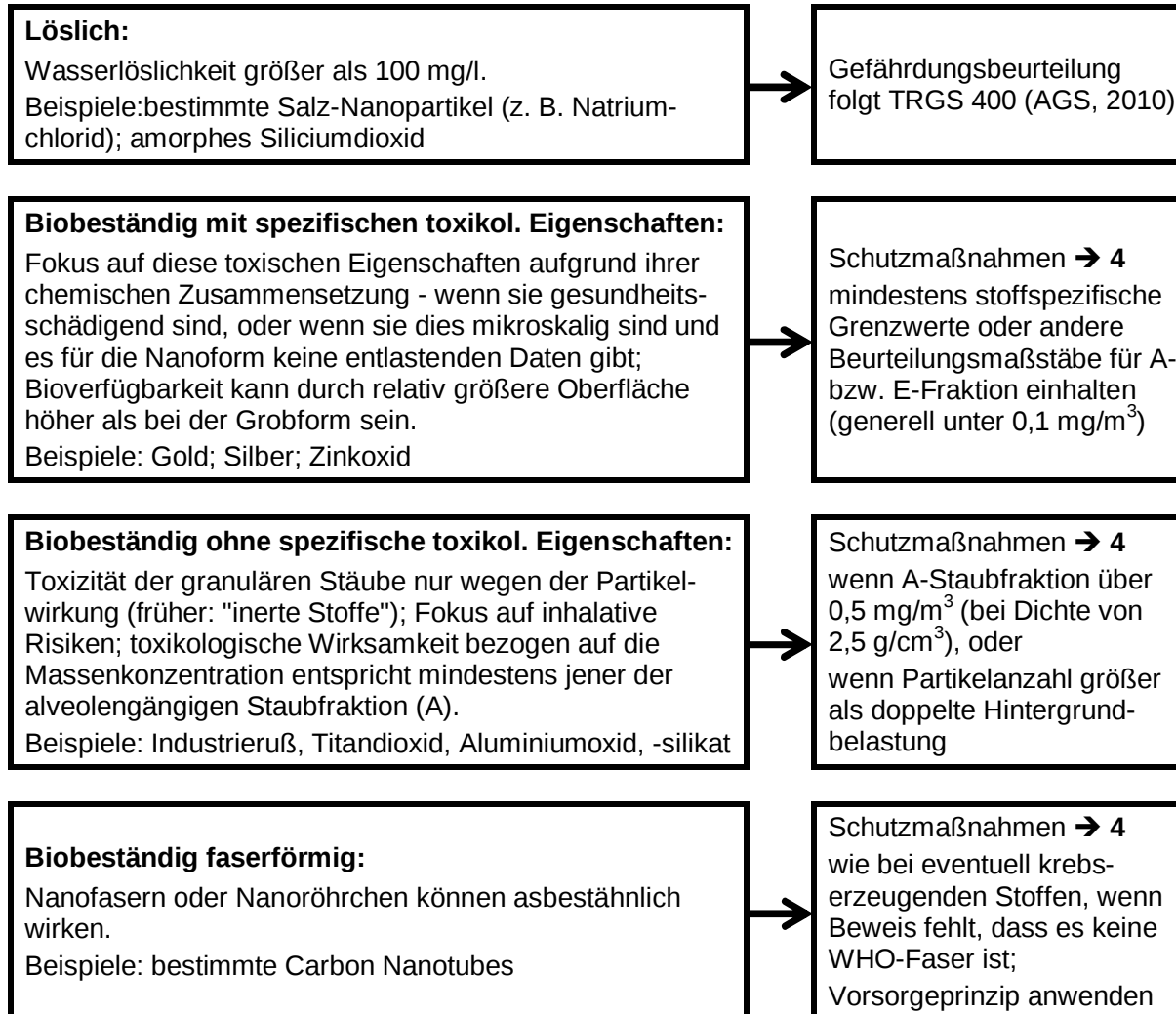
Der Stoffenmanager gilt für Einzelteilchen, Agglomerate oder Aggregate wasserunlöslicher und hergestellter Nanomaterialien mit einer Primärteilchengröße unter 100 nm bzw. einer spezifischen Nanostaub-Oberfläche über 60 m²/g (TNO, 2011; Van Duuren-Stuurman, 2012).

→ Stoffenmanager Nano: <http://nano.stoffenmanager.nl/>

→ **THEMENBLATT: E**

3.3. VORGEHEN NACH WIRKKATEGORIEN

Die **Deutsche BekGS 527** teilt die Nanomaterialien nach Biobeständigkeit, toxikologischen Eigenschaften, Form und Struktur in vier Gruppen ein, die mit unterschiedlichen Ansätzen bei Gefährdungsbeurteilung und Maßnahmenfestlegung verbunden sind (AGS, 2013b):



EINTEILUNG IN STOFFKATEGORIEN

Der holländische Sozial- und Wirtschaftsausschuss formulierte schon vor einigen Jahren 4 Kategorien von Nanomaterialien als Richtschnur für expositions-mindernde Maßnahmen (SER, 2009):

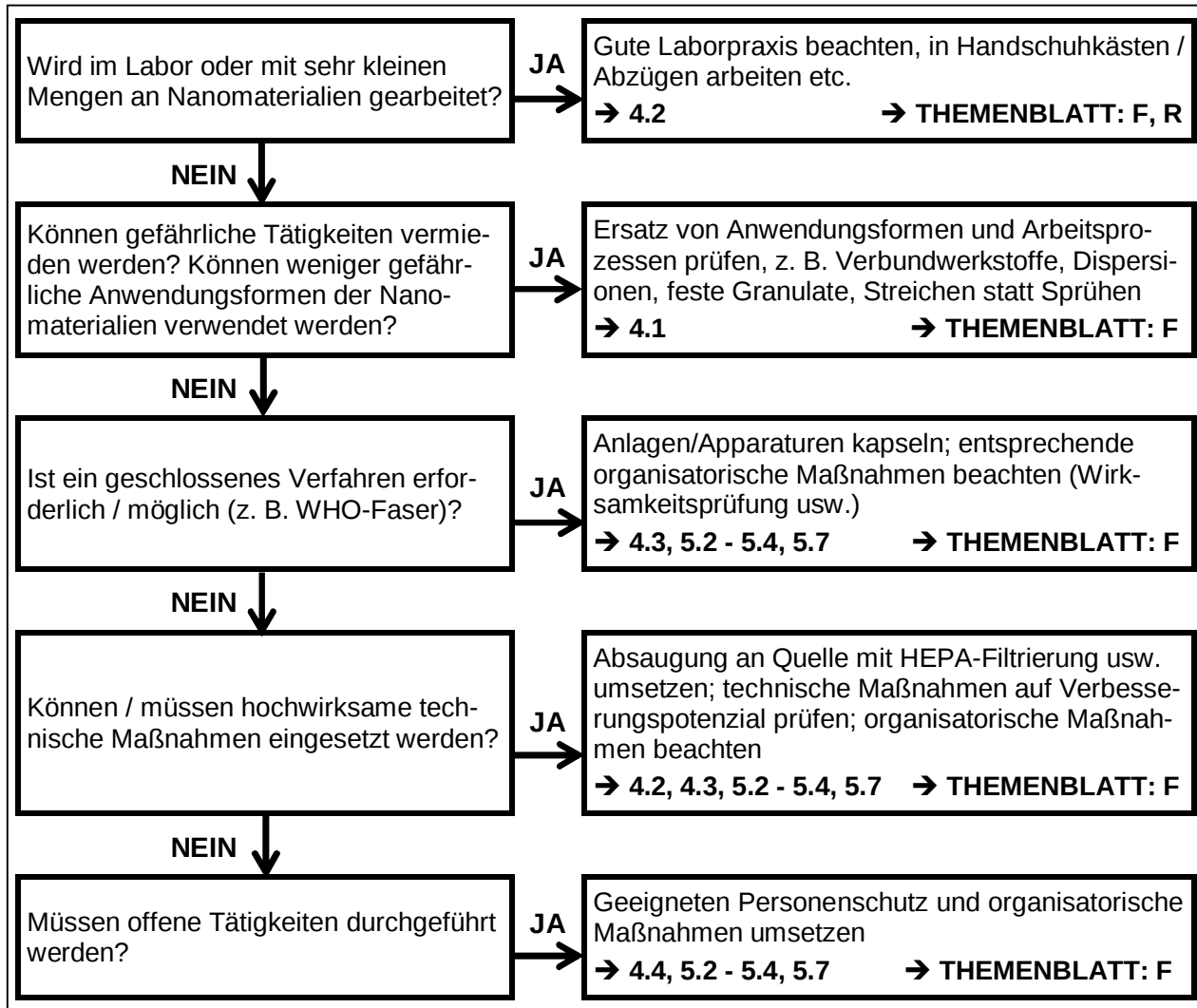
- faserförmige (unlösliche) Nanomaterialien (länger als 15 µm);
- schon in der makroskopischen Form krebs-erzeugende bzw. mutagene bzw. atemwegssensibilisierende bzw. reproduktionstoxische (= "CMAR") Nanomaterialien;
- unlösliche bzw. schwer lösliche Nanomaterialien, die nicht faserförmig oder CMAR sind;
- lösliche Nanomaterialien, die nicht faserförmig oder CMAR sind.

Aktivitäten in trockenen Nanomaterialien sind kritischer und brauchen viel weitreichendere Schutzmaßnahmen als in feste oder flüssige Matrix eingebettete.

→ THEMENBLATT: E

4. FESTLEGUNG VON SCHUTZMASSNAHMEN

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



BRANCHENSPEZIFISCHE INFORMATIONEN

Branchenspezifische Informationen sind beispielsweise in folgenden Quellen zu finden:

- **BAU**: BG BAU (2013), ITA (2012b), Van Broekhuizen F (2012), Broekhuizen et al. (2011; 2009).
- **FARBEN UND LACKE**: DLI (2010), HA (2009b).
- **GESUNDHEITSWESEN**: EU OSHA (2013b).
- **HOLZ**: EFBWW (2012).
- **INSTANDHALTUNG**: EU OSHA (2013c).
- **NAHRUNG**: EFSA (2011), ITA (2008).
- **TEXTIL**: Som et al. (2010), ITA (2010).

→ THEMENBLATT: F

NANOARBEIT IN LABORATORIEN

Ein Beispiel für die Regelung von Forschungsaktivitäten mit freien nanostrukturierten Materialien (pulverförmig, flüssig als Suspension und gasförmig) sind die Empfehlungen für die niederländischen Universitäten; sie beinhalten auch einen Ablaufplan (TU Delft, 2010).

Weitere Beispiele von Infoquellen für Forschung und Entwicklung: DGUV (2012), UKNSP (2012), NIOSH (2012).

→ THEMENBLATT: R

Die Auswahl der Schutzmaßnahmen orientiert sich am STOP-Prinzip bzw. der Rangordnung im AschG. 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 Nanoarbeiten zumindest ein Schutzniveau wie für biobeständige Ultrafeinstäube notwendig.

Speziell zu beachten sind:

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

4.1. SUBSTITUTION

Zu allererst sind Ersatzmaßnahmen in Erwägung zu ziehen:

- Die Vermeidung von Nanomaterialien ist eine wenig realistische Alternative, da sie gerade wegen ihrer spezifischen Eigenschaften eingesetzt werden.
- Die Substitution von einem Nanomaterial durch ein anderes ist derzeit schwer realisierbar, weil wegen Datenlücken eine Ersatzstoffprüfung nur selten möglich ist.
- Jedoch ist der **Ersatz von gefährlichen Arbeitsprozessen** durch weniger bzw. gar nicht gefährliche Tätigkeiten 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).

- Günstig ist eine **Formveränderung** des verwendeten Nanomaterials, um dessen Freisetzung zu erschweren und Expositionspotenzial zu verringern, z. B. Granulate, Pasten, Pellets, Pasten, in Verbundwerkstoffen oder in einer Flüssigkeit (als Suspension) eingebettet statt trockene staubende Pulver: besonders wichtig bei offenen Arbeiten!

Bei der Arbeit mit Nano-Suspensionen außerhalb geschlossener Systeme dürfen sich keine Aerosole bilden, z. B. bei Füllvorgängen: wässrige Pumpsprays verwenden!

Verwendung von faserförmigen Nanomaterialien, die nicht biobeständig sind bzw. nicht starr sind bzw. nicht den WHO-Fasern entsprechen!

SPEZIELLE NANOMATERIALIEN

Biobeständige starre Nano-Fasern wie Kohlenstoff-Nanoröhrchen mit Dimensionen wie WHO-Fasern können eine asbestartige Wirkung besitzen.

Aus Vorsorgegründen sind sie wie eventuell krebserzeugende Stoffe anzusehen, wenn nicht der Produzent durch Studien das Gegenteil bewiesen hat oder belegen kann, dass die Fasern nicht den WHO-Kriterien entsprechen, sowie die erforderlichen Schutzmaßnahmen im Sicherheitsdatenblatt anführt. Dies gilt auch für Fasern, für die morphologische Untersuchungen fehlen!

!

Die Schutzmaßnahmen müssen sich nach dem jeweiligen Stand der Technik orientieren, z. B. Bereichskennzeichnung mit Zutrittsbeschränkungen; geschlossene Systeme; wenn nicht möglich, persönliche Schutzkleidung und Atemschutz (Halbmasken mit P3-Filtern bzw. partikelfiltrierende Halbmasken FFP3; bei längeren Arbeiten gebläseunterstützte Masken mit Partikelfiltern TM2P bzw. TM3P). Eine Faserkonzentration von 10.000 Fasern/m³ ist anzustreben.

Nicht alle Kohlenstoff-Nanoröhrchen dürften asbestähnliche Effekte zeigen und ein so hohes Schutzniveau benötigen, eine Einzelfallbewertung ist notwendig.

Beispiele für **krebserzeugend eingestufte 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 (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, außer es handelt sich um Kleinstmengen. Vorhandene, **nicht geschlossene Anlagen bzw. Apparaturen sind zu kapseln!**

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

- **direkt an der Quelle absaugen** (Abzüge, Abzugshauben, Absaugungen usw.), allgemeine Lüftungsmaßnahmen sind nicht geeignet;
- **geeignet konstruierte Absaug-, Lüftungs- und Filtertechnik**, z. B. mit HEPA-Filtrierung und elektrostatischer Abscheidung, ggfs. Abtrennung des Arbeitsraums und Anpassung der Raumlüftung (leichter Unterdruck);
- bei unvermeidlichen Aerosolanwendungen **zusätzliche Schutzmaßnahmen**;
- **Schwebstofffilter der Filterklassen H (HEPA) bzw. U (ULPA)** verwenden;
- abgesaugte Luft nicht ohne **Abluftreinigung mit sehr hohen Abscheidegraden** ins Freie leiten bzw. zurückführen.

Beispiele für Nanotätigkeiten:

→ **KASTEN rechts**

- 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 Entwicklung** 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 sehr kritisch: Eine Kapselung sollte z. B. mit Handschuhkasten 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 Raum mit HEPA-Filtern 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**;
- Nanomaterialien innerbetrieblich **klar kennzeichnen**;
- **Nanoarbeiten 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**;
- **klare Verantwortlichkeiten** bestimmen.

Weitere organisatorische Maßnahmen betreffen z. B.:

→ KASTEN rechts

- Arbeitshygienische Regeln;
- Schulung und Information der Beschäftigten, die Nanoarbeiten 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-Abfällen;
- Vorbereitung auf unbeabsichtigte Freisetzung von Nanomaterialien.

ORGANISATORISCHE MASSNAHMEN

Abgesehen von der Prüfung der Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen (→ 6) und ggfs. einer arbeitsmedizinischen Überwachung (→ 5.6) geht es bei den "weiteren" Maßnahmen vor allem um die folgenden Aktivitäten.

Information, Unterweisung und Schulung (→ 5.7) für:

- Beschäftigte, die Nanoarbeiten durchführen;
- Instandhaltungspersonal;
- Lagerpersonal;
- Reinigungspersonal.

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

- Spezielle Tätigkeiten (z. B. Portionierung, Probenahme, Füll- und Entleerungsvorgänge,);
- Reinigung;
- Lagerung.

Festlegung von Regeln, Maßnahmen bzw. Vorgangsweisen für:

- Generelle Arbeitshygiene (→ 5.2);
- Verfahren für Instandhaltung (→ 5.3);
- Lagerung von Nanomaterialien (→ 5.1);
- Unbeabsichtigte Freisetzung / Störfälle (→ 5.5);
- Reinigung (→ 5.2);
- Abfallsammlung (→ 5.4).

→ THEMENBLATT: F

4.4. PERSÖNLICHE SCHUTZAUSRÜSTUNG

ATEMSCHUTZ

Atemschutz ist für alle Tätigkeiten notwendig, bei denen Nanomaterialien in die Luft emittiert werden können, außer die Risikoabschätzung ergibt das Gegenteil. → **KASTEN rechts**

Vermeidung inhalativer Expositionen:

- faserförmige Filtermasken (aus Glasfasern oder Zellulose) mit mittlerem und hohem Abscheidevermögen prinzipiell geeignet: P2, P3;
- für staubende (granuläre) Stoffe Voll- oder Halbmasken mit P2- bzw. 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;
- für biobeständige toxische bzw. faserförmige Nanomaterialien → **Kasten bei 4.1**;
- dichten Sitz der Maske auf dem Gesicht sicherstellen; alle Träger probieren lassen.

HAUTSCHUTZ

Bei möglichem Hautkontakt ist es empfehlenswert Schutzhandschuhe zu tragen, wenn die gesundheitlichen Auswirkungen durch die Aufnahme der verwendeten Nanomaterialien über die Haut noch nicht vollständig untersucht sind. Bei staubenden Arbeiten sind unbedingt Chemikalienhandschuhe zu tragen. → **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;
- teilweise empfohlen, zwei Handschuhe übereinander zu tragen;
- Überlappung der Handschuhe mit sonstiger Schutzkleidung sowie das korrekte An- und Ausziehen wichtig.

ATEMSCHUTZ

Inhalation ist der bedeutendste Aufnahmeweg in den menschlichen Körper.

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

Nanopartikel können nachweislich durch die geschädigte Haut aufgenommen werden, derzeit gibt es jedoch wenig Hinweise auf eine nennenswerte Aufnahme über die gesunde Haut. Weitere Forschung ist notwendig.

Eine Bestätigung der Wirksamkeit von Schutzhandschuhen sollte gefordert werden, weil in der Regel 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 aus Polyethylen geeignet;
- Einwegoveralls mit Kapuze u.ä. sind zu bevorzugen;
- beim Auftreten von Stäuben staubdichten Schutzanzug tragen (Typ 5);
- wenn notwendig, höheres Schutzniveau durch Chemikalienschutzanzüge sichern.

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, und bei denen die Risikoabschätzung dies fordert: **→ KASTEN rechts**

- Polymer-Stulpenhandschuhe (z. B. Nitrilkautschuk) oder Nitrilhandschuhe mit verlängerten Ärmeln verwenden; Handschuhe aus Neopren und Vinyl sind weniger porös bzw. durchlässig;
- Auswahl des Handschuhmaterials je nach seiner chemischen Widerstandsfähigkeit gegenüber den jeweiligen Nanomaterialien und, wenn sie in flüssigen Medien 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 wichtig. 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, insbesondere bei der Lagerung von pulverförmigen Materialien zu beachten:

→ **KASTEN rechts**

- 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 bzw. 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 "Lagerung von Nanomaterialien" erstellen;
- Lagerungspersonal informieren, unterweisen und einschulen.

LAGERUNG

Wenn die Informationen zur Lagerung von Nanomaterialien in Punkt 7 des Sicherheitsdatenblattes unbefriedigend sind oder überhaupt fehlen, sind beim Hersteller/Lieferanten ausreichende Hinweise einzufordern.

Sie sollten z. B. gefragt werden, ob es statt Aufreißsäcken alternative Gebinde gibt, bei deren Öffnen kein Material austreten kann (z. B. Fässer), bzw. durch deren geringere Größe eine Portionierung erst gar nicht notwendig ist.

Nanomaterialien werden in eigenen Räumen gelagert, die nur befugte, geschulte Personen betreten dürfen.

Bereits geöffnete Säcke sind getrennt von noch verschlossener Sackware zu lagern.

Beschädigte Gebinde müssen in einem gesonderten Raum in Ordnung gebracht werden.

Es empfiehlt sich die Ausarbeitung einer Betriebsanweisung bzw. von spezifischen Lagerregeln.

→ **THEMENBLATT: G**

5.2. HYGIENE UND REINIGUNG BEI NANOARBEITEN

HYGIENISCHE GRUNDSÄTZE

Der Betrieb muss für eine Gute Hygienische Praxis und Persönliche Schutzausrüstung sorgen:
→ **KASTEN rechts**

- Rauchen, Essen, Trinken und Aufbewahren von Lebensmitteln in Nano-Arbeitsbereichen verbieten;
- geeignete Waschgelegenheiten bereitstellen;
- Arbeitskleidung auf Sauberkeit prüfen;
- Persönliche Schutzausrüstung und Arbeitskleidung durch Arbeitgeber reinigen;
- Arbeitskleidung und Alltagskleidung getrennt aufbewahren;
- Personal in Guter Hygienischer Praxis informieren und unterweisen.

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:
→ **KASTEN rechts**

- Arbeitsoberflächen geeignet gestalten, z. B. nicht porös, fugenfrei, leicht zu reinigen;
- nass reinigen, Ablagerungen oder verschüttete Materialien feucht aufwischen;
- alternativ für größere Mengen einen Industriestaubsauger mit wirksamen Filtern (z. B. HEPA H14) einsetzen, wenn nötig explosionsgeschützte Geräte;
- Arbeitsmittel regelmäßig korrekt warten und Verbrauchsmaterialien austauschen, z. B. Staubsaugerfilter, Reinigungsgeräte;
- geeignete Schutzmaßnahmen und Ausrüstung je nach Risikoniveau bereitstellen (→ 4.4);
- Persönliche Schutzausrüstung regelmäßig korrekt 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. Eine geeignete Infrastruktur und die notwendige Persönliche Schutzausrüstung muss vom Unternehmen zur Verfügung gestellt werden.

→ **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 wassergefüllten 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 näher beschreiben, beispielsweise Staubsauger mit HEPA-Filtern, mit geeigneten Lösungsmitteln angefeuchtete Stoffe usw.

→ **THEMENBLATT: H**

5.3. INSTANDHALTUNG BEI NANOARBEITEN

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

- Absaug- und Lüftungssysteme regelmäßig einer Leistungs- bzw. Funktionsprüfung 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 warten und ggfs. ersetzen;
- auf die jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten abgestimmte spezielle Betriebsanweisungen "Nano-Instandhaltung" erstellen;
- Instandhaltungspersonal informieren, unterweisen und einschulen.

5.4. ABFALLSAMMLUNG BEI NANOARBEITEN

Nano-Abfälle sind als potenziell gefährlich anzusehen und so zu sammeln, dass keine Nanomaterialien austreten können. **→ KASTEN rechts**

Nanomaterialien:

- in dicht schließenden Abfallbehältern sammeln und als nanoskalig etikettieren;
- Informationen über bekannte und vermutete Eigenschaften beifügen, z. B. chemische Zusammensetzung, mögliche Staubbildung beim Öffnen der Gebinde;
- Metallpulver in Metallbehältern, Oxide in Kunststoffbehältern sammeln;
- Sammelbehälter in einem Abzug oder an einem ähnlich geeigneten 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 mit festgelegten Terminen sollte erstellt werden, z. B.: ganze Ausrüstung vor Instandhaltung verschließen und reinigen; adäquate Hilfsmittel beschreiben, z. B. Staubsauger mit HEPA-Filtern, mit geeigneten Lösungsmitteln angefeuchtete Stoffe usw.

Bei der Instandhaltung kann es erhöhte Nano-Expositionen geben. So müssen beispielsweise auch bei geschlossenen und gekapselten Systemen regelmäßige Reinigungs- und Wartungsarbeiten durchgeführt werden, sind Proben zu nehmen oder Absaug- und Lüftungssysteme zu prüfen. Dies macht ein zeitweises Öffnen der Anlagen notwendig.

Für solche Arbeiten müssen geeignete Schutzmaßnahmen und Persönliche Schutzausrüstung je nach Risikoniveau zur Verfügung gestellt werden, wenn eine vollautomatische Reinigung bzw. Instandhaltung nicht möglich ist.

→ THEMENBLATT: J

ABFALLSAMMLUNG

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

Vorsorgend müssen Nano-Abfälle im Zweifelsfall als gefährlicher Abfall behandelt und sicher gesammelt werden, sodass keine Nanomaterialie austreten können. Sie sind mit entsprechenden Informationen den entsorgenden Firmen zu übergeben: Inhalt, chemische Zusammensetzung, Staubbildung beim Öffnen der Gebinde, usw.

!

Abfallentsorgung, Abwasserbehandlung und Abluftreinigung werden in diesem Leitfaden nicht näher behandelt.

→ THEMENBLATT: K

5.5. UNBEABSICHTIGTE FREISETZUNG BZW. STÖRFÄLLE MIT NANOMATERIALIEN

Für Notfälle wie Lecks sind Aktionspläne zu erstellen, deren Methoden von Risikoniveau und Stoffmengen abhängen. Auch Betriebe, 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 und verunreinigte Schutzkleidung in geeigneten Behältern sammeln (→ **5.4, Abfallsammlung**);
- geeignete Schutzmaßnahmen / -ausrüstung je nach Risikoniveau bereitstellen (→ **4**);
- Reinigungspersonal informieren, unterweisen und einschulen.

5.6. 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 noch keine nanospezifischen arbeitsmedizinischen Untersuchungen, weil wissenschaftlich fundierte Grundlagen und geeignete Indikatoren bzw. Wirkungsparameter fehlen, die den Beginn einer Schädigung durch Nanomaterialien kennzeichnen.

Für die Übergangszeit wird vorgeschlagen, für Atemwegserkrankungen übliche Methoden einzusetzen, z. B. regelmäßige Lungenfunktionsuntersuchungen.

UNBEABSICHTIGTE FREISETZUNG

Die deutsche BekGS 527 beschreibt das Vorgehen beim Verschütten einer größeren Menge eines staubenden Nanomaterials (AGS, 2013a): Ungeschützte Personen haben den Arbeitsbereich zu räumen, ggfs. sind Notfallmaßnahmen einzuleiten. Der Arbeitsbereich wird zur Reinigung erst wieder betreten, wenn sich die Staubwolke niedergeschlagen hat. Bei biobeständigen Nanomaterialien sind zusätzlich zur Arbeitsbekleidung (Arbeitshose, -jacke, -sicherheitsschuhe, sowie Schutzbrille) ein staubdichter Schutzanzug Typ 5, Chemikalienschutzhandschuhe und eine dicht schließende Atemschutzmaske mit P3-Filter zu tragen.

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

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

→ **THEMENBLATT: L**

ARBEITSMEDIZINISCHE ÜBERWACHUNG

Einen epidemiologischen Nutzen bringen die Ergebnisse der vorgeschlagenen Untersuchungen nur, wenn sie mit jenen der Expositionsmessungen verknüpft dokumentiert werden.

Ohne fundierten Verdacht sollten keine Untersuchungsverfahren zum Einsatz kommen, die selbst potenziell schädigend wirken, z. B. Röntgenuntersuchungen.

→ **THEMENBLATT: M**

5.7. INFORMATION, UNTERWEISUNG UND EINSCHULUNG FÜR NANOARBEITEN

Die ArbeitnehmerInnen und ihre Vorgesetzten müssen über Nano-Arbeitsplätze und Nano-arbeiten gründlich informiert und unterwiesen sein.
→ **KASTEN rechts**

Verschiedene Arten der Information sind einzusetzen:

- regelmäßige und verständliche mündliche Unterweisung;
- in Arbeitsanweisungen, Betriebsanweisungen und Regeln die wichtigsten Informationen über auftretende Risiken, notwendige Schutzmaßnahmen und alle, zu ihrer Umsetzung bzw. Einhaltung erforderlichen Hinweise vermitteln;
- schriftliche Betriebsanweisungen für Tätigkeiten mit hohem Risikopotenzial und für spezielle Tätigkeiten ausarbeiten;
- 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 Nanotätigkeit;
- Arbeits- und Betriebsanweisungen sowie Regeln dafür;
- Hauptergebnisse der Risikobeurteilung und wichtige Informationen über das Risikomanagement;
- insbesondere die eingesetzten notwendigen Schutzmaßnahmen einschließlich Persönlicher Schutzausrüstung;
- Notfallmaßnahmen (→ 5.5);
- Ergebnisse etwaiger Expositionsmessungen und ggfs. das kollektive Ergebnis eines Gesundheitsmonitorings.

UNTERWEISUNG

Schriftliche Betriebsanweisungen sind für potenziell besonders gefährliche Arbeitsschritte und Tätigkeiten sinnvoll, aber auch für Nicht-Routine-Arbeiten wie Lagerung, Instandhaltung oder Abfallsammlung.

Sie können beispielsweise als A3-formatiges Plakat am Arbeitsplatz angebracht werden.

Die praktische Übung der sachgemäßen Handhabung und Durchführung von Schutzmaßnahmen für Nanoarbeiten ist sehr zu empfehlen, weil z. B. ein schlechter Sitz oder ein unkorrekte Verwendung die Persönliche Schutzausrüstung unbrauchbar machen können.



→ **THEMENBLATT: N**

6. PRÜFUNG DER WIRKSAMKEIT V. SCHUTZMASSNAHMEN

Mit Kontrollmessungen kann die Effektivität von Maßnahmen gegen luftgetragene Exposition überprüft werden, 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 Nanotätigkeit (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 sehr schwierig. Messmethodisch bereitet die Hintergrundbelastung Probleme, und der Umstand, dass es für Nanomaterialien noch keine gesundheitsbasierten Grenzwerte gibt, die als Maßstab genommen werden können. Auch der Allgemeine Staubgrenzwert kann in seiner derzeitigen Höhe dafür nicht benutzt werden.

In letzter Zeit wurden verschiedene **pragmatische Beurteilungswerte** für eine Übergangszeit empfohlen.

Die Erstellung solcher "Benchmarks" steht vor prinzipiellen methodischen Problemen. 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 gesundheitsbasierten Grenzwerten sollte die Exposition der ArbeitnehmerInnen die unbelastete Umgebungsluft nicht überschreiten.

PRÜFUNG DER WIRKSAMKEIT

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

Eine vereinfachte dreistufige Vorgehensweise bestimmt und beurteilt die Nano-Exposition mit nicht zu großem Aufwand, falls nicht die dritte Stufe der Expertenbeurteilung erforderlich ist. Nach der Informationserfassung (→ 2.1) in der ersten Stufe erfolgt eine Basisbeurteilung mit leicht anzuwendenden Messgeräten.

Pragmatische Beurteilungswerte erarbeitete beispielsweise die britische Normeneinrichtung BSI, das US Arbeitsschutzinstitut NIOSH oder das Deutsche Institut für Arbeitsschutz IFA. In den Niederlanden werden Nanoreferenzwerte als vorläufige Ersatzgrenzwerte eingesetzt.

Dabei ist der generelle und methodische Diskussionsbedarf beträchtlich. Werden bei der Anwendung von Risikokategorien und Beurteilungswerten die jeweiligen Voraussetzungen und Einschränkungen bedacht, sind sie dennoch ein nützliches Hilfsmittel, bis Nano-Expositionsszenarien besser bekannt sind und das arbeitsmedizinisch-toxikologische Wissen über Nanomaterialien ausreicht, um gesundheitsbasierte nanospezifische Grenzwerte aufstellen zu können.

Außer der Effektivität der festgelegten Schutzmaßnahmen ist auch zu prüfen, ob weitere, beim Risikomanagement von Nanomaterialien getroffene Aktivitäten tatsächlich umgesetzt wurden und wie sie sich bewährt haben (→ 2.2).

→ **THEMENBLATT: D**

7. DOKUMENTATION DER GEFÄHRDUNGSBEURTEILUNG

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

Sie sollte folgende Informationen beinhalten:

- verwendete Nanomaterialien, ihre gesundheitsgefährdenden und physikalisch-chemischen Eigenschaften;
- Nano-Arbeitsbereiche, sowie Routine-Tätigkeiten und Nicht-Routine-Tätigkeiten;
- Anzahl der Beschäftigten, die mit Nanomaterialien umgehen bzw. Kontakt haben;
- Arbeitsbedingungen: Dauer und Häufigkeit der Tätigkeiten, Verbrauch pro Zeiteinheit und Verwendungsart bzw. -form der Nanomaterialien, Höhe der potenziellen Nano-Exposition usw.;
- festgelegte technische, organisatorische und personenbezogene Schutzmaßnahmen;
- Zusammenstellung der Informationen in der Lieferkette: Sicherheitsdatenblätter, technische Merkblätter, Informationen der Hersteller/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 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 stellen eine sinnvolle Ergänzung dar.

Ein personenbezogenes Expositionsregister kann für spätere Untersuchungen nützlich sein.

DOKUMENTATION

Bei Nanomaterialien gibt es nach wie vor beträchtliche Informationslücken. Gefahrenermittlung und Risikoabschätzung sind oft nur qualitativ möglich; es fehlen noch Beurteilungsmaßstäbe wie gesundheitsbasierte Grenzwerte, mit denen die Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen geprüft werden kann. Umso wichtiger ist eine umfassende und genaue Dokumentation der Gefährdungsbeurteilung, weil die getroffenen Entscheidungen später klar nachvollziehbar sein müssen.

Wenn vorhanden, liefern Dokumente zur Qualitätssicherung und zum Sicherheits- und Gesundheitsmanagement des Unternehmens, zu Haftungsfragen, sowie zu eventuellen Qualitäts- und Sicherheitsuntersuchungen, nützliche zusätzliche Informationen.

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

→ **THEMENBLATT: O**

Themenblatt A: Definition und Charakterisierung von Nanomaterialien

Seit Kurzem gibt es eine Empfehlung der Europäischen Kommission zur einheitlichen Definition von Nanomaterialien (EU, 2011). Sie soll Ende 2014 überprüft werden.¹

Ein Nanomaterial ist ein natürliches, zufällig entstandenes oder bewusst hergestelltes Material, das **Partikel in ungebundenem Zustand, als Aggregat oder Agglomerat** enthält und bei dem zumindest 50 % der Partikel in der Anzahlgrößenverteilung ein oder mehrere Außenmaße **von 1 bis 100 nm** haben.

Die Definition beruht lediglich auf der Größe der Materialbestandteile und sagt nichts über nanospezifische Eigenschaften aus. Sie beinhaltet jedoch nicht nanostrukturierte Materialien wie Nanokomposite. Abweichend von der Definition werden auch Fullerene, Graphenflocken und einwandige Kohlenstoff-Nanoröhrchen mit einer oder mehreren Außendimensionen unter 1 nm als Nanomaterialien betrachtet werden.

Dieser Leitfaden verwendet den Begriff "Nanomaterialien" zusammenfassend für alle Arten und im Sinne des Vorsorgeprinzips weit gefaßt, solange das Wissen um Nanowirkungen noch so lückenhaft ist. Abweichend von der Europäischen Kommission schließt er jedoch natürliche oder bei Prozessen zufällig anfallende Stoffe aus und konzentriert sich auf Stoffe, Gemische (Zubereitungen) oder Erzeugnisse, die aus **bewusst hergestellten Nanomaterialien** bestehen bzw. solche enthalten.

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.²

- Die **untere Grenze** bereitet geringe Abstimmungsprobleme: Einzelne Atome sind zwischen 0,1 und 1 nm groß. Einzelne Moleküle gelten nicht als Nanomaterialien, auch wenn sie sehr groß sind. Auch hier gibt es aber Grenzfälle wie die Fullerene.
- Schwierig ist die **obere Grenze**, die praktische Gründe hat. Die Übergänge vieler (Nano-)Eigenschaften sind nicht abrupt, sondern gleichmäßig. Nur wenige Nanomaterialien haben eine einheitliche Größe, ihre **Größenverteilung** ist zu beachten und zu definieren. Sie kann sich über einen bestimmten Bereich erstrecken - die meisten Partikel können zwar über 100 nm groß sein, einige aber darunter liegen³.
- Nanopartikel schließen sich überdies häufig zu größeren Verbundsystemen (**Agglomerate oder Aggregate**) zusammen. Ihre Bildungs- bzw. Zerfallprozesse ändern die Größenverteilung der Primärpartikel und sind daher ebenfalls zu berücksichtigen.
- Drei Typen sind zu unterscheiden: natürlich entstanden (z. B. bei Vulkanausbrüchen, Waldbränden); unerwünschtes Nebenprodukt menschlicher Aktivitäten (z. B. ultrafeine Stäube, Aerosole, Dieselmotormissionen, Schweißbrauche); geplant erzeugt.

¹ Für Übersichten und Diskussion verschiedener anderer existierender Definitionsansätze siehe ITA (2013) und SCENIHR (2010); vgl. auch z. B. OECD (2011), JRC (2010) und ISO (2008).

² 1 Nanometer = 1 nm = 1 Milliardstel Meter; für die Beschreibung von Nanomaterialien und im Leitfaden verwendete Begriffe, siehe Glossar!

³ Vgl. Begründung für die Festlegung der "Nano-Relevanz" im Vorsorgeraster (siehe Leitfaden, 1.1).

Parameter / Eigenschaften

Die Eigenschaften eines Nanomaterials beruhen in erster Linie auf zwei Effekten:

- Wegen ihrer geringen Größe sind viel mehr Materialteilchen auf seiner Oberfläche als bei einem gleich schweren Stück desselben Materials in makroskopischer Form⁴: Sie besitzen daher relativ eine höhere Reaktivität, weil die Atome oder Moleküle an der Oberfläche eines Materials nach außen chemisch oder biologisch wirksam sind.
- Im Nanobereich können physikalische Eigenschaften nicht mehr durch klassische Physik erklärt werden. Es treten Phänomene auf, die im atomaren und molekularen Bereich angesiedelt sind und sich nur quantenphysikalisch beschreiben lassen.

Zu den geometrischen Merkmalen zählen neben **Größe** bzw. **Größenverteilung** auch die **Oberfläche** und **Gestalt** von Nanomaterialien. Für das Risikomanagement ist eine morphologische Charakterisierung von zentraler Bedeutung, wenn sie Staub freisetzen können. Für Pulver bzw. trockene feste Stoffe, nicht aber direkt für Suspensionen u.ä., ist die **spezifische Oberfläche** (Oberfläche pro Volumseinheit) ein wichtiges Merkmal. Das Beispiel der Nanoröhrchen, für die asbestähnliche Wirkungen vermutet werden, zeigt den Stellenwert von **Form und Struktur**.

Sog. "neue Eigenschaften" im Vergleich zu ähnlichen, aber schon lange erzeugten Materialien, sind meist kein Abgrenzungsmerkmal. Dies gilt auch für viele **physikalisch-chemische Eigenschaften**, mit denen sich Nanomaterialien überdies charakterisieren lassen und die ihr Verhalten bestimmen⁵. Die OECD (2010a) zeigte dies anhand von 16 Merkmalen, darunter Kristallstruktur, Redoxpotential, photokatalytische Aktivität oder Wasserlöslichkeit. Sie ändern sich teils kontinuierlich mit der Größe, und eine generelle Grenze ist nicht anzugeben. Teils treten unterhalb einer bestimmten Größe einzigartige Eigenschaften auf, z. B. beim 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, wie auch **Löslichkeit**, die **Abbaubarkeit** bzw. **Persistenz**, sowie das **Agglomerations- und Aggregationsverhalten**. Weitere Beispiele für interessante Eigenschaften sind die Porosität des Materials, Oberflächenladung, elektrische Leitfähigkeit, Beschichtung der Oberfläche, Reinheit (Gehalt an Verunreinigungen aus der Herstellung), sowie besondere magnetische, optische oder katalytische Eigenschaften.

Die meisten dieser Parameter eignen sich nicht für eine Definition von Nanomaterialien, sind aber für die **Gefahrenermittlung** und damit zur Gefährdungsbeurteilung relevant:

- Für SCENIHR (2010) sind die wichtigsten physikalisch-chemischen Eigenschaften: Größe/Größenverteilung; spezifische Oberfläche; Stabilität in wichtigen Medien (inkl. Fähigkeit zu aggregieren und zu zerfallen); Adsorptionsverhalten der Oberfläche; Löslichkeit in Wasser; chemische Reaktivität (derzeit am besten nach Einzelfall unter Berücksichtigung der vermutlichen Anwendungen bestimmt). Eventuell sind auch die Photoaktivierung und das Potenzial, aktiven Sauerstoff zu erzeugen, zu beachten.⁶
- Wesentliche Information sind nach AGS (2013b): Einstufung; Partikelanzahlgrößenverteilung; spezifische Oberfläche; Form und Struktur; Oberflächenmodifikation; Wasserlöslichkeit (zur Bewertung der Biobeständigkeit); Staubungsverhalten (z. B. Staubungskenngrößen); Brennbarkeit (z. B. Entzündbarkeit und Explosionsgrenzen).

⁴ Für Letzteres werden im Leitfaden auch die Begriffe "Bulkmaterial" oder "Grobform" verwendet.

⁵ Vgl. zur Charakterisierung auch RCH (2012), Lang/Meyer-Plath (2012), Kap. 1 in INAIL (2011), UIC (2009) oder Ostiguy et al. (2009).

⁶ Für brennbare Materialien und UFP-Stäube sind Brand- und Explosionseigenschaften zu beachten.

Themenblatt B: Stoffliste und Tätigkeitsliste Nano

Stoffliste Nano

Die Tabelle ist ein Beispiel für die Erfassung der Merkmale von Arbeitsstoffen, die nanoskalig sind oder einen bzw. mehrere solche Bestandteile enthalten¹. Sie muss für jeden dieser Arbeitsstoffe getrennt angelegt werden.

(Handels-) Name des nanoskaligen Arbeitsstoffs:				
	NM 1	NM 2	NM 3	...
Hersteller / Lieferant				
Chemische Bezeichnung /Name der NM				
CAS-Nummer/n				
Einstufung (NM oder sein Ausgangsmaterial ein CMR-Stoff?) ²				
Größe bzw. Partikelanzahlgrößenverteilung der NM				
Spezifische Oberfläche der NM				
Dichte der NM				
Angaben zu Form und Struktur (Materialien analog WHO-Fasern vorhanden? Wenn ja, welche Länge und Durchmesser?)				
Angaben zu Oberflächenmodifikation				
Löslichkeit der NM in Wasser				
Angaben zum Staubungsverhalten				
Angaben zu Brennbarkeit (Entzündbarkeit? Explosionsgrenzen?)				
Zustand der NM (z. B. Flüssig? Fest? Freie Partikel? Aggregate? Agglomerate? In Suspension? In fester Matrix?)				
.....				
.....				
.....				

Entsprechen biobeständige, starre und faserförmige NM den Kriterien von WHO-Fasern oder gibt es zu ihnen keine morphologischen Untersuchungen, sind sie wie Stoffe mit eventuell krebserzeugenden Eigenschaften zu behandeln (Vorsorgeprinzip).

¹ Hier vereinfacht als Nanomaterial bezeichnet und mit "NM" abgekürzt; für weitere interessante Eigenschaften siehe Leitfaden, Kapitel 1 bzw. Themenblatt A. Ein internationales Beispiel einer Nanoliste zeigt WHSQ (2010b) aus Australien.

² Krebserzeugender, erbgutverändernder oder fortpflanzungsgefährdender Stoff

Tätigkeitsliste Nano

Die Tabelle ist ein Beispiel für die Erfassung von Tätigkeiten mit Arbeitsstoffen, die nanoskalig sind oder einen bzw. mehrere solche Bestandteile enthalten. Sie muss für jeden dieser Arbeitsstoffe getrennt angelegt werden.

(Handels-) Name des nanoskaligen Arbeitsstoffs:

Name des/r NM:

Tätigkeit	Verbrauch/Zeiteinheit	Dauer der Tätigkeit	Frequenz der Tätigkeit	Vorhandene Schutzmaßnahmen	Satub- oder Aerosolbildung vorhanden	Anzahl der Beschäftigten	Qualifikation / Informationsstand der Beschäftigten	Arbeitsschwere / Arbeitszufriedenheit	
Transport im Betrieb									
Lagerung									
Bedienung der Maschinen									
Einwiegen									
Portionieren, Dosieren									
Befüllen und Entleeren									
Probenahme									
Mahlen									
Schleifen, Polieren									
Bohren, Schneiden									
Verpacken									
Reinigung									
Instandhaltung									
Abfallsammlung									
.....									
.....									

Die Erörterung des weiteren Vorgehens bringt Beispiele für Tätigkeiten, bei denen Nanomaterialien und ihre Aggregate und Agglomerate freigesetzt werden.³

Bei Tätigkeiten mit staubenden Nanomaterialien ist immer von einer Gefährdung auszugehen, deren Höhe aus der Gefährdungsbeurteilung geschätzt wird.

Meist wird die Gefährdung durch Nanomaterialien geringer, wenn sie beim nachgeschalteten Anwender in einer Matrix gebunden werden, z.B. in einem Lack.

³ Siehe beispielsweise Themenblatt E (Risikoabschätzung) und Themenblatt F (Schutzmaßnahmen).

Themenblatt C: Information über Nanomaterialien in der Lieferkette

Erst das Wissen um Risikoszenarien und Schutzmaßnahmen schafft die Basis für einen verantwortungsvollen Umgang mit Nanotechnologien und Nanomaterialien. Die Risikokommunikation in der Lieferkette ist jedoch unzureichend.

Sicherheitsdatenblätter sind das wichtigste Instrument, speziell für Klein- und Mittelbetriebe. Es ist bekannt, dass ihre Rezeption vor allem in kleineren Betrieben aus vielen Gründen mangelhaft ist. Viele solcher Unternehmen kümmern sich daher auch nicht in ausreichendem Maße um Nano-Informationen. Allerdings können sie bisher potenzielle Risiken nur schwer erkennen, weil sie meistens keine oder nur ungenügende Auskünfte über das Vorhandensein von Nanopartikeln und damit verbundene Gefahren erhalten. So findet sich im Sicherheitsdatenblatt oft der Satz: *"Dieser Stoff hat keine gefährlichen Eigenschaften."* Übliche Quellen versagen für viele Nanomaterialien, weil die Kenntnisse über potenzielle Gesundheitswirkungen noch sehr lückenhaft und Grenzwerte nicht festgelegt sind. Nachgeschaltete Anwender fühlen sich daher bisher zu Recht von Herstellern bzw. Lieferanten überwiegend nicht ausreichend informiert

In österreichischen Fallstudien war die **nanospezifische Risikokommunikation in der Lieferkette nur in wenigen Fällen befriedigend**. Meist enthielten die Sicherheitsdatenblätter nicht einmal Basisangaben über die Nanomaterialien, schon gar nicht Details über damit verbundene Gefahren oder Maßnahmen (Kittel et al., 2009).

Eine vergleichbare Situation zeigen für Sicherheitsdatenblätter viele (inter)nationale Untersuchungen und Veröffentlichungen¹:

- Sie sind vielfach fehlerhaft oder besitzen große Lücken.
- Sie weisen meistens keine nanospezifischen Basisdaten wie Partikelgröße und Partikelverteilung, 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 brauchbar, um die

- mit einer Nanoanwendung verbundenen potenziellen Gefährdungen zu beurteilen,
- ein sicheres Nano-Risikomanagement durchzuführen, und
- die MitarbeiterInnen ausreichend zu unterweisen und zu informieren.

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 wären weiters spezielle Empfehlungen zu Risikomanagementmaßnahmen für expositionsrelevante Schritte in Handhabung und Lagerung (HA, 2009b).

¹ Vgl z. B. Lee et al. (2013), ETUI (2013), EU OSHA (2013a, 2012), AUVA (2010), SW (2010a), Suva (2009), UIC (2009), Hallock et al. (2009), HA (2009b).

Nanospezifische Informationen sollten im **Sicherheitsdatenblatt** insbesondere in den Abschnitten 1 (Bezeichnung des Stoffs bzw. des Gemischs und des Unternehmens), 2 (Mögliche Gefahren), 3 (Zusammensetzung/Angaben zu Bestandteilen) und 9 (Physikalische und chemische Eigenschaften) zu finden sein². In Abschnitt 9 umfasst dies z. B. Größe und Größenverteilung, Form, Porosität, Schüttdichte, Aggregationszustand / Agglomerationszustand, Morphologie, Oberfläche (m²/Masse), Oberflächenladung / zeta-Potential und Kristallphase.

Der Leitfaden der Europäischen Chemikalienagentur zur Erstellung von Sicherheitsdatenblättern im Rahmen von REACH und CLP wird derzeit überarbeitet.

Vom VCI wurden für Nanomaterialien schon 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).

Auch die ISO (2012c) hat ein Sicherheitsdatenblatt für Nanomaterialien entwickelt.

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 viel umfassendere Hilfestellung bieten. Die gilt jedoch 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.

Die Erstellung und Weitergabe von SDB ist nur für Stoffe und Gemische verpflichtend, die als gefährlich eingestuft sind. Lt. Verband der Chemischen Industrie in Deutschland wird jedoch freiwillig ein Sicherheitsdatenblatt auch für Stoffe und Gemische geliefert, für die es nicht vorgeschrieben ist.

Gerade für Klein- und Mittelbetriebe ist es aufgrund eingeschränkter Ressourcen meist nicht einfach, selbst Daten zu Nanomaterialien recherchieren. Wenn kein Sicherheitsdatenblatt geliefert wurde, ist anzuraten, die **Lieferanten / Hersteller zu ersuchen eine adäquate Information bereitzustellen**, auch wenn sie dazu nicht verpflichtet sind. Dies gilt auch, wenn die Prüfung des Sicherheitsdatenblatts oder anderer Produktmitteilungen zeigt, dass die Nanoskaligkeit nicht ausreichend berücksichtigt wurde.

Der AGS (2013b) empfiehlt bei Inhaltsstoffen, die üblicherweise nanoskalig vorkommen können, bei staubenden Tätigkeiten und bei Infodefiziten dem Lieferanten zu schreiben; das Musterschreiben in Anlage 1 fordert **folgende Informationen** an:

- Einstufung der nanoskaligen Form;
- Partikelanzahlgrößenverteilung (z. B. Ergebnisse aus der Granulometrie);
- spezifische Oberfläche;
- morphologische Informationen (Form und Struktur, z. B. zur Anwendbarkeit der WHO-Faserkriterien);
- Oberflächenmodifikation der Nanoobjekte;
- Wasserlöslichkeit (über 100 mg/l "löslich", darunter "unlöslich" = biobeständig);
- Angaben zum Staubungsverhalten (z. B. Staubungskenngrößen);
- Angaben zur Brennbarkeit (z. B. Entzündbarkeit und Explosionsgrenzen).

² Siehe für die Europäische Chemikalienagentur ECHA (2011), für die Schweiz SECO (2012), sowie für Deutschland AGS (2013b).

Themenblatt D: Messung von Nanomaterialien und Prüfung von Schutzmaßnahmen

Metrik, Messtechnik und Messstrategie bleiben zentrale Themen in Zusammenhang mit Nanomaterialien. Probleme bereiten z. B. die hohe UFP-Hintergrundbelastung, das Fehlen an Beurteilungswerten oder Empfindlichkeit und Vergleichbarkeit.

Kuhlbusch et al. (2011) diskutieren mit vielen Beispielen aus der Literatur zwei Wege zur Bestimmung der Exposition von Nanomaterialien: Messungen am Arbeitsplatz und Laborsimulation. Sie kommen zum Schluß, dass zur Zeit ein mehrstufiger Ansatz am praktischsten ist, um die Situation bei der Arbeit zu bewerten (siehe unten).¹

Verschiedene Messverfahren ermitteln z. B. Massenkonzentration, Konzentration der Partikelanzahl² oder Größenverteilung der Nanopartikel. Wegen der noch fehlenden Standardisierung dieser Verfahren, muss die benutzte Methodik angeführt werden, um Messergebnisse miteinander vergleichen zu können. Überhaupt ist eine Harmonisierung der Messstrategien dringend gefordert (Brouwer et al., 2012b).

Die chemische Zusammensetzung der gemessenen Teilchen braucht zusätzliche, aufwändige Messungen mit Röntgen-Fluoreszenz-Analyse und Elektronenmikroskopie oder Elektronenstreuung, die für Routine-Messungen vor allem in kleineren Betrieben nicht in Frage kommen. Nur so kann aber zwischen den interessierenden Nanopartikeln und ultrafeinen Staubpartikeln aus der Hintergrundbelastung z. B. durch Schweißbrauche differenziert werden.

Das IFA gibt auf seiner Website messtechnische Empfehlungen zu Nanopartikeln. Es mangelt noch an tragbaren und einfachen Messgeräten. Die ersten Geräte dieser Art erlauben keine Differenzierung zu Nanoteilchen aus der Umwelt, sind aber dennoch eingeschränkt einsetzbar.³

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

¹ Vgl. auch BAuA/VCI (2012) und Asbach (2012).

² In der Messtechnik wird der Begriff "Partikel" nicht nur für singuläre Teilchen, sondern auch für Agglomerate und Aggregate verwendet.

³ Für weitere Informationen zu Messungen im Betrieb siehe AGS (2013b), Plitzko et al. (2013b), ECHA (2012), BAuA/VCI (2012), AUVA (2012), AGS (2011), ITA (2011), Ramachandran et al. (2011), Ostiguy et al. (2009), UIC (2009), OECD (2009a, 2009b) und BSI (2007).

Prüfung der Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen

Bisher vorliegende Studien und Erfahrungen bestätigen, dass die Schutzmaßnahmen, die gegen Stäube getroffen werden, grundsätzlich auch gegenüber ultrafeinen Partikeln und Nanomaterialien wirksam sind⁴. Es ist jedoch sinnvoll, die Effektivität von Maßnahmen gegen luftgetragene Exposition in Kontrollmessungen zu prüfen, um so Schwachstellen und Fehler herauszufinden.

Es werden zwei Arten der Bewertung der Messergebnisse beschrieben.

- Ein **absoluter Vergleich** ist derzeit (noch) nur schwierig möglich, weil verbindliche nanospezifische Grenzwerte oder andere Benchmarks als Maßstab fehlen⁵. Auch der Allgemeine Staubgrenzwert kann dafür nicht benutzt werden.
- 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 Nanotätigkeit; beim Vergleich mit der Hintergrundbelastung sollte keine zusätzliche Belastung auftreten.

Bis zur Festlegung von Grenzwerten sollte die Exposition der ArbeitnehmerInnen die unbelastete Umgebungsluft nicht überschreiten. In einer typisch industriellen Arbeitsumgebung ist die Belastung 20.000 Partikel/cm³ oder mehr. Mit zunehmender Größe und Dichte der Partikel wird eine bestimmte Massenkonzentration mit einer immer kleineren Teilchenzahl erreicht. So führt der Vergleich mit der Hintergrundbelastung bei "schweren" (z. B. Silber, Gold) und "großen" Nanopartikeln (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.

Die gemeinsame Exposition von Nanopartikeln und Ultrafeinen Partikeln (Hintergrundbelastung) mit weitergehenden Schutzmaßnahmen so weit es geht, zu reduzieren, scheint zielführender als mit sehr aufwändigen Verfahren von Probenahme und Analyse die Exposition gegenüber Nanopartikeln allein zu bestimmen.

IUTA et al. (2012) formulierten einen dreistufigen Ansatz, um die Nano-Exposition zu bestimmen und zu beurteilen⁶. Die wesentlich vereinfachte Herangehensweise sollte nicht zu aufwändig und die Vergleichbarkeit der Messungen gesichert sein. Alle Schritte werden in standardisierten Arbeitsanweisungen erläutert:

- Auf der ersten Stufe, der Informationserfassung, wird die potenzielle Exposition charakterisiert, wie zum Teil vorher angedeutet (siehe Leitfaden, 2.1).
- Auf der zweiten Stufe, der Basisbeurteilung, erfolgt eine orientierende Ermittlung der Exposition mit einer begrenzten Anzahl leicht anzuwendender Messgeräte: kurzfristig (Screening) oder langfristig (Monitoring).
- Auf der dritten und höchsten Stufe, der Expertenbeurteilung, wird die beste derzeit verfügbare Messtechnik eingesetzt, um in einer umfangreichen Analyse ein endgültiges Urteil über die arbeitsbezogene Nano-Exposition zu erhalten: wegen des sehr großen Aufwands sollte das nur durchgeführt werden, wenn es nicht zu vermeiden ist.

⁴ Vgl. IFA-Website.

⁵ Siehe aber die Beurteilungswerte im Folgenden.

⁶ Vgl. Plitzko et al. (2013b), BAuA/VCI (2012) und Asbach (2013, 2012).

Beurteilungswerte 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. Messungen der Massenkonzentration (in mg/m^3) gelten als zu unempfindlich zur Abschätzung toxikologischer Wirkungen luftgetragener Nanomaterialien. Als Messgröße ist hier z. B. die Partikelanzahlgrößenverteilung vorzuziehen; Beurteilungswerte, die auf ihr beruhen, genügen in den meisten Fällen. Größe bzw. Dichte der Nanopartikel sind bei der Erarbeitung von Beurteilungswerten zu berücksichtigen.

Roller (2010) empfahl folgende pragmatische Beurteilungswerte für Nanomaterialien:

- Biobeständige Nanomaterialien ohne spezifische toxische Eigenschaften und ohne faserförmige Strukturen: maximaler Schichtmittelwert von $0,1 \text{ mg}/\text{m}^3$;
- Biobeständige Nanomaterialien mit spezifischen toxischen Eigenschaften und ohne faserförmige Strukturen: Grenzwerte für die jeweiligen Grobform als Mindestanforderung; bei schwer löslichen obigen Schichtmittelwert von $0,1 \text{ mg}/\text{m}^3$ einhalten, auch wenn der stoffspezifische Grenzwert höher ist;
- Biobeständige faserförmige Nanomaterialien: aus Vorsorgegründen maximaler Schichtmittelwert von $10.000 \text{ Fasern}/\text{m}^3$.

Die Vorschläge zu Beurteilungswerten des Instituts für Arbeitsschutz der DGUV, IFA, zielen auf die Minimierung der Exposition nach dem Stand der Technik und sind nicht gesundheitsbasiert, sodass auch bei ihrer Einhaltung ein Risiko bestehen kann⁷:

- Biobeständige granuläre Nanomaterialien mit Dichte über $6.000 \text{ kg}/\text{m}^3$: maximale Teilchenzahlkonzentration von $20.000 \text{ Partikel}/\text{cm}^3$ im Messbereich von 1 - 100 nm;
- Biobeständige granuläre Nanomaterialien mit Dichte unter $6.000 \text{ kg}/\text{m}^3$: maximale Teilchenzahlkonzentration von $40.000 \text{ Partikel}/\text{cm}^3$ im Messbereich von 1 - 100 nm;
- Kohlenstoff-Nanoröhrchen mit Dimensionen wie die WHO-Fasern⁸: vorläufige Faserkonzentration von $10.000 \text{ Fasern}/\text{m}^3$ (Schichtmittelwert);
- Ultrafeine flüssige Partikel (z. B. Fette, Kohlenwasserstoffe, Siloxane): Anwendung der Grenzwerte für das makroskopische Material.

Der Allgemeine Staubgrenzwert darf nicht überschritten werden.

In Deutschland wurde 2011 vorgeschlagen, ihn für A-Staub-Fraktion auf $0,3 \text{ mg}/\text{m}^3$ (bei Dichte = $1 \text{ kg}/\text{m}^3$) zu senken; Ultrafeine Partikel wurden im Vorschlag aus dem Anwendungsbereich ausgenommen.

Besondere Schutzmaßnahmen sind für biobeständige Nanomaterialien ohne spezifische toxikologische Eigenschaften nach der deutschen BekGS 527 zu ergreifen, wenn die A-Staubfraktion über $0,5 \text{ mg}/\text{m}^3$ (bei Dichte von $2,5 \text{ g}/\text{cm}^3$) ist bzw. die Partikelanzahl größer als doppelte Hintergrundbelastung (AGS, 2013c).

⁷ Zu Beurteilungsmaßstäben und Beurteilungswerten vgl. außer der IFA-Website auch Berges (2013), Suva, 2013), Kuempel et al. (2012), OECD (2012), Berges et al. (2012), Van Broekhuizen (2012), ITA (2012c; Titandioxid), Ramachandran et al. (2011), Schneider (2010b), SW (2010).

⁸ Lt. WHO entsprechen folgende Faser-Abmessungen in ihrer krebserzeugenden Wirkung dem Asbest: Länge über $5 \text{ }\mu\text{m}$, Durchmesser unter $3 \text{ }\mu\text{m}$, Verhältnis von Länge zu Durchmesser über 3:1

Das Britische Normeninstitut, BSI (2007), erstellte Richtwerte für vier Kategorien von Nanomaterialien: für unlösliche bzw. schwer lösliche, lösliche, faserförmige und CMAR-Stoffe (siehe Leitfaden, 3.3). Kritisiert wird unter anderem die Verwendung der Massenkonzentration (in mg/m³) als Maßstab, das Fehlen jeder Differenzierung nach Material oder Größe des Partikels, oder die Konzentration auf die Toxizität von Nanopartikeln.

Viele weitere pragmatische Beurteilungswerte wurden seitdem ausgearbeitet; die folgende Tabelle fasst einige, teils schon angeführte, zusammen⁹:

Nanomaterial	Grenzwertempfehlung	Quelle
Biobeständige granuläre Nanomaterialien; Dichte > 6.000 kg/m ³	20.000 Partikel/cm ³ im Messbereich von 1 - 100 nm	IFA,
Biobeständige granuläre Nanomaterialien; Dichte < 6.000 kg/m ³	40.000 Partikel/cm ³ im Messbereich von 1 - 100 nm	IFA
Kohlenstoffnanoröhrchen (CNT), bei denen WHO-Fasereigenschaften nicht auszuschließen sind	10.000 Partikel/m ³	IFA
Titandioxid (< 100 nm)	0,3 mg/m ³ (10 h/Tag, 40h/Woche)	NIOSH (2011)
Carbon nanotubes and -fibers	0,001 mg/m ³ (8 h/Tag, 40h/Woche)	NIOSH (2013)
Mehrwandige CNT	0,05 mg/m ³	ECHA; Pauluhn (2010)

Weil es noch keine gesundheitsbasierten Arbeitsplatzgrenzwerte gibt, wurden in Holland **Nanoreferenzwerte** auf Basis des IFA-Konzepts entwickelt, die als vorläufige Ersatzgrenzwerte dienen, solange es keine Arbeitsplatzgrenzwerte oder DNELs gibt¹⁰. Für vier Gefahrenkategorien hergestellter Nanomaterialien ergeben sich folgende NRV-Werte:

Kategorie	Beschreibung	Dichte (kg/m ³)	NRV (8h-Mittelwert)	Beispiele
1	Starre bioperistente Nanofasern mit nicht auszuschließender asbestartiger Wirkung	1	0,01 Fasern/cm ³ (= 10.000 Fasern/m ³)	SWCNT, MWCNT oder bestimmte faserförmige Metalloxide
2	Biopersistente, granulare Nanomaterialien zwischen 1 und 100 nm	> 6.000	20.000 Teilchen/ cm ³	Ag, Au, CeO ₂ , CoO, Fe Fe _x O _y , La, Pb, Sb ₂ O ₅ , SnO ₂
3	Biopersistente, granulare und faserförmige Nanomaterialien zwischen 1 und 100 nm	< 6.000	40.000 Teilchen/ cm ³	Al ₂ O ₃ , SiO ₂ , TiN, TiO ₂ , ZnO, Nanoton, Carbon Black, C ₆₀ , Dendrimere
4	Nicht biopersistente, granulare Nanomaterialien zwischen 1 und 100 nm	-	Gängiger Grenzwert	Fette, Kochsalz

15minütiger Kurzzeitwert ist der doppelte NRV-Wert.

Der Handlungsbedarf ist abgestuft:

- Nanoreferenzwert eingehalten: keine weitere Bestimmung erforderlich;
- Nanoreferenzwert möglicherweise nicht eingehalten: weitere chemisch-physikalische Bestimmung der Nanopartikel ratsam;
- Nanoreferenzwert nicht eingehalten: Risikomanagementmaßnahmen erforderlich.

⁹ Nach BekGS 527 (AGS, 2013b); ergänzt bzw. aktualisiert.

¹⁰ Siehe Van Broekhuizen et al. (2013), Hendriks/Van Broekhuizen (2013), Van Broekhuizen (2012), SER (2012), Van Broekhuizen et al. (2012), RIVM (2010).

Themenblatt E: Nano-Risikoabschätzung

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

(Potenziell) gefährliche Situationen können auftreten, wenn Nanomaterialien z. B. nicht in geschlossenen Systemen gehandhabt werden und Expositionen möglich sind¹. Dies gilt besonders für Tätigkeiten wie Füllen und Entleeren, Probenahme, Instandhaltung oder Reinigung. Zu beachten sind Arbeitsplätze in Forschung und Entwicklung, vor allem in kleineren Betrieben, wenn die Schutzstandards "locker" betrachtet werden. Problematisch kann auch die Weiterverarbeitung in Klein- und Mittelbetrieben sein, wo die Schutzniveaus sehr unterschiedlich sind und halboffene bzw. offene Systeme überwiegen dürften. In einer österreichischen Studie war in keiner Fallstudie ein explizites nanospezifisches Risikomanagement festzustellen; die eingesetzten Schutzmaßnahmen orientierten sich meist an den konventionellen Vorgangsweisen für die Grobform bzw. an vorhandenen nicht nanoskaligen Arbeitsstoffen, die als gefährlich eingestuft waren, (Kittel et al., 2009). Auch in der Schweiz besaßen die Unternehmen noch viel Spielraum zur Verbesserung ihrer Nano-Schutzstrategien und setzten nur in geringem Ausmaß spezielle technische und organisatorische Maßnahmen ein (Riediker et al., 2010).

Außerdem ist **entscheidend, womit und wie gearbeitet wird**:

- Die inhalative Aufnahme besitzt die größte Bedeutung. Der Stellenwert dermalen Aufnahme ist wesentlich geringer; Hautkontakt sollte dennoch möglichst vermieden werden, solange die Auswirkungen dabei noch nicht vollständig untersucht sind.
- Biobeständige, faserförmige Nanomaterialien, die der WHO-Faser gleichen, sind wie krebserzeugende Arbeitsstoffe zu behandeln, wenn nicht der Hersteller das Gegenteil nachweisen kann und über die erforderlichen Risikomanagementmaßnahmen informiert. Sind sie in Erzeugnissen enthalten, ist bei der abtragenden Bearbeitung vorsorgend von ihrer möglichen Freisetzung auszugehen.
- Nanomaterialien wie Fullerene sind einer genauen Prüfung zu unterziehen.
- Eine hohe Wahrscheinlichkeit der Freisetzung von Nanomaterialien besteht bei der Herstellung, vor allem bei Gasphasensynthese und Top-Down-Verfahren mit Mahlprozessen. Handelt es sich um geschlossene Reaktoren (oft Unterdruck) bzw. um gekapselte Anlagen, steht hier nicht so sehr der eigentliche Produktionsprozess im Fokus, als vielmehr Füllvorgänge, Probenahme, Reinigung und Wartung, Störfälle, usw. Das Risiko einer potenziellen Exposition ist jedoch bei Herstellung in flüssiger Phase, z. B. durch Fällungsprozesse, gering.
- Die Handhabung von Pulvern und die Sprühanwendung von Flüssigkeiten mit Nanopartikeln haben generell ein sehr hohes Gefährdungspotenzial. Bei Nanomaterialien sind daher trockene, staubende und Aerosol-Anwendungen 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.

¹ Spezifische Aspekte z. B. beim Recycling von Produkten und Produktkomponenten, die Nanomaterialien enthalten (Struwe/Schindler, 2012), können in diesem Leitfadens nicht behandelt werden.

- Beim Verarbeiten fester Nano-Stoffe (z. B. Pulver, Flocken, Granulate) hängt die potenzielle Exposition vom Staubungsverhalten und von der Tätigkeit ab (Einwiegen, Mischen, Dosieren, Verpacken, mechanische Bearbeitung, usw.).
- Die potenzielle nanospezifische Exposition bei der mechanischen oder thermischen Weiterverarbeitung bzw. Bearbeitung fester Erzeugnisse mit in Matrix gebundenen Nanomaterialien (Schneiden und Schleifen von Polymeren / Lackschichten, spanende Bearbeitung, Laserbearbeitung oder Reparaturarbeiten) ist noch zu untersuchen.
- Beschichtete Nanomaterialien können ein völlig anderes Risikopotenzial besitzen als dieselben unbeschichteten Materialien; bei möglicher Exposition ist dies besonders zu beachten, weil konventionelle Schutzmaßnahmen eventuell nicht ausreichen.
- Bei der Verarbeitung von Gemischen mit in flüssiger Matrix (auch Schlämme und Pasten) gebundenen Nanomaterialien wird bei Lacken und Farben eine inhalative Aufnahme in der Regel ausgeschlossen, wenn Aerosolbildung vermieden wird. Andere Verfahren mit Aerosolbildung sind noch nicht ausreichend untersucht.

Das **OECD Sponsorship Programme** untersucht die Gefährlichkeit hergestellter Nanomaterialien (OECD 2010a): Silber, Gold; Eisen/Eisenoxide, Titandioxid, Aluminiumoxid, Cerdioxid, Zinkoxid, Siliciumdioxid; SWCNT, MWCNT (einwandige bzw. mehrwandige Kohlenstoffnanoröhren); Fullerene (C60); Dendrimere; Nanotone.

Keine einfachen Antworten

Nach SCENIHR (2009) sind Verfahren für die Risikoabschätzung von Nanomaterialien immer noch in Entwicklung und es gibt noch nicht genug Studien für einen detaillierten Rahmen. SCENIHR (2010) erwartet, dass mit wachsendem wissenschaftlichen Wissen Nanomaterialien aufgrund von Stoffparametern in spezifischen Risikokategorien gruppiert werden können. Derzeit ließen sich aber in der Regel keine Analogieschlüsse zwischen den Nanomaterialien ziehen und eine Kategorisierung sei evidenzbasiert nicht möglich. Ein case-by-case-Ansatz wird daher ausdrücklich empfohlen.

Auch für NIOSH (2009b) ist es unklar, ob qualitative Methoden der Gefährdungsbeurteilung fundiert anzuwenden sind. Doch ein Vorgehen nach Einzelfällen übersteigt die vorhandenen Ressourcen in den Unternehmen. Die großen Datenlücken bzw. Unsicherheiten bei der Toxizität von Nanopartikeln und 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 aber einige Eigenschaften auf, die sich dafür eignen zu ermitteln, welche experimentellen Studien in Betracht zu ziehen sind:

- Fasern, Stäbchen und Röhrchen sind auf asbest-ähnliche Eigenschaften zu prüfen, wenn sie schwer abbaubar, steif und wie eine WHO-Faser dimensioniert sind.
- Nanopartikel und Nanofasern mit reaktiven Oberflächen könnten feinstaub-ähnliche Wirkungen hervorrufen.
- Nanomaterialien vergleichbarer Dimensionen und Oberflächeneigenschaften könnten trotz kleiner Datenbasis speziell auf relevante Eigenschaften geprüft werden.
- (Öko)toxische Eigenschaften der Grobform sind bei großer potenzieller Exposition zu beachten, außer bei klaren Beweisen gegen die Freisetzung in biologische Systeme.

Wie "gefährlich" ein Nanomaterial ist, lässt oft nicht einfach beantworten. Man kann aus den Materialeigenschaften jedoch eine erste Differenzierung des Gefährdungspotenzials ableiten und daraus eine grobe Abstufung des erforderlichen Schutzniveaus. Solange das Wissen über Nanomaterialien gering ist, empfiehlt sich daher trotz aller Bedenken **ein pragmatisches Vorgehen mit qualitativen Methoden der Risikoabschätzung**, die auf Gruppierungen bzw. auf den oben gelisteten Hinweisen beruhen. Wegen der Einschränkungen aufgrund der fehlenden wissenschaftliche Basis sollte ein Sicherheits-spielraum berücksichtigt werden, der von einem höheren potenziellen Risiko ausgeht. Qualitative Methoden heben die Gültigkeit des Prinzips "No data – no market" nicht auf. Die Bewältigung von Wissenslücken darf nicht Anwenderbetrieben aufgeladen werden, von denen viele überfordert wären. Auch wenn ein Stoff derzeit nicht als gefährlich eingestuft ist, sind die Hersteller von Nanomaterialien verpflichtet, stoffseitige Gefahren zu charakterisieren, bedeutsame Datenlücken aufzuzeigen und Empfehlungen für eine sichere Verwendung zu geben, die dem Vorsorgeprinzip folgen (Risikomanagementmaßnahmen). In der Praxis heißt dies, bei einer unzureichenden Datenlage z. B. in den Sicherheitsdatenblättern zuerst bei den Herstellern nachzufragen und sich bestätigen zu lassen, dass ein Nanomaterial nicht gefährlich ist bzw. unter bestimmten Bedingungen sicher bearbeitet werden kann. Kann der Hersteller keine näheren Angaben über das Gefährdungspotenzial machen, ist ein maximales Schutzniveau anzustreben!

Es gibt viele Hinweise, Empfehlungen und Leitfäden zur Risikoabschätzung für Nanomaterialien², z. B. in Bezug auf relevante physikalisch-chemische und toxikologische Eigenschaften³. Ihre Präzisierung, Verbindlichkeit und Zielsetzung ist unterschiedlich, der Großteil ist sehr allgemein gehalten und nicht unmittelbar praktisch.

Erste Abschätzung des Handlungsbedarfs

Die **Deutsche NanoKommission** schlug für Nanomaterialien eine vorläufige Einteilung in drei Risikoklassen mit unterschiedlichem Handlungsbedarf vor (BMU, 2008):

- Gruppe 1: Gefährdung wahrscheinlich - Besorgnis hoch
Kriterien: Exposition gegeben, hohe Mobilität, Reaktivität, Persistenz oder Toxizität
Handlungsbedarf: Maßnahmenkonzept zur Minimierung der Exposition oder Verzicht auf bestimmte Anwendungen erforderlich
- Gruppe 2: Gefährdung möglich - Besorgnis mittel
Kriterien: Exposition nicht auszuschließen, unbekanntes (De-)Agglomerationsverhalten, 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 so gut wie ausgeschlossen, Nanomaterialien löslich / biologisch abbaubar, Materialien gebunden in Matrix, Bildung stabiler Aggregate / Agglomerate
Handlungsbedarf: Keine über die "gute Arbeitsschutzpraxis" (oder Hygienepaxis) hinausgehenden Maßnahmen erforderlich

² Siehe bspw. HSE (2013 / Flussdiagramm), OECD (2012), Kuempel et al. (2012), AUYA (2010), Schulte et al. (2008a). Werkzeuge der Nano-Gefährdungsbeurteilung behandelt EU OSHA (2013a).

³ Vgl. auch Themenblatt A; siehe auch den Schweizer Vorsorgeraster in Themenblatt S.

Diese Einteilung fokussiert auf Stoffeigenschaften. **Schneider** (2010a) berücksichtigt die (potenzielle) Expositionssituation und geht von je drei Gruppen für den Stoff und die Arbeitsbedingungen aus; auch die unbeabsichtigte Verwendung wird einbezogen.

- Partikelgruppe 1: Mobilität und Reaktivität hoch, Toxizität hoch, Staubungsverhalten hoch, Persistenz hoch; mittlere Partikelgröße kleiner als 50 nm
oder: Gesundheitsschäden wahrscheinlich bzw. sicher belegt
- Partikelgruppe 2: Eigenschaften großteils unbekannt, klare Einordnung nicht möglich
oder: Hinweise auf Gesundheitsschäden vorhanden, aber nicht sicher bzw. nur mit Tierversuchen bzw. Zellkulturen belegt
- Partikelgruppe 3: Löslich, biologisch abbaubar, Aggregate stabil, Staubungsverhalten gering, mittlere Partikelgröße größer als 50 nm
oder: keine Hinweise auf Gesundheitsschäden bzw. Hinweise nur bei sehr hohen Konzentrationen, z. B. mehr als 10^7 Partikel/cm³
- Arbeitsbedingungen Gruppe 1: Unbeabsichtigte Verwendung oder Freisetzung von Nanopartikeln bei nicht auf Nanopartikel 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, nanospezifische Qualifikation der Mitarbeiter hoch

Daraus ergeben sich, einem Vorsorgeprinzip folgend, drei Klassen an 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

Control Banding

Diese Ansätze können unter definierten Bedingungen nützliche Orientierungshilfe und Hilfsmittel bei der Gefährdungsbeurteilung und der Auswahl von Schutzmaßnahmen sein, eine umfassende quantitative Gefährdungsbeurteilung oder klassische Expertenmethoden jedoch nicht ganz ersetzen (NIOSH, 2009c). Sie sollten mit herkömmlichen Grenzwert- und Expositionsbegrenzungsmethoden ergänzt werden um z. B. zu prüfen, ob die Schutzmaßnahmen wirken und richtig umgesetzt wurden. CB⁴-Strategien können nicht für alle Arbeitssituationen die nötige Genauigkeit und Sicherheit bieten. Auch das deutsche Einfache Maßnahmenkonzept Gefahrstoffe für KMU nimmt manche Tätigkeiten und Stoffe von der Anwendbarkeit ausdrücklich aus, z. B. Arbeiten in der Gasphase.

⁴ Control Banding, auch: Risk Management Toolbox; im Weiteren mit "CB" bezeichnet.

Control-Banding schätzt das Risiko stoffseitiger Gefahren bzw. Expositionen vereinfacht ein und erhält Bänder von Maßnahmenstrategien, die je nach Gefährdungspotenzial ausreichenden Schutz der Beschäftigten gewährleisten sollen. Es wird bei großen Datenlücken (z. B. in der Pharmaindustrie) eingesetzt, oder wenn nicht genügend Ressourcen und Fachexpertise zur Verfügung stehen (z. B. in kleineren Unternehmen)⁵.

Eine Literaturanalyse schlägt vor, qualitative Ansätze in Forschungs- und frühen Entwicklungsstadien anzuwenden, in der späteren Entwicklung und in der Produktion dagegen eine umfassendere Risikoabschätzung⁶ vorzunehmen (SW, 2009).

Hallock et al. (2009) empfehlen Control Banding nach physikalischen Kategorien, z. B. steigt die Strenge von Schutzmaßnahmen mit folgenden Formen der Nanomaterialien:

- 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).

Ein CB-Konzept für Nanomaterialien in der Luft von Maynard (2007) nimmt als Faktoren der Schadensschwere die Gefährlichkeit des Grobmaterials, Oberfläche, Oberflächenaktivität, Form und Größe des Nanomaterials, sowie als Faktoren der Eintrittswahrscheinlichkeit dessen Staubigkeit und verwendete Menge.

Ein ausgefeilterer nanospezifischer CB-Ansatz zur qualitativen Gefährdungsbeurteilung ist das **CB Nanotool** (Zalk/Paik, 2010; Paik et al., 2008). Es ist ein Werkzeug, mit dem die Risikoklasse aus den Punktzahlen von Schadensschwere (Gefahrenband) und Eintrittswahrscheinlichkeit (Expositionsband) berechnet wird. Für jede von vier Risikoklassen wird eine, durch folgende Matrix definierte Schutzstrategie vorgeschlagen.

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

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

		EINTRITTSWAHRSCHEINLICHKEIT			
SCHADENSSCHWERE		Sehr unwahrscheinlich (0 - 25)	Wenig wahrscheinlich (26 - 50)	Wahrscheinlich (51 - 75)	Sehr wahrscheinlich (76 - 100)
	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)

⁵ Siehe z. B. für Ersteres Naumann (2009), sonst COSHH Essentials in www.coshh-essentials.org.uk/ (UK); EMKG 2.2 (BAuA, 2012 / DE); Stoffenmanager 5.1 (www.stoffenmanager.nl/ / NL; deutschsprachige Fassung siehe GESTIS-Stoffenmanager in www.dguv.de/dguv/ifa/Gefahrstoffdatenbanken .

⁶ Siehe z. B. die Expert Matrix bzw. das OHS Reference Manual, in: <http://goodnanoguide.org/tiki-index.php?page=Nanomaterial+Occupational+Risk+Management+Matrix>

CB Nanotool schätzt das Emissionspotenzial von hergestellten Nanomaterialien ab. 75% des Maximalwertes eines Risikofaktors werden bei unbekanntem Risiko zugeteilt: Damit ist Einkapselung (Risikoklasse 3) die Standardmaßnahme, wenn alles 'unbekannt' ist. Wird auch nur ein Risikofaktor als 'hoch' bewertet und sind alle anderen 'unbekannt', ergibt sich zwingend maximale Kontrolle und Expertenberatung (Paik et al., 2008).

Die Autoren weisen auf Einschränkungen hin (Paik et al., 2008, Zalk et al., 2009), z. B. reflektieren die einzelnen Risikofaktoren und die ihnen zugeordneten Punktezahlen den derzeitigen Wissensstand über Nano-Expositionen und können sich daher verändern.

Obwohl das CB-Nanotool sogar als Beste Praxis (Ostiguy et al., 2009) bewertet wurde, sollte es nicht direkt angewendet werden, ohne zu prüfen und zu überlegen, was dem jeweiligen Arbeitsplatz entspricht. Dies braucht ebenso Fachexpertise wie eine eventuell notwendige Anpassung der Wertbereiche auf die Situation im Betrieb, das Bestimmen des akzeptablen Risikoniveau, sowie die Veränderung der relativen Wichtigkeit von Faktoren, wenn mehr Kenntnisse über negative Wirkungen zur Verfügung stehen.

Das CB-Nanotool ist somit kein statisches, sondern ein dynamisch weiterentwickelbares Instrument. So kann z. B. Staubigkeit als Faktor der messbaren gesamten Oberfläche des Nanopartikels und/oder der Partikelzahl definiert werden. Es benötigt Expertenwissen und Erfahrung und ist nicht ohne Weiteres in der Praxis anwendbar.

Die Pilotversion (Paik et al., 2008) wurde überarbeitet und als zweite Version ins Web gestellt (CB Nanotool 2.0).⁷ Wichtige Veränderungen sind die Einführung eines zusätzlichen Risikofaktors bei der Schadensschwere, eine strengere Gewichtung von Grenzwerten für die Grobform und die Berücksichtigung des asthmaauslösenden Potenzials.

Die Berechnung der Indizes für Schadensschwere und Eintrittswahrscheinlichkeit ist auf der folgenden Seite abgebildet. Die ausgewählten Faktoren basieren auf Auswertung der Literatur. Die Gewichtung der verschiedenen Risikofaktoren wird 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.

⁷ Siehe www.controlbanding.net/Services.html. Dort finden sich Leitfäden, Formblätter und Beispiele; Praktische Beispiele sind auch in Paik et al. (2008) und vor allem in Zalk et al. (2009) enthalten, wo die schwierige Gewichtung der verschiedenen Risikofaktoren zusammenfassend diskutiert wird.

CB-Nanotool
(Version 2.0)

Zalk et al., 2009

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

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	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 Grobmaterial	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
	2,5 TWA/MAK 1 - 0,101 mg/m ³			
Karzinogenität Grobmaterial	0 nein		3	4 ja
Reproduktionstoxizität Grobmaterial	0 nein		3	4 ja
Mutagenität Grobmaterial	0 nein		3	4 ja
Dermale Toxizität Grobmaterial	0 nein		3	4 ja
Asthmaverursachung Grobmaterial	0 nein		3	4 ja

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

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

Der holländische **Stoffenmanager**, ein web-gestütztes Hilfsmittel zur Gefährdungsbeurteilung, enthält auch ein CB-Nano-Modul <http://nano.stoffenmanager.nl/>, das explizit als "work-in-progress" bezeichnet wird. Mit dem Fokus auf inhalative Risiken, schätzt es das Nano-Emissionspotenzial ab und berechnet das Immissionspotenzial der hergestellten Nanomaterialien (TNO, 2011; Van Duuren-Stuurman, 2012):

- 5 Gefahrenklassen (niedrig, mittel, hoch, sehr hoch, äußerst hoch, unbekannt): schrittweise ermittelt aus Wasserlöslichkeit, Existenz biobeständiger Nanofasern, nanospezifischen Gefahren und toxikologischen Datenlücken; Priorität für Standardwert für unbekannte Gefahren, wenn sie in relativ hohe Expositionsklassen fallen;
- 4 Expositionsklassen (niedrig, mittel, hoch, sehr hoch): ermittelt aus den gewichteten Faktoren Emissionspotenzial Stoff, Emissionspotenzial Tätigkeiten (Umgang), Maßnahmen vor Ort, Einkapselung (Gefahrenquelle), Verdünnung / Dispersion, individuelles Verhalten, Abtrennung (Beschäftigte), Verunreinigung, sowie Gebrauch Persönlicher Schutzausrüstung.
- 3 Risikoniveaus (niedrig, mittel, hoch): Prioritätenbänder ermittelt aus 5x4-Matrix von Gefahren- und Expositionsklassen bzw. -"bändern";

Bestehende Schutzmaßnahmen werden berücksichtigt, und eine Liste von Maßnahmen zur Verminderung der Nano-Exposition wird empfohlen, mit denen eine neuerliche Prioritätenberechnung vorgenommen werden kann. Viele Basisinformationen sollen allerdings dem Sicherheitsdatenblatt entnommen werden.

Der Nano Stoffenmanager gilt für Einzelteilchen, Agglomerate oder Aggregate wasserunlöslicher und beabsichtigt hergestellter Nanomaterialien mit einer Primärteilchengröße unter 100 nm bzw. einer spezifischen Nanostaub-Oberfläche über 60 m²/g

Den Nano Stoffenmanager gibt es auch auf Englisch. Beispiele Guter Praxis beziehen sich z. B. auf einen Kleinbetrieb (TNO, 2012a) und ein Forschungslabor (TNO, 2012b). Einige Factsheets sind vorhanden (Geschlossenes System, Handschuhkasten).

Der **Guidance** der holländischen Sozialpartner¹ versteht sich als einfacher Leitfaden für eine qualitative Gefährdungsbeurteilung, wenn es nur minimale Informationen über Eigenschaften und Gefahren der Nanomaterialien gibt. Maßnahmen werden aufgrund des geschätzten Emissionspotenzials empfohlen. Sieben Schritte werden durchlaufen:

1. Verzeichnis der erzeugten und/oder verwendeten Nanomaterialien
2. Einstufung der Nanomaterialien: 3 Gefahrenbänder
3. Verzeichnis der Nanotätigkeiten
4. Einstufung der möglichen Nano-Exposition
5. Auswahl des Maßnahmenansatzes pro Aktivität: 3 Expositionsbänder
6. Bestimmung des notwendigen Maßnahmenniveaus mit 3x3-Entscheidungsmatrix aus Gefahren- und Expositionsbändern: 3 Maßnahmenbänder
7. Expositionsregister der Beschäftigten
8. Prüfung auf mögliche präventive arbeitsmedizinische Überwachung

Die drei Risikomanagementklassen folgen Maßnahmenhierarchie und STOP-Prinzip:

- A. Risikoniveau hoch: höchste Schutzmaßnahmen, vorsorgender Ansatz gilt - hygienische Maßnahmen und Schutzmaßnahmen strikt umsetzen
- B. Risikoniveau unsicher: passende zusätzliche Maßnahmen ermitteln - Umsetzung von Schutzmaßnahmen, wenn wirtschaftlich machbar
- C. Risikoniveau niedrig: gesetzlich vorgeschrieben, normale Schutzmaßnahmen - ausreichende Raumbelüftung; ggfs lokale Absaugung und/oder Kapselung

¹ Siehe Cornelissen et al. (2011).

Weitere CB-Ansätze für Nano-Exposition bei der Arbeit wurden entwickelt, z. B.:

- Der Schweizer **Vorsorgeraster** verwendet keine Matrix, sondern kombiniert das Gefahren- und Expositionspotenzial zu einer einzigen Zahl (Siehe Themenblatt S).
- **ANSES** entwickelte in Frankreich ein CB-Werkzeug für Nano-Arbeitsplätze². Fünf Gefahrenbänder und vier Emissionsbänder erzeugen in einer Matrix fünf Maßnahmenbänder. Das höchste Gefahrenband (z. B. persistente Fasern oder große Datenlücken) fordert unabhängig vom Expositionsband das höchste Maßnahmenband.
- Dagegen erhält im Dänischen **Nanosafer** das höchste Expositionsband das höchste Risikoniveau, unabhängig vom Gefahrenband. Eine Matrix aus vier Gefahrenbändern und fünf Expositionsbandern ergibt fünf Risikoniveaus (Hansen et al., 2011).
- Ein Beispiel für die Gefährdungsbeurteilung auf CB-Basis gibt **INAIL** (2011, Kap. 6).
- Das Australische CB-Hilfsmittel aus **Queensland** ist an das oben beschriebene CB Nanotool von Zaik und Palk angelehnt (WHSQ, 2010a; SW 2010b).
- Im CB-Konzept des internationalen Normeninstituts **ISO** erfolgt die Zuordnung zum Gefahrenband in einem zweistufigen Vorgehen, jene zum Expositionsband über vier Hauptfaktoren. Es ergeben sich vier Maßnahmenbänder (ISO, 2012a; 2012b).

Brouwer (2011; 2012) beobachtet teils große Unterschiede zwischen den verschiedenen Modellen von Control Banding für Nanomaterialien. In den nächsten Jahren erwartet er Veränderungen, Anpassungen und Validitätsprüfungen und betont die Notwendigkeit, Lücken z. B. durch Expertenumfragen zu schließen und Expositionsdaten zu sammeln.

CB Nanotool, Guidance und Nano-Stoffenmanager wurden in Fallstudien verglichen (Van Broekhuizen/Krop/Reijnders, 2012). Durch verschiedene Konzepte gibt es Unterschiede in den Risikoniveaus derselben Tätigkeiten, die aber nicht zwingend verschiedene Schutzmaßnahmen ergeben. In allen Fällen führt die Anwendung des Vorsorgeprinzips zu einem hohen Maßnahmenniveau. Diese Hilfsmittel können eine wichtige Rolle in der Bewusstseinsbildung spielen und dringliche Datenlücken klar aufzeigen.

Qualitatives Vorgehen nach Wirkkategorien

Die Kategorisierung der Nanomaterialien nach bestimmten Eigenschaften in Risikogruppen zieht jeweils spezifische Maßnahmenempfehlungen nach sich. Auf die damit verbundenen Unsicherheiten muss hingewiesen werden.

Der **holländische Sozial- und Wirtschaftsausschuss** formuliert 4 Kategorien von Nanomaterialien als Richtschnur für expositions-mindernde Maßnahmen³ (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.

² Siehe Riediker et al. (2011) und ANSES (2010).

³ Auf Basis von BSI (2007); Eine klare Unterscheidung der beiden mittleren Gruppen ist nicht immer möglich: Manche Nanopartikel können unter bestimmten Bedingungen krebserzeugende Eigenschaften aufweisen, obwohl dasselbe Material in der Grobform (verhältnismäßig) harmlos ist.

Aktivitäten in trockenen Nanomaterialien sind kritischer und brauchen viel weitreichendere Schutzmaßnahmen als in feste oder flüssige Matrix eingebettete. Allgemein ist die Aufnahme von Nanomaterialien durch Inhalation und/oder Hautkontakt während der Arbeitsprozesse zu vermeiden. Daher sind sie möglichst zu handhaben:

- 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.

Die **Deutsche BekGS 527** teilt die Nanomaterialien nach Biobeständigkeit, toxikologischen Eigenschaften, Form und Struktur in vier Gruppen ein (AGS, 2013b)⁴:

1. Lösliche Nanomaterialien: Gefährdungsbeurteilung nach TRGS 400.
Beispiele: bestimmte Salz-Nanopartikel (z. B. Natriumchlorid), amorphes Siliciumdioxid.
2. Biobeständige Nanomaterialien mit speziellen toxikologischen Eigenschaften: Fokus auf diese Eigenschaft wegen ihrer chemischen Zusammensetzung, wenn sie
 1. gesundheitsschädigende Eigenschaften aufweisen, oder
 2. gesundheitsschädigende Eigenschaften in der Mikro-Form aufweisen und es für die Nanoform keine entlastenden Daten gibt.STOP-Schutzmaßnahmen, weil die Bioverfügbarkeit durch die relativ größere Oberfläche höher als bei der Grobform sein kann; stoffspezifische Grenzwerte etc., generell für A- bzw. E-Fraktion 0,1 mg/m³.
Beispiele: Gold, Silber, Zinkoxid.
3. Biobeständige Nanomaterialien ohne spezifische toxikologische Eigenschaften: Granuläre Stäube; Toxizität nur aufgrund der Partikelwirkung. Inhalative Risiken im Vordergrund; Toxikologische Wirksamkeit bezogen auf die Massenkonzentration entspricht mindestens jener der alveolengängigen Staubfraktion (A); Beurteilungsmaßstab der Exposition = halber AGW für die A-Staubfraktion, aber nicht größer als 0,5 mg/m³ (bei einer Dichte von 2,5 g/cm³).
Beispiele: Industrieruß, Titandioxid, Aluminiumoxid und -silikat (früher: "inerte Stoffe").
4. Biobeständige, faserförmige Nanomaterialien: Nanofasern oder -röhrchen können asbestähnliche Wirkung haben; Schutzmaßnahmen wie bei möglichen krebs-erzeugenden Stoffen, wenn nicht bewiesen wurde, dass es keine WHO-Faser ist; Anwendung des Vorsorgeprinzips.
Beispiele: bestimmte Carbon Nanotubes.

Nicht eindeutig zuordnen lassen sich z. B. Graphen-Plättchen oder die mögliche zusätzliche Beeinflussung der gesundheitlichen Wirkung durch Beschichtungen und Ladung der Oberfläche der Nanoobjekte. Hier ist nach Einzelfall zu bewerten.

⁴ Einteilung und Bewertung von Nanomaterialien analog einem Projekt der Hans-Böckler-Stiftung in Deutschland (Roller, 2010).

Themenblatt F: Schutzmaßnahmen für die Arbeit mit Nanomaterialien

Die Auswahl von Maßnahmen beruht auf der Gefährdungsbeurteilung und strebt mittels hierarchischer Struktur (STOP) ein möglichst hohes Schutzniveau an. Große Lücken bei Stoffwirkungen, das Fehlen von Expositionsdaten, akzeptierten Methoden zum Messen bzw. Monitoring wichtiger Parameter an Arbeitsplätzen, sowie von spezifischen Grenzwerten betonen den Stellenwert von Prävention und Vorsorgeprinzip bei Nanoarbeiten.

In Themenblatt E werden Prozesse und Tätigkeiten mit Nanomaterialien skizziert, die bei der Arbeit mit ihnen zu (möglicherweise) gefährlichen Situationen führen können. Bevorzugt sind Nanomaterialien in einer Matrix, suspendiert in einer Flüssigkeit, oder in einem geschlossenen System gehandhabt werden, da ihre Aufnahme am Arbeitsplatz durch Hautkontakt, vor allem aber durch Inhalation zu vermeiden ist.

Derzeit ist die Exposition möglichst weit zu vermindern. Welche Konzentration an Nanomaterialien sich im Rahmen der Minimierung unter dem Aspekt der Verhältnismäßigkeit am einzelnen Arbeitsplatz noch vertreten lässt, ist wegen ihrer Mannigfaltigkeit und des Fehlens endgültiger Beurteilungsgrundlagen derzeit nicht endgültig zu beantworten. Sie hängt stark von der Art der Nanomaterialien ab, und wie mit ihnen umgegangen wird.

Einige Arten von Nanomaterialien stehen besonders im Blickpunkt der Aufmerksamkeit:

- **Biobeständige faserförmige Nanomaterialien:** Kohlenstoff-Nanoröhrchen (CNT) mit Dimensionen wie WHO-Fasern können asbestähnlich sein. Jedoch dürften nicht alle CNT asbestähnliche Wirkungen zeigen und deshalb kein so hohes Schutzniveau benötigen. Für alle biobeständigen faserförmigen Nanomaterialien sollte dies aber nur angenommen werden, wenn der Hersteller es für sein Produkt in Studien nachweisen kann bzw. die nötigen Schutzmaßnahmen im Sicherheitsdatenblatt stehen.
- Besondere Schutzmaßnahmen erfordern Nanomaterialien mit **krebserzeugenden Stoffen**, wie Arsen oder Arsenverbindungen bzw. Cadmium oder Cadmiumverbindungen (z. B. in Quantenpunkten, Quantum Dots), Chrom(VI)-Verbindungen, Nickel oder Nickelverbindungen (z. B. in Nickelsulfid oder Nickeloxid) oder kristallines Siliziumdioxid (Quarz). Zu beachten sind weiters Nanomaterialien, die **mutagene, reproduktionstoxische bzw. atemwegssensibilisierende Stoffe** beinhalten.

Im Folgenden werden die empfehlenswerten Vorgangsweisen bei der Arbeit mit Nanomaterialien entlang der Hierarchie der Schutzmaßnahmen beschrieben.¹ Die Schutzmaßnahmen werden meist in Kombination eingesetzt, z. B. technische mit organisatorischen Maßnahmen und/oder Persönlicher Schutzausrüstung bei Probenahmen. Außer den nanospezifischen Maßnahmen sind auch alle einzuhalten, die eine Gefährdungsbeurteilung für sonstige chemische Arbeitsstoffe, z. B. Lösungsmittel, fordert.

¹ In einer zweiten Fragebogenaktion ermittelte die BAuA die, bei Nano-Tätigkeiten derzeit verwendeten Schutzmaßnahmen (Plitzko et al. (2013a). Zu Nanoschutzmaßnahmen vgl. auch AGS (2013), HSE (2013), BAuA/VCI (2012), Yokel/MacPhail (2011), Riediker et al. (2010), HA (2009b), NIOSH (2009b), Kittel et al. (2009), Ostiguy et al. (2009), SW (2009), SER (2009), Suva (2009), BSI (2007), sowie die Websites von GoodNanoGuide und der deutschsprachigen Informationsquellen vor der Literatur. Auf **Tätigkeiten mit Nanomaterialien im Labor oder mit Kleinstmengen** (Gramm, Milliliter) wird im Themenblatt R näher eingegangen

VERMEIDUNG UND ERSATZ (SUBSTITUTION)

Die Verminderung des freien und/oder dispersiven Charakters nanoskaliger Materialien steht an erster Stelle. Prinzipiell ist immer zu erwägen, ob die mit Nano-Eigenschaften verbundenen Vorteile die möglicherweise höheren Risiken rechtfertigen.

Die **Vermeidung von Nanomaterialien** wie der Ersatz durch mikroskalige Substanzen ist jedoch kaum eine realistische Alternative, da gerade ihre spezifischen Eigenschaften zur Erzeugung neuartiger Produkte benötigt werden. Eventuell ist es aber möglich, ein wenig größere Partikel zu verwenden (z. B. 300 bis 400 nm statt unter 100 nm).

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 zu realisieren ist.

Eine praktikable und sinnvolle Option ist aber, das Prozessdesign sicherer zu machen, d.h. der **Ersatz von Arbeitsprozessen**: Gefährliche Verfahren können durch weniger gefährliche ersetzt werden, indem weniger emittierende Stoffvarianten oder technische Prozesse verwendet werden. Hier ist z. B. zu prüfen, ob nicht Sprühanwendungen durch aerosolarme Verfahren (Streichen, Tauchen) ersetzt werden können. Bestimmte, mit einem sehr hohen Risiko verbundene Verfahrensschritte wie das Umschütten von Nano-Pulvern können ganz unterlassen oder automatisiert werden.

Natürlich müssen auch ungeeignete oder veraltete Ausrüstung ersetzt werden, um potenzielle Leckstellen oder Entzündungsquellen zu vermindern.

Inhalative Risiken sind bei Nanoarbeiten besonders zu beachten. Arbeitsprozesse sollten 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 Gemische die Nanomaterialien in flüssigen oder festen Medien gebunden enthalten. Dies erschwert ihre Freisetzung und setzt ihr Expositionspotenzial wesentlich herab. Das ist insbesondere unerlässlich, wenn ein Arbeiten im geschlossenen System nicht möglich ist.

Statt den Nano-Arbeitsstoff in trockener staubender Pulverform zu bearbeiten, sollte er in Form von Granulaten, Pellets, Pasten, Compounds (in Verbundwerkstoffen eingebettet) oder in einer Flüssigkeit (als Suspension) eingesetzt werden.

Bei Nano-Suspensionen ist zu beachten, dass es bei Füllvorgängen oder anderen Tätigkeiten außerhalb geschlossener Systeme nicht zur Aerosolbildung kommt.

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 bzw. Apparaturen sind zu kapseln**.

Sind dennoch Arbeitsschritte mit potenzieller Nano-Exposition notwendig, die nicht in geschlossenen Systemen durchgeführt werden können, müssen zusätzliche technische und organisatorische Maßnahmen zur Verminderung von Stäuben oder Dämpfen eingesetzt werden. Auftreten kann eine solche Emission z. B. beim Portionieren, Befüllen und Entleeren, Mahlen, Konfektionieren oder Entnehmen von Proben. Eine **Absaugung direkt an der Quelle** ist dann vorzunehmen, d.h. gefährliche Gase, Dämpfe, Aerosole und Stäube sind je nach 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.

Um eine inhalative Exposition der ArbeitnehmerInnen zu vermeiden bzw. zu minimieren, muss die Absaug-, Lüftungs- und Filtertechnik geeignet konstruiert und umgesetzt sein, regelmäßig gewartet und auf die Funktion geprüft werden. Prinzipiell steht eine breite Palette an Techniken zur Verfügung. 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. in den Arbeitsraum zurückgeführt werden (z. B. HEPA-Filter H14).

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

Entleeren des Reaktors: Dies ist samt Folgeschritten bei trockenen Nanomaterialien ein sehr kritischer Schritt und eine Kaspelung sollte so weit wie möglich beibehalten werden (z. B. mittels Handschuhkasten oder durch Entleeren mit Industriestaubsauger und Auffangen in wassergefülltem Behälter). Falls dies nicht möglich ist, kann in einer Kabine mit laminarer Luftströmung oder mit Abzugshaube gearbeitet werden. Das Füllen der Behälter kann in einem eigenen abgetrennten, mit HEPA-Filtern versehenen 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).

Weitere Maßnahmen können wegen spezieller Stoffeigenschaften notwendig sein.

- Der **Umgang mit oxidierbaren Nanomaterialien** erfordert zusätzliche Schutzmaßnahmen, da die Brand- und Explosionsgefährdung beträchtlich ist, auch wenn dasselbe Material bei makro- oder mikrogroßer Korngröße relativ inert ist². Es wird empfohlen Ex-Zonen zu errichten und, wenn möglich, in inerter Atmosphäre durch Einleiten eines Inertgases während der Produktion zu arbeiten. Andernfalls muss das Sauerstoffniveau überwacht und mit einem Alarmsystem verbunden sein.
- Spezifische Schutzmaßnahmen sind auch beim **Umgang mit reaktiven oder katalytisch wirksamen Nanomaterialien** notwendig, der Kontakt mit unverträglichen Substanzen ist auszuschließen.

² Siehe zu Schutzmaßnahmen beispielsweise AGS (2013b) und EU OSHA (2013a), zu entzündlichen und explosiven Eigenschaften von Nanomaterialien BAFU (2010a).

ORGANISATORISCHE MASSNAHMEN

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

Eine Minimierung der (potenziellen) Expositionszeit ist 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 ebenfalls zu **minimieren**, vor allem wenn technische Maßnahmen durch Persönliche Schutzausrüstung ersetzt wurden. 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 Nanopartikel können aufgrund ihrer geringen Größen länger als schwerere Teilchen in der Luft bleiben. Wenn der Arbeitsbereich, in dem sie entstehen, nicht abgetrennt ist, können sie auch in entfernte Bereiche des Raumes driften und Beschäftigte belasten, die keine Nanotätigkeiten ausüben. Die Arbeiten sind auf spezifische Nano-Bereiche zu begrenzen. **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.

Weitere organisatorische Maßnahmen betreffen arbeitshygienische Regeln oder die Schulung der Beschäftigten, und Arbeiten und Vorfälle "außer der Norm". Absaug- und Lüftungssysteme, aber auch geschlossene Systeme sind regelmäßig zu reinigen, zu prüfen, zu warten und instandzusetzen. Die messtechnische Überwachung der Raumluft ist zu organisieren. Nanomaterialien sind in geeigneter Weise zu lagern, Reinigungsarbeiten sachgerecht durchzuführen, und Nano-Abfälle sicher zu sammeln. Der Betrieb muss auf die unbeabsichtigte Freisetzung von Nanomaterialien vorbereitet sein.

Für alle nanospezifischen Tätigkeiten sind die **Zuständigkeiten klar festzulegen!**

Zu beachten sind in diesem Zusammenhang neben der Prüfung der Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen insbesondere folgende Punkte³:

Information, Unterweisung und Schulung bei Nanotätigkeiten für: Beschäftigte, die Nanoarbeiten ausführen; Instandhaltungspersonal; Lagerpersonal; Reinigungspersonal.

Ggfs. **Erstellung von Betriebsanweisungen** zu Nanoarbeiten, z. B. für: spezielle Tätigkeiten (Portionierung, Füllvorgänge, Probenahme, usw.); 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.

³ Für eine detaillierte Darstellung siehe die Themenblätter "Information/Unterweisung/Einschulung Beschäftigte" (N), "Hygiene/Reinigung" (H), "Instandhaltung" (J), "Abfallsammlung" (K), "Lagerung" (G), "Störfälle" (L), sowie "Messen/Prüfen" (D) und "Arbeitsmedizinische Überwachung" (M).

PERSÖNLICHE SCHUTZAUSRÜSTUNG

Geeignete persönliche Schutzmaßnahmen sind die letzte Möglichkeit bzw. Stufe, wenn alle anderen Maßnahmen nicht ausreichen eine Exposition zu vermeiden oder aus nicht eingesetzt werden können. Ihre Verwendung sollte 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 Persönliche Schutzausrüstung mit verschiedenen anderen Schutzmaßnahmen kombiniert, erfolgt z. B. zusätzlich zu den technischen Maßnahmen, falls eine Aerosolbildung und/oder ein Hautkontakt durch diese nicht auszuschließen ist. Es darf keine Dauermaßnahme sein, belastende persönliche Schutzausrüstung zu tragen!

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.⁴

Generell sollte man sich beim Einkauf Persönlicher Schutzausrüstung **vom Hersteller die Wirksamkeit** bei den verwendeten Nanomaterialien **bestätigen lassen**. Dies gilt für Filter und Filtermasken ebenso wie für Handschuhe oder Schutzkleidung. Die in Projekten wie NanoSAFE oder von Einrichtungen 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 Abfüllvorgängen, bei Instandhaltungs- und Reinigungsarbeiten oder Probenahmen.

Die Art des verwendeten Atemschutzes hängt von den Ergebnissen ab, die bei der Risikoabschätzung erhalten werden:

- 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.⁵
- Eine bekannte Risikoquelle stellt der Sitz der Maske auf dem Gesicht dar, der ausreichend dicht sein muss. Alle TrägerInnen sollten den Sitz des Gesichtsstücks erproben und in der Verwendung geschult sein.

⁴ Vgl. OECD (2009c).

⁵ Nach HA (2009b), wo auch die Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Atemschutzgeräte erörtert werden; ausführlich zu diesem Thema auch NIOSH (2009b); vgl. weiters z. B. AGS (2013b).

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.
- Das NanoSAFE-Projekt empfiehlt zwei Handschuhe übereinander zu tragen, da Nanopartikel am Markt erhältliches Handschuhmaterial durchdringen könnten (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).
- Staubentwicklung erfordert einen staubdichten Schutzanzug Typ 5 (AGS, 2013b).
- Wenn notwendig, kann ein höheres Schutzniveau durch Chemikalienschutzanzüge bewirkt werden.

Umgang mit Nano-Flüssigkeiten

SW (2009) gibt zur Handhabung von Flüssigkeiten, die Nanopartikel enthalten, folgende Hinweise⁶:

- 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 flüssigen Medien suspendiert sind, gegenüber diesen Flüssigkeiten;
- Augenschutz benutzen, z. B. Brillen, die Spritzschutz bieten, oder Gesichtsschirme;
- Geschlossene Schuhe aus wenig durchlässigem Material verwenden, eventuell auch Wegwerf-Überschuhe.

⁶ 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 beruhen auf einer, von der Hessen-Nanotech-Initiative (HA, 2009b) für die Farben- und Lackbranche herausgegebenen Broschüre. Sie wurden ergänzt und sind auch für andere Wirtschaftszweige bzw. für Klein- und Mittelbetriebe nützlich:

- in eigenen Räumlichkeiten lagern ("Nano-Lager");
- Zutrittsregeln zum Nano-Lager erarbeiten und auf befugte Personen beschränken;
- Punkt 7 des Sicherheitsdatenblatts auf nanospezifische Informationen zur Lagerung durchsehen, z. B. spezielle Empfehlungen, Hinweise zur Zusammenlagerung¹; ggfs. bei Hersteller/Lieferant nachfragen;
- Verwendung von Aufreißsäcken vermeiden; beim Hersteller/Lieferant nach Gebinden fragen, bei denen beim Öffnen kein Material austritt (z. B. Fässer);
- beschädigte Gebinde oder Paletten mit beschädigten Gebinden nicht im Nano-Lager unterbringen, sondern in einem gesonderten Raum vorher den Schaden beheben: z. B. Umfüllen; Umhüllen von Sackware oder Big-Bags mit zweiter Hülle (Kunststoffsack o. ä.), die verschlossen wird;
- verschüttete Stoffe feucht aufwischen; bei größeren Mengen Industriestaubsauger mit wirksamen Feinstaubfiltern benutzen²;
- für Schadensbehebung geeignete Schutzmaßnahmen und persönliche Ausrüstung bereitstellen;
- bereits (z. B. für Portionierung) geöffnete Säcke getrennt von noch geschlossener Sackware lagern; Hersteller/Lieferant nach Gebinden fragen, deren geringere Größe eine Portionierung möglichst unnötig macht;
- Betriebsanweisung "Lagerung von Nanomaterialien" oder spezifische Regeln dafür erstellen, die alle Maßnahmen und Vorschriften enthalten;
- Personal des Nano-Lagers informieren, unterweisen und einschulen.

In Deutschland wurde kürzlich die TRGS 510, die Technische Regel für das Lagern von gefährlichen Stoffen und Gemischen veröffentlicht, die konkrete Hinweise und Hilfestellungen liefert (AGS, 1013a).

¹ Liegen Nanopartikel in Pulverform vor, soll insbesondere über ihre Inhalierbarkeit, die Möglichkeit von Staubexplosionen, ggfs. die Eliminierung von Zündquellen informiert werden (SECO, 2012; dort finden sich auch nanobezogene Textbeispiele zu den einzelnen Kapiteln des Sicherheitsdatenblattes).

² Siehe Themenblatt H zu Hygiene und Reinigung bei Nanoarbeiten.

Themenblatt H: Hygiene und Reinigung bei Nanoarbeiten

Die erforderlichen Maßnahmen und notwendige Schutzausrüstung hängen von der Höhe des potenziellen Risikos ab, ob z. B. Nanostäube vorhanden sind oder nicht.

Hygienische Regeln einhalten

Allgemeine und spezielle hygienische Grundsätze sind vorsorgend wirkende organisatorische Schutzmaßnahmen beim Arbeiten mit Nanomaterialien. Für entsprechende infrastrukturelle Grundlagen und geeignete Persönliche Schutzausrüstung hat der Arbeitgeber zu sorgen:

- in Nano-Arbeitsbereichen Verbot von Rauchen, Essen, Trinken, sowie der Aufbewahrung von Lebensmitteln;
- geeignete Waschgelegenheiten bereitstellen, z. B. Waschbecken, Duschen;
- Arbeitskleidung auf Sauberkeit prüfen;
- Persönliche Schutzausrüstung, einschließlich Schutzkleidung, zur Verfügung stellen und reinigen;
- Arbeitskleidung und Alltagskleidung getrennt aufbewahren, ggfs. in verschließbaren Spinden;
- Hautreinigung bei Resten von Nanoprodukten etc. mit einem geeigneten Reinigungsmittel, aber auf keinen Fall (organische) Lösungsmittel benutzen;
- nach Arbeitsende und vor Pausen Hände gründlich reinigen! Nach der Arbeit geeignetes Hautpflegemittel anwenden (rückfettende Creme);
- Personal in Nano-Arbeitsbereichen informieren und unterweisen, um Gute Hygienische Praktiken zu fördern.

Saubere Arbeitsplätze garantieren

Es muss sichergestellt sein, dass die Nano-Arbeitsbereiche bzw. die 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!

Der verunreinigte Bereich ist erst nach Prüfung auf Verunreinigung freizugeben. Die verschütteten Nanomaterialien und verunreinigte Schutzkleidung sind in einem dicht schließenden Behälter zu sammeln und sachgerecht zu entsorgen.

Die folgenden Hinweise gelten sinngemäß nicht nur für Reinigungs- und Dekontaminationstätigkeiten im Engeren, sondern auch für Instandhaltung, Entsorgung etc.¹:

- Eine geeignete Standardisierung der Arbeitsoberflächen ist empfehlenswert: Die Oberflächen sollten z. B. nicht porös, fugenfrei und leicht zu reinigen sein.
- Zur Verminderung der Nano-Exposition dürfen die Arbeitsplätze nicht mit Druck- oder Trockenwischverfahren von Ablagerungen oder verschütteten Materialien gereinigt werden: HEPA-Filtersysteme und Nassreinigung (feucht aufwischen) sind einzusetzen.
- Alternativ sind größere Mengen wie ein ganzer Sackinhalt mit einem Industriestaubsauger mit wirksamen Filtern (z. B. HEPA H14) aufzunehmen: Nanopartikel in wassergefüllter Trommel auffangen; die Wirksamkeit der Staubsaugsysteme vom Hersteller bestätigen lassen; bei explosionsgefährlichen Nanopartikeln explosionsgeschützte Geräte verwenden.
- Arbeitsmittel müssen regelmäßig korrekt gewartet und Verbrauchsmaterialien ausgetauscht werden (Staubsaugerfilter, Reinigungsgeräte usw.).
- Für die Reinigung sind geeignete Schutzmaßnahmen und -ausrüstung je nach Risikoniveau bereitzustellen².
- Persönliche Schutzausrüstung ist je nach Erfordernissen zu ersetzen bzw. regelmäßig korrekt warten.
- Verfahren für die Reinigung sind mit festgelegten Terminen auszuarbeiten, beispielsweise: Staub-Arbeitszonen wenigstens einmal pro Schicht reinigen; adäquate Hilfsmittel beschreiben, z. B. Staubsauger mit HEPA-Filtern, mit geeigneten Lösungsmitteln angefeuchtete Stoffe.
- Betriebsanweisung "Nano-Reinigung" sind zu erstellen;
- Das Reinigungspersonal ist vom Vorgehen bei der Reinigung und von Persönlicher Schutzausrüstung zu informieren, zu unterweisen und einzuschulen.

¹ Siehe die Themenblätter J und K, sowie Themenblatt L zu unbeabsichtigter Freisetzung von Nanomaterialien.

² Siehe Themenblatt F zu Schutzmaßnahmen, insbesondere die Anmerkungen zu Persönlicher Schutzausrüstung.

Themenblatt J: Instandhaltung bei Nanoarbeiten

Systematische Instandhaltung ist unbedingt notwendig, damit sowohl Arbeitsmittel, Gebäude usw., als auch die Arbeitsplätze sicher und zuverlässig sind. Sie umfasst verschiedenste Tätigkeiten, je nach Branche und Art der Arbeit, und abhängig davon, ob es sich um Inspektion, Wartung oder Instandsetzung handelt.¹

Hier kann es eine erhöhte nanospezifischen Exposition geben bei:

- der Verwendung von Produkten bei Wartung etc., die Nanomaterialien enthalten;
- der, auch unbeabsichtigten, Freisetzung von Nanomaterialien bei der Instandhaltung von Arbeitsmitteln zur Nanoerzeugung und -verarbeitung (z. B. Filterwechsel);
- der Säuberung von Nano-Arbeitsplätzen, verschütteten Materialien, technischen Schutzsystemen usw. (siehe Themenblatt H zu Hygiene und Reinigung);
- der Abfallsammlung nach der Instandhaltung;
- der Instandhaltung selbst, wenn Nanomaterialien entstehen, z. B. beim Schleifen oder Polieren.

Folgende Aspekte sind bei der Instandhaltung zu beachten:

- Technische Schutzmaßnahmen wie Absaug- und Lüftungssysteme sind regelmäßig einer Leistungs- bzw. Funktionsprüfung zu unterziehen und instandzuhalten; dies gilt auch für geschlossene Systeme und erfordert ein Öffnen der Anlagen, wenn eine vollautomatische Reinigung bzw. Instandhaltung nicht möglich sind.
- 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 die Instandhaltung sind je nach Risikoniveau geeignete Schutzmaßnahmen und Ausrüstung bereitzustellen, da auch bei Verwendung geschlossener oder gekapselter Systeme und Anlagen beispielsweise bei Probenahmen, Reinigungs- und Wartungsarbeiten ein Öffnen der Anlagen erforderlich ist².
- Persönliche Schutzausrüstung ist je nach Erfordernissen zu ersetzen bzw. regelmäßig korrekt zu warten;
- Auf die jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten abgestimmte spezielle Betriebsanweisungen "Nano-Instandhaltung" sind zu erstellen.
- Das Instandhaltungspersonal ist zu informieren, zu unterweisen und einzuschulen.

¹ Einen guten Überblick gibt, allerdings auf Englisch, EU OSHA (2013c).

² Siehe insbesondere die Anmerkungen zu Persönlicher Schutzausrüstung im Themenblatt F zu Schutzmaßnahmen.

Themenblatt K: Abfallsammlung bei Nanoarbeiten

Abfälle mit freisetzbaren Nanomaterialien entstehen in Forschung und Entwicklung, Produktion und Weiterverarbeitung. Systematisches Wissen über das Verhalten von Nanomaterialien in der Umwelt in Bezug auf Ausbreitung, Anlagerung, Anreicherung, Veränderung der Nanoeigenschaften usw. fehlt größtenteils. Daher sollten sie im Sinne des Vorsorgeprinzips¹ im Zweifel als umweltgefährdender, das heißt gefährlicher Abfall behandelt werden, bis gegenteilige Studienergebnisse bzw. Kenntnisse vorliegen.

- Punkt 13 des Sicherheitsdatenblatts ist auf nanospezifische Informationen zur Entsorgung durchzusehen, ggfs. ist bei Hersteller/Lieferant nachzufragen.
- Eine Veröffentlichung der Hessen-Nanotech-Initiative enthält zu Abfallentsorgung, aber auch zu Abluftreinigung und Abwasserbehandlung konkrete Empfehlungen für betriebliche Umweltschutzmaßnahmen (HA, 2009b).
- Ein Schweizer Papier behandelt die Entsorgung von Nanomaterialien (BAFU, 2010b).
- Hinweise zum Thema finden sich auch in einer Broschüre des VCI (2012).

Nano-Abfälle müssen, vorbehandelt und verpackt, mit ausreichenden Informationen den entsorgenden Firmen übergeben werden (Inhalt bzw. chemische Zusammensetzung, mögliche Staubbildung beim Öffnen der Gebinde, usw.).

Nano-Abfälle sind physikalisch und in der Gefährlichkeit durch Befeuchten, Stabilisieren oder Verfestigen, z. B. durch Binden mit Beton, veränderbar (AGS, 2013b). Sie werden deutlich gekennzeichnet so gesammelt, dass keine Nanomaterialien austreten können.

Nanomaterialien:

- in dicht schließendem Abfallbehälter (z. B. PE-Spannringdeckelfass) sammeln;
- mit einer Etikettierung versehen, die den Abfall als nanoskalig 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.

¹ Siehe Themenblatt P zu Nano und Vorsorgeprinzip.

Themenblatt L: Unbeabsichtigte Freisetzung / Störfälle mit Nanomaterialien

Für Notfälle wie Lecks sind zur Vervollständigung der Gefährdungsbeurteilung Aktionspläne zu erstellen, deren Methoden von Risikoniveau und Stoffmengen abhängen. Auch Betriebe, die mit geringeren Mengen arbeiten, haben für das Verschütten und die unbeabsichtigte Freisetzung von Nanomaterialien entsprechende Vorsorge zu 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 benutzen¹;
- Abfälle in dicht schließenden Behältern sammeln und sachgerecht entsorgen²;
- geeignete Schutzmaßnahmen und Ausrüstung je nach Risikoniveau bereitstellen³;
- Reinigungspersonal informieren, unterweisen und einschulen.

Die BekGS 527 skizziert das Vorgehen beim Verschütten einer größeren Menge eines staubenden Nanomaterials (AGS, 2013a): Ungeschützte Personen haben den Arbeitsbereich zu räumen, ggfs. sind Notfallmaßnahmen einzuleiten und angrenzend Tätige zu informieren. Erst wenn sich die Staubwolke niedergeschlagen hat, wird der Arbeitsbereich zur Reinigung wieder betreten. Bei biobeständigen Nanomaterialien sind zusätzlich zur Arbeitsbekleidung (Arbeitshose, -jacke und -sicherheitsschuhe, sowie Schutzbrille) ein staubdichter Schutzanzug Typ 5, Chemikalienschutzhandschuhe und eine dicht schließende Atemschutzmaske mit P3-Filter zu tragen.

Störfälle

Freisetzungen grosser Mengen von Nanomaterialien oder Störfälle mit über die Arbeitsstätte hinausgehenden Auswirkungen sind nicht bekannt, dagegen wurden einige Betriebsunfälle dokumentiert.

Nach einer Schweizer Studie (BAFU, 2010a) unterscheiden sich Nano-Störfallszenarien (Lagerbrand, Verpuffung, Explosion) nur wenig von solchen in der chemischen Industrie bei der Herstellung und Verarbeitung vergleichbarer Stoffe. Nach derzeitigem Wissen sind daher die Vorschriften bspw. für Stäube auch für Nanomaterialien anzuwenden.

¹ Siehe Themenblatt H zu Hygiene und Reinigung bei Nanoarbeiten.

² Siehe Themenblatt K zur Abfallsammlung bei Nanoarbeiten.

³ Siehe vor allem die Anmerkungen zu Persönlicher Schutzausrüstung im Themenblatt F zu Schutzmaßnahmen bei Nanoarbeiten.

Themenblatt M: Arbeitsmedizinische Überwachung bei Nanoarbeiten

Gesundheitsüberwachung soll Arbeitsbelastungen verringern. Voraussetzungen dafür sind aber eine Gefährdungsbeurteilung und die Festlegung von Schutzmaßnahmen, die Dokumentation der betroffenen Arbeitsplätze, sowie Information und Unterweisung der betroffenen Beschäftigten. Die untersuchenden ArbeitsmedizinerInnen müssen daher die konkreten Arbeitsbedingungen kennen, eine Arbeitsanamnese durchführen und die Beschäftigten gezielt über Belastungen und Arbeitsgestaltung beraten.¹ Beim derzeitigen Wissensstand ist dies für Nanomaterialien schwer zu erfüllen.

Arbeitsmedizinische Überwachung wird daher kurzfristig für Beschäftigte, die gegenüber Nanomaterialien exponiert sind, noch keine bedeutende Rolle spielen.

Es wird zwar häufig gefordert, ein arbeitsmedizinisches Überwachungsprogramm als Teil eines umfassenden Risikomanagements einzurichten:

- In den USA wird empfohlen, auf Basis etablierter medizinischer Überwachungsansätze vorzugehen (US OSHA, 2013; NIOSH, 2009a).
- Die Suva hat ein Programm der arbeitsmedizinischen Vorsorge für Beschäftigte mit Expositionen gegenüber Nanopartikel bzw. Nanoröhrchen entwickelt (Suva, 2012).
- Mittmann-Frank et al. schlagen ein arbeits- und präventivmedizinisches diagnostisches Programm vor (2009); außer der Diagnostik potenziell schädlicher Nano-Wirkungen auf das zirkulatorische System müssten der Fokus auf einer (erweiterten) Lungenfunktions-Analytik und der zielgerichteten Allergie-Diagnostik liegen (2010).
- Frankreich entwickelt ein epidemiologisches Vorsorgesystem (Boutou-Kempf, 2012).

Allerdings gibt es noch keine nanospezifischen 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.²

Verschiedene Nano-Unternehmen berichten, durch arbeitsmedizinische Betreuung die Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen abzusichern, gehen allerdings nicht auf Details ein.

Der Atemtrakt steht derzeit im Vordergrund. Als Übergang könnten für Atemwegserkrankungen übliche Methoden eingesetzt werden, wie regelmäßige Lungenfunktionsuntersuchungen. Damit eine solche Maßnahme tatsächlich einen epidemiologischen Nutzen bringt, müssten die Ergebnisse mit jenen der Expositionsmessungen verknüpft werden. Ohne fundierten Verdacht dürfen aber selbst potenziell schädigend wirkende Untersuchungsverfahren nicht zum Einsatz kommen, z. B. Röntgenuntersuchungen. Eine Arbeitshilfe der DGUV enthält spezielle Erläuterungen und Empfehlungen zur arbeitsmedizinischen Tätigkeit (DGUV, 2010b).

¹ Vgl. ZAI-Erlass vom 2.12.2009 "Ermittlung und Beurteilung einer § 49-Untersuchungspflicht".

² Siehe bspw. HSE (2013), UK NanoSafety (2012), Cornelissen et al. (2011), Yokel/MacPhail (2011), Nasterlack et al. (2011), NIOSH (2009a), Schulte (2008b), BSI (2007).

Themenblatt N: Information, Unterweisung und Einschulung für Nanoarbeiten

Eine wesentliche organisatorische Maßnahme ist die gründliche Information und Unterweisung über Risiken und Schutzmaßnahmen auf Nano-Arbeitsplätzen bzw. bei Nanoarbeiten. Dies betrifft in erster Linie die ArbeitnehmerInnen, muss jedoch auch ihre Vorgesetzten miteinbeziehen.

Bestimmte Tätigkeiten benötigen eine spezielle Information und Unterweisung, z. B. Reinigungsarbeiten, Lagerung, Instandhaltung oder Abfallsammlung¹.

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 alle, zu ihrer Umsetzung und Einhaltung erforderlichen Hinweise in Arbeitsanweisungen, Betriebsanweisungen und Regeln einfügen;
- schriftliche Betriebsanweisungen tätigkeits- und arbeitsplatzbezogen erstellen, z. B. als ein am Arbeitsplatz angebrachtes Plakat: insbesondere für Tätigkeiten mit hohem Risikopotenzial und für Nicht-Routine-Tätigkeiten (wie oben beispielhaft angeführt);
- korrekte Handhabung bzw. Durchführung von Schutzmaßnahmen für Nanoarbeiten praktisch üben² (weil z. B. ein schlechter Sitz oder die unsachgemäße Verwendung die Persönliche Schutzausrüstung unbrauchbar machen können).

Inhaltlich sind die Beschäftigten gezielt zu unterrichten über:

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

¹ Siehe die Themenblätter G, H, J und K.

² Die BekGS 527 (5.2) gibt Beispiele für das Trainieren des Anlegens von Atemschutz, des An- und Ausziehens von Schutzhandschuhen, sowie des An- und Ablegens von Schutzkleidung (AGS, 2013b).

Themenblatt O: 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 zur Überprüfung der verwendeten Schutzmaßnahmen 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 (AGS, 2010; Nummer 8).

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

- verwendete Nanomaterialien und ihre gesundheitsgefährdenden und physikalisch-chemischen Eigenschaften;
- Nano-Arbeitsbereiche und Nanotätigkeiten, 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, Instandhaltung, Reinigung, 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 Expositionsregister¹ zu führen, um in Verbindung mit Ergebnissen etwaiger Vorsorgeuntersuchungen eine Basis für spätere epidemiologische Studien zu besitzen.

¹ Siehe beispielsweise die Exposure registration in Cornelissen et al. (2011).

Themenblatt P: Nano und Vorsorgeprinzip

Das Vorsorgeprinzip will potenzielle Schäden von vornherein vermeiden, auch wenn Art, Ausmaß oder Eintrittswahrscheinlichkeit ungewiss sind. In der Praxis ist es vor allem anzuwenden, wenn Gefahren für Umwelt oder Gesundheit vermutet werden, die nicht akzeptabel sind bzw. mit einem hohen Schutzniveau unvereinbar. Es müssen dafür aber zumindest erste wissenschaftliche Hinweise auf mögliche ernste bzw. irreversible Schäden oder eine wissenschaftlich plausible Risikohypothese vorliegen (INAIL, 2011).

Die Kenntnisse über gesundheitliche Auswirkungen von Nanomaterialien reichen meist nicht, um sichere Aussagen zu treffen, besonders über langfristige Wirkungen bei geringer, aber anhaltender bzw. häufiger Exposition. Nach derzeitigem Wissensstand 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. Erst wenn es Studien gibt, die dieser Annahme klar widersprechen, kann das hohe Schutzniveau reduziert werden. (DGUV, 2010a)

Das Vorsorgeprinzip ist ein Prinzip der Gesundheits- und Umweltpolitik in Europa. Es gibt keine allgemein verbindliche Definition, aber eine Mitteilung der Europ. Kommission aus dem Jahr 2000. Das Europäische Parlament, viele Einrichtungen und Behörden, aber auch verschiedene Unternehmen verlangen seine Anwendung im Nanobereich.

- Die Europäische Arbeitsschutzagentur betont ein vorsorgendes Vorgehen im Nano-Risikomanagement besonders bei den Schutzmaßnahmen (EU OSHA, 2013a).
- In Deutschland empfiehlt die NanoKommission (2011) den verantwortungsvollen Umgang mit Nanomaterialien bei Prinzipien, Regulierung, Bewertungsverfahren und Risikomanagement. Der Deutsche Sachverständigenrat für Umweltfragen diskutiert das Vorsorgeprinzip im Bereich der Nanomaterialien als Leitprinzip (SRU, 2011).
- Der Österreichische Aktionsplan Nanotechnologie (ÖNAP, 2009) will einen auf dem Vorsorgeprinzip basierenden Schutz in Umwelt, Arbeit und Konsum sicherstellen.
- Für den Sozial- und Wirtschaftsausschuss in Holland ist das Vorsorgeprinzip nötig, solange Wissen und Datenlage über Nanorisiken ungenügend sind (SER, 2009).

Vorsorgendes Handeln ist jedoch leichter in der Theorie einzufordern, als angesichts der unterschiedlichen, oft widersprüchlichen (gesellschaftlichen) Zielebenen in der Praxis umzusetzen und konkret zu beschreiben. Auch die deutsche NanoKommission (2011) ist enttäuscht, wie wenig von Behörden und Industrie auf die 2008 entwickelten fünf Prinzipien zum verantwortungsvollen Umgang mit Nanomaterialien verwiesen wurde.

Im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung müssen Arbeitgeber prüfen, ob es sich bei den betreffenden Arbeitsstoffen um gefährliche handelt. Auch bei unvollständiger Datenlage haben sie potenzielle Gefahren einzuschätzen, die mit ihnen verknüpft sein könnten.

Laut TRGS 400 sind Arbeitsstoffe, für die wichtige Toxizitätsangaben fehlen, wie giftige etc. Stoffe zu behandeln und mindestens adäquate Schutzmaßnahmen festzulegen, bis diesbezügliche Prüfungen vorliegen (AGS 2010, 4.2 (8) und (9)).

Im Betrieb ist die Exposition gegenüber solchen Nanomaterialien zu vermeiden, für die es keine gesicherten Erkenntnisse über ihre Ungefährlichkeit gibt. Ist eine Vermeidung nicht möglich ist, sind umfassende Schutzmaßnahmen zu ergreifen.

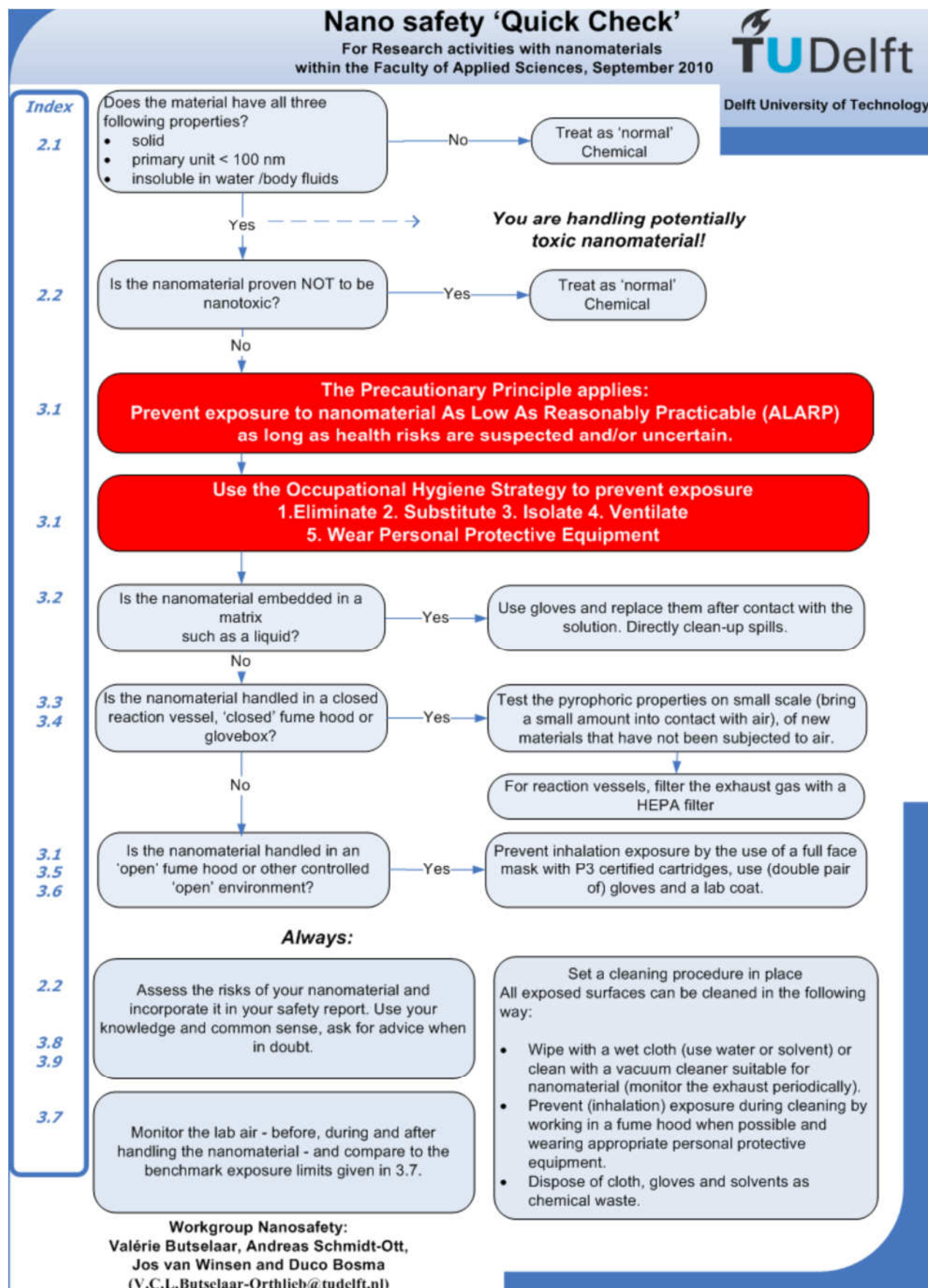
Themenblatt R: Arbeitsschutz in Labors

Die TU Delft (2010) empfiehlt niederländischen Universitäten, Forschungsaktivitäten bei nanostrukturierten Materialien derzeit als (potenziell) nanotoxisch zu behandeln, wenn gilt: Die Primärteilchen sind in einer Raumrichtung zwischen 1 und 100 nm groß, inkl. größerer Aggregate dieser Partikel; sie sind fest; sie sind praktisch unlöslich in Wasser und Körperflüssigkeiten, oder lösen sich nur sehr langsam.

In der Gefährdungsbeurteilung gelten also alle Nanomaterialien als nanotoxisch, bis das Gegenteil bewiesen wurde. Da es noch keine gesundheitsbasierten Arbeitsplatzgrenzwerte gibt, werden vorläufige Nano-Referenzwerte verwendet (siehe Themenblatt D)!

- **Arbeiten mit Nanomaterialien in flüssigen Medien:** In Auffangwanne arbeiten; geeignete Schutzhandschuhe tragen, um Hautkontakt zu vermeiden / Ausbreitung von flüssigen Tröpfchen in der Laborluft vermeiden / verschüttete Flüssigkeiten sofort beseitigen, um Verdampfen zu vermeiden.
- **Arbeiten mit Nanomaterialien in Gasphasenreaktoren:** Geschlossene Reaktionsgefäße verwenden, am besten bei atmosphärischem oder Unterdruck / Dichtigkeit zwischen Versuchsdurchgängen checken / bei Arbeit mit Überdruck Standard-Sicherheitsregeln und gesetzliche Vorschriften für Druckgefäße beachten; Reaktionsgefäß in geschlossenen Sicherheitsbehälter geben / bei Arbeiten mit geringem Überdruck sind geschlossene Abzüge ausreichend / an der Ausgangsseite HEPA-Filter vor Auslass im Abzug einsetzen / Filter regelmäßig testen und bei Erreichen ihrer maximalen Kapazität auswechseln.
- **Arbeiten mit Nanopulvern:** Nur in geschlossenem Abzug oder Handschuhkästen arbeiten / wenn offener Umgang unvermeidlich, P3-Atemschutz tragen / Explosionsrisiko und Selbstentzündlichkeit ermitteln / alle Teile mit Kontakt zu Nanopartikeln reinigen und ausgeschüttetes Material entfernen.
- **Explosionsrisiko und Selbstentzündungstest:** Alle pulverförmigen oxidierbaren Nanomaterialien sind potenziell selbstentzündlich an der Luft und daher potenziell explosiv / Pyrophoritätstests sind durchzuführen.
- **Persönliche Schutzausrüstung:** Übliche Hygienemaßnahmen einhalten / Maske: z. B. (gebläseunterstützte) Voll- oder Halbmasken mit P3-Filtern; Maske muss dicht auf dem Gesicht sitzen / Schutzhandschuhe: zwei Schichten tragen / Labormantel: nichtgewebte Materialien hoher Dichte, z. B. Polyethylen-Textilien.
- **Kontinuierliches Monitoring der Laborluft:** Nanopartikel-Detektor mit Alarmfunktion in jedem Labor / vor und nach den Arbeiten mit Nanomaterialien messen.
- **Verunreinigungen und Reinigungsarbeiten:** Schutzhandschuhe tragen und, wenn möglich, in Abzug reinigen / Abzug säubern / außerhalb Abzug Atemschutz (evtl. Komplettschutz) / Oberflächen mit feuchtem Tuch (Wasser, Lösungsmittel) abwischen / Staubsauger mit HEPA-Filter verwenden / Abluft kontrollieren.
- **Entsorgung von Nanopartikeln:** Mengen über Milligramm-Bereich (Nanopulver, Nanokolloide) als chemischen Abfall entsorgen, wenn Löslichkeit in Wasser sehr gering / bei höherer Löslichkeit je nach Toxizitätsklasse der Grobform vorgehen.
- **Transport von Nanopartikeln:** Wie normale Chemikalien, geschlossene Behälter.

Der folgende Ablaufplan fasst das empfohlene Vorgehen zusammen.



Eine Auswahl von **Empfehlungen und Leitfäden** wird hier vorgestellt.¹ Alle Veröffentlichungen beschreiben, wie eine Gute Laborpraxis bei Nanoarbeiten aussehen soll.

OECD (2010b) liefert eine Übersicht von Leitlinien zur Gefährdungsbeurteilung beim Umgang mit Nanomaterialien und zur Verringerung von Nano-Expositionen in Laboratorien. Forschung und Entwicklung sind nicht primäre Zielgruppe dieses Leitfadens.

DGUV (2012) gibt eine Zusammenfassung für Nanoarbeiten im Labor: Es sind keine neuen Schutzmaßnahmen erforderlich, jedoch die konsequente Anwendung bekannter Maßnahmen bei gefährlichen Stoffen und Beachtung des Vorsorgeprinzips. Die Laborrichtlinien (BG RCI, 2011) unterstützen ebenfalls beim Umgang mit Nanomaterialien.²

Mit einem Entscheidungsbaum teilen Groso et al. (2010) Nano-Labors wie bei einem Control Banding-Ansatz in drei Gefahrenklassen ein, für die jeweils die notwendigen Maßnahmen zur Expositionsverminderung aufgelistet werden.

Die Dänische Industrie legt den Schwerpunkt auf luftgetragene Nano-Exposition (ICOH, 2011), von der Produktion von Nanopartikeln über die Handhabung von Nano-Stäuben und Nano-Suspensionen bis zur Bildung von Stäuben und Aerosolen bei Arbeiten mit Kompositmaterialien, die Nanopartikel enthalten.

NRC (2011) geht als Leitfaden für Beschäftigte in Laboratorien nicht nur auf den Umgang mit Nanomaterialien ein, sondern auch auf Notfallmaßnahmen, Laborsicherheit, Lagerung usw. Vier Klassen von Nanomaterialien werden gebildet, die von Feststoffen mit eingebetteten Nanostrukturen bis zu trockenen Nanopartikeln mit größeren Risiken und somit stärkeren Schutzmaßnahmen verbunden sind.³

Das California Consortium of Higher Education erstellte für kalifornische Universitäten ein nutzerfreundliches Nanotoolkit, das auf drei Risikoklassen für Nanomaterialien bzw. Nanoarbeiten und drei Kategorien von notwendigen Schutzmaßnahmen beruht. Es beschreibt die Gute Nano-Praxis in der akademischen Forschung und ist auch in einer zweiseitigen Kurzanleitung übersichtlich zusammengefasst (CNCHE, 2012).

Auch das US Arbeitsschutzinstitut NIOSH (2012) gibt Empfehlungen für Schutzmaßnahmen und sichere Praktiken bei Arbeiten mit Nanomaterialien in Laboratorien und im Pilotmaßstab.

¹ Vgl. beispielsweise auch UK Nanosafety (2012) oder Hallock et al. (2009) vom Massachusetts Institute of Technology (MIT).

² Für weitere Infos und Hilfestellungen, siehe www.bgrci.de/praevention/fachwissen/laboratorien/

³ Zu den Maßnahmen bei Nanoarbeiten im Labor, siehe auch das NanoInformationsPortal <http://nanoinformation.at/arbeitswelt/umgang-mit-nanomaterialien-in-labors.html>

Themenblatt S: Vorsorgeraster

Der Schweizer Vorsorgeraster (BAG/BAFU, 2011) ist keine Risikobeurteilung, sondern liefert mittels eines groben Screenings Anhaltspunkte für einen nanospezifischen Handlungsbedarf in Produktion und Anwendung¹.

Diese vorsorgende Abschätzung ergibt für ArbeitnehmerInnen, KonsumentInnen und Umwelt zwei Möglichkeiten:

- Klasse A: Nanospezifischer Handlungsbedarf auch ohne weitere Abklärung gering
- Klasse B: Nanospezifischer Handlungsbedarf gegeben, Prüfung bestehender Maßnahmen, weitere Abklärungen und ggfs. 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 nanospezifische Vorsorgebedarf vor allem aus dem Wirkungspotenzial und der potenziellen Exposition des Menschen bzw. dem potenziellen Eintrag in die Umwelt. Überdies werden Rahmenbedingungen wie Informationsstand berücksichtigt. Es wird der Normalbetrieb und ein "Worst case"-Szenario betrachtet. Der Vorsorgeraster stützt sich auf eine begrenzte Anzahl von Bewertungsparametern, wie Größe, Freisetzungspotenzial, Reaktivität und Beständigkeit, sowie Menge der Nanomaterialien. Auf Mensch bzw. Arbeit bezogene Parameter sind z. B.

- Informationsstand: Herkunft und Datenbasis der nanoskaligen Ausgangsmaterialien; nächste Anwender; Materialsystem, Störfaktoren wie Verunreinigungen;
- Wirkungspotenzial der Nanomaterialien: Redoxaktivität und/oder katalytische Aktivität; Stabilität (Halbwertszeit) im Körper;
- Potenzielle Exposition des Menschen: Physikalische Umgebung (Luft; Aerosole über und unter 10 µm; flüssige Medien; feste Matrix, nicht stabil im Gebrauch; feste Matrix, stabil im Gebrauch, Nanopartikel mobil bzw. nicht mobil; maximal mögliche Exposition (verwendete Menge pro Tag; Menge, mit der ein/e ArbeitnehmerIn im "worst case" in Kontakt kommen kann; Häufigkeit des Umgangs).

Das Ausfüllen des Rasters soll ein bis zwei Stunden benötigen. Diese Zeit wird jedoch ohne Einschulung bzw. Erfahrung vermutlich nicht ausreichen. Ein elektronisches Hilfsmittel in Form eines Excel-sheets wird zur Verfügung gestellt.

Auch lt. AutorInnen ist das Aufsummieren über den gesamten Lebenslauf nicht sehr aussagekräftig. Detaillierte Aussage zum genauen Vorsorgebedarf ergeben sich erst aus der Analyse der einzelnen Parameter. Beispielsweise sollten beim Auftreten von hohen Punktezahlen in bestimmten Aspekten und Bereichen dort weiterführende Ermittlungen angestellt und ggfs. Maßnahmen getroffen werden.

¹ Unter www.infonano.ch sind, nicht nur über den Vorsorgeraster, Informationen und Hilfsmittel zum Umgang mit Nanomaterialien zu finden.

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 und Aggregaten oder einer Kombination von beiden; 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 in der Umwelt zu verbleiben, z. B. im Körper nicht abbaubar zu sein. Zur Abschätzung kann die → Wasserlöslichkeit verwendet werden.

Bulkform, Bulkmaterial:

Mit Bulkform ist die "Grobform", die makroskopische Form eines Materials derselben chemischen Zusammensetzung gemeint (im Gegensatz zur Nanoform).

Carbon Black:

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

CNT:

→ 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 stoffbezogener Gefahren und arbeitsbezogener Expositionen, um Bänder von Maßnahmenstrategien zu erhalten, die jeweils die Beschäftigten ausreichend schützen sollen (→ Themenblatt E "Nano-Risikoabschätzung").

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; Nano-Dispersionen haben mind. einen Bestandteil aus → nanoskaligen Partikeln: → Nano-Aerosol, → Nano-Suspension, → Nano-Emulsion.

Epidemiologische Studie:

Wissenschaftliche Untersuchung eines Ursache-Wirkungs-Zusammenhangs innerhalb einer Bevölkerung bzw. Bevölkerungsgruppe.

Exposition:

Ausgesetztsein 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, dass es nicht zu gesundheitlichen Schädigungen kommen kann.

Freisetzungsvermögen:

Fähigkeit eines Arbeitsstoffs, aufgrund seiner Eigenschaften in die Luft zu gelangen und dadurch z. B. die ArbeitnehmerInnen gefährden zu können. Bei festen Stoffen stehen 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 Fünfecken 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 H13 bis H14, die Abscheidegrade von über 99,95% bzw. 99,99% 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; zu unterscheiden sind vorbeugende Instandsetzung (z. B. Teile mit Verschleißcharakter zu festgelegten Terminen unabhängig von ihrem Zustand auswechseln) und ereignisorientierte 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 → nanoskaligen und einer deutlich größeren dritten Dimension (Raumrichtung); zu Nanofasern, die starr oder biegsam sein können, gehören elektrisch (halb-) leitende Nanodrähte (nanowires), → Nanoröhrchen (nanotubes) und feste Nanostäbchen (nanorods).

Nanokomposite (nanocomposites):

In einer homogenen Mischung aus mehreren Materialien zusammengesetzte Verbundwerkstoffe, die gut verteilte Nanopartikel oder andere Nanostrukturen enthalten; 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 → Nanostrukturierten Materialien unterschieden.

Nanometer (nm):

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

Nanoobjekte (nano objects):

Feste oder flüssige Materialien, deren äußere Abmessungen in einer, zwei oder drei Dimensionen nanoskalig sind (zwischen circa 1 nm bis 100 nm); sie können unterteilt werden in → Nanopartikel, → Nanofasern (Nanostäbchen) und → Nanoplättchen.

Nanopartikel (nanoparticles):

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

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.

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.

Schwebstoffe:

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

Spezifische Oberfläche:

Oberfläche pro Volumseinheit.

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 $0,1\ \mu\text{m}$ ($= 100\ \text{nm}$); entstehen unbeabsichtigt, z. B. bei Verbrennungsprozessen.

Wartung:

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

Wasserlöslichkeit

Ist sie kleiner als $100\ \text{mg/l}$ sind die Stoffe praktisch unlöslich und damit biobeständig.

WHO-Faser:

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

Literatur

Einige wichtige deutschsprachige Informationsquellen:

BAuA / Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin: www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/Nanotechnologie/Nanotechnologie.html

DaNa & Wissensplattform Nanomaterialien: <http://nanopartikel.info/>

DGUV / Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung: www.dguv.de/inhalt/praevention/themen_a_z/nano/

IFA Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung:
www.dguv.de/ifa/de/fac/nanopartikel/

InfoNano, BAG / Bundesamt für Gesundheit: www.infonano.ch

ITA / Institut für Technikfolgenabschätzung: <http://hw.oeaw.ac.at/ita/nanotrust-dossiers>

EU OSHA / Europäische Agentur für Sicherheit und Gesundheit am Arbeitsplatz:
<https://osha.europa.eu/de/topics/nanomaterials>

NIP / NanoInformationsportal: <http://nanoinformation.at>

Nano-Sicherheit Hessen: www.nano-sicherheit.de/

VCI / Verband der Chemischen Industrie:
<https://www.vci.de/Themen/Chemikaliensicherheit/Nanomaterialien/>

AGS (Hg.). Bekanntmachung zu Gefahrstoffen 527 "Hergestellte Nanomaterialien" (BekGS 527). Ausgabe Mai 2013, GMBI 2013 S. 498-511 vom 21.06.2013 [Nr. 25]. Ausschuss für Gefahrstoffe, Dortmund: Mai 2013. DL: www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/TRGS/Bekanntmachung-527.html [2013b]

AGS (Hg.). Technische Regel für Gefahrstoffe 510 "Lagerung von Gefahrstoffen in ortsbeweglichen Behältern" (TRGS 510). Ausgabe Jänner 2013, GMBI 2013 S. 446-475 vom 15.5.2013 [Nr. 22]. Ausschuss für Gefahrstoffe, Dortmund: Jänner 2013. DL: <http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/TRGS/TRGS-510.html> [2013a]

AGS (Hg.). Bericht des AK Nanomaterialien des UA Gefahrstoffmanagement an den AGS. Stand 13. Januar 2011. Ausschuss für Gefahrstoffe, Dortmund: Jänner 2011. DL: www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/AGS/AGS-zu-Nanomaterialien.html

AGS (Hg.). Technische Regel für Gefahrstoffe 400 "Gefährdungsbeurteilung für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen" (TRGS 400). Ausgabe Dezember 2010, zuletzt geändert und ergänzt: GMBI 2012 S. 715 vom 13.9.2012 [Nr. 40]. Ausschuss für Gefahrstoffe, Dortmund: Dezember 2010. DL: <http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/TRGS/TRGS-400.html>

ANSES (ed.). Development of a specific Control Banding Tool for Nanomaterials. Report Expert Committee (CES) on Physical Agents. French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety, Maisons-Alfort: Dezember 2010. DL: www.anses.fr/en/

Asbach Ch. Exposition – Messtechniken und Szenarien. NanoGEM Abschlusskonferenz, Berlin 12-13 Juni 2013. DL: www.nanogem.de/cms/nanogem/

Asbach Ch. Tiered approach for assessing risks at work places. BAuA Workshop on Safe Handling of Nanomaterials at Workplaces 27-28 November 2012. DL: www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/Tagungen/Nano-2012/Nano-2012.html

AUVA (Hg.). Nanotechnologien. Arbeits- und Gesundheitsschutz. Sicherheit kompakt M 310. Allgemeine Unfallversicherungsanstalt, Wien: Dezember 2010. DL: www.auva.at

BAFU (Hg.). Entwurf Konzeptpapier "Umweltverträgliche und sichere Entsorgung von Abfällen aus Herstellung sowie industrieller und gewerblicher Verarbeitung von synthetischen Nanomaterialien". Bundesamt für Umwelt, Bern: September 2010. DL: www.bag.admin.ch/nanotechnologie/12171/12177/index.html?lang=de [2010b]

BAFU (Hg.). Brand- und Explosionseigenschaften synthetischer Nanomaterialien. Erste Erkenntnisse für die Störfallvorsorge. Bern: Bundesamt für Umwelt, Bern: Juli 2010. DL: www.bag.admin.ch/nanotechnologie/12171/12181/index.html?lang=de [2010a]

BAG / BAUFU (Hg.). Merkblatt zum Vorsorgeraster für synthetische Nanomaterialien (Version 2.1). Bundesamt f. Gesundheit / Bundesamt f. Umwelt, Bern: Juli 2011. DL: www.infonano.ch [2011c]

BAG / BAUFU (Hg.). Wegleitung zum Vorsorgeraster für synthetische Nanomaterialien (Version 2.1). Bundesamt f. Gesundheit / Bundesamt f. Umwelt, Bern: Juli 2011. DL: www.infonano.ch [2011b]

- BAG / BAFU (Hg.). Vorsorgeraster für synthetische Nanomaterialien (Version 2.1). Bundesamt f. Gesundheit / Bundesamt f Umwelt, Bern: Juli 2011. DL: www.infonano.ch [2011a]
- BAuA (Hg.) (Kahl A, Wilmes A, Guhe Ch, Packroff R, Lotz G, Tischer G). Einfaches Maßnahmenkonzept Gefahrstoffe (EMKG) Version 2.2. Eine Handlungsanleitung zur Gefährdungsbeurteilung für Sicherheitsfachkräfte und andere fachkundige Personen. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund: Mai 2012. DL: www.baua.de/emkg
- BAuA/VCI (Hg.) Empfehlung für die Leitfaden für die Gefährdungsbeurteilung bei Tätigkeiten mit Nanomaterialien am Arbeitsplatz. Verband der Chemischen Industrie (VCI), Frankfurt/Main: Mai 2012. DL: www.vci.de/
- Berges M. Exposure during Production and Handling of Manufactured Nanomaterials. In: DFG (ed.). Nanomaterials 2013, S.25-30.
- Berges M, Ripperger S., Blome H. Vorläufige Empfehlungen zur Beurteilung von Arbeitsplätzen und zu Schutzmaßnahmen bei Vorliegen ultrafeiner Partikel. In: *Gefahrstoffe - Reinhalt. Luft* 72 (2012) Nr. 11/12, S. 458-462.
- BG BAU (Hg.). Nano-Liste: Nanoteilchen in Bau- und Reinigungsmitteln. Stand 28.8.2013. BG BAU, Berlin: August 2013. DL: www.bgbau.de/praev/fachinformationen/gefahrstoffe/nano
- BG RCI (Hg.). Sicheres Arbeiten in Laboratorien Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie, Heidelberg: Oktober 2011. DL: www.sicheres-arbeiten-im-labor.de/hauptmenue/hilfe_merkblaetter.htm
- BMU (Hg.). Verantwortlicher Umgang mit Nanotechnologien. Bericht und Empfehlungen der NanoKommission der deutschen Bundesregierung 2008. Bundesumweltministerium – NanoKommission, Berlin: November 2008. DL: www.bmu.de/nanokommission
- Boutou-Kempf O. Feasibility of an Epidemiological Surveillance System for Workers occupationally exposed to Engineered Nanomaterials. French Institute for Public Health Surveillance, Saint-Maurice: March 2012. DL: www.invs.sante.fr/en/Invs_en/Publications/
- Brouwer D. Harmonization of Measurement Strategies for Exposure to Manufactured Nano-Objects; Report of a Workshop. *Ann. Occup. Hyg.* 56, No. 1, 1–9, 2012. doi:10.1093/annhyg/mer099 DL: <http://annhyg.oxfordjournals.org/> [2012b]
- Brouwer DH. Control Banding Approaches for Nanomaterials. *Ann. Occup. Hyg.* 56, No. 5, 506-514, 2012. doi:10.1093/annhyg/mer039 DL: <http://annhyg.oxfordjournals.org/> [2012a]
- Brouwer DH. Exposure & Control Banding Models. Tools for risk prioritization and risk management. US-EU Workshop: Bridging nanoEHS Research Efforts, 10-11.3.2011. NNI, Arlington: März 2011. DL: www.nano.gov/sites/default/files/pub_resource/brouwer_final.pdf
- BSI (ed.). Nanotechnologies – Part 2: Guide to safe handling and disposal of manufactured nanomaterials. PD 6699-2:2007. British Standards Institution, London: Dezember 2007. DL: <http://shop.bsigroup.com/Browse-By-Subject/Nanotechnology/Guidance-for-nanotechnology/>
- CNCHE (ed.). Nanotoolkit. Working Safely with Engineered Nanomaterials in Academic Research Settings. California Nanosafety Consortium of Higher Education: April 2012. DL: www.cein.ucla.edu/new/p155.php
- Cornelissen R, Jongeneelen F, Van Broekhuizen P, Van Broekhuizen F. Guidance working safely with nanomaterials and –products, the guide for employers and employees. Version 1.0. FNV, VNO/NCW, CNV: Mai 2011. DL: www.industox.nl/Guidance%20on%20safe%20handling%20nanomats&products.pdf
- DFG (ed.). Nanomaterials. Deutsche Forschungsgemeinschaft, Wiley Online Library: April 2013. DOI: 10.1002/9783527673919.fmatter
- DGUV (Hg.). Nanomaterialien im Labor. Hilfestellungen für den Umgang. Deutsche gesetzliche Unfallversicherung, AK Laboratorien, Berlin: März 2012. DL: www.dguv.de/inhalt/praevention/themen_a_z/nano/
- DGUV (Hg.). FAQ's. Tätigkeiten mit Nanomaterialien. Arbeitshilfe für Betriebsärztinnen und Betriebsärzte. Deutsche gesetzliche Unfallversicherung, Berlin: September 2010. DL: www.dguv.de/inhalt/praevention/bes_praevgr/arbeitsmedizin/produkte/faq_nano/ [2010b]
- DGUV (Hg.). Nanomaterialien am Arbeitsplatz. Information. BGI/GUV-I 5149. Deutsche gesetzliche Unfallversicherung, Berlin: Mai 2010. DL: www.dguv.de [2010a]
- DLI (Hg.). Untersuchungen der Lackindustrie zur Freisetzung von Nanopartikeln aus Lackoberflächen. Deutsches Lack-Institut, Frankfurt/Main: 2009 und 2010. DL: www.lacke-und-farben.de/magazin/wissenschaft-technik/untersuchungen-der-lackindustrie-zur-freisetzung-von-nanopartikeln/

- ECHA (ed.). Guidance on information requirements and chemical safety assessment. Appendix R14-4 Recommendations for nanomaterials applicable to: Chapter R.14 Occupational exposure estimation. European Chemicals Agency, Helsinki: Dezember 2012. DL: http://echa.europa.eu/documents/10162/13643/appendix_to_r14_clean_en.pdf
- ECHA (ed.). Leitlinien zur Erstellung von Sicherheitsdatenblättern. Version 1.1. European Chemicals Agency, Helsinki: Dezember 2011. DL: http://echa.europa.eu/documents/10162/13643/sds_de.pdf
- EFBWW (ed.). Nano in furniture - state of the art 2012 Van Broekhuizen F). European Federation of Building and Woodworkers, Brüssel: Mai (2012). DL: www.efbww.org/pdfs/Nano.pdf
- EFSA (ed.). Guidance on the risk assessment of the application of nanoscience and nanotechnologies in the food and feed chain. Scientific Opinion May 2011, EFSA Scientific Committee. European Food Safety Authority, Luxembourg: Mai 2011. DL: <https://bookshop.europa.eu/en/home/>
- ETUI (ed.). Nanomaterials and workplace health & safety. What are the issues for workers? European Trade Union Institute, Brussels: 2013. DL: www.etui.org/Publications2/Guides
- EU (Hg.) Empfehlung der Kommission vom 18. Oktober 2011 zur Definition von Nanomaterialien (2011/696/EU). Brüssel: Amtsblatt der Europäischen Union L 275/38 vom 20.10.2011. (Berichtigung zu Agglomerat in Amtsblatt der Europäischen Union L 9/14 vom 15.10.2013)
- EU OSHA (ed.). Nanomaterials in maintenance work: occupational risks and prevention. e-fact 74. European Agency for Safety and Health at Work, Bilbao: Juni 2013. DL: <https://osha.europa.eu/en/publications/e-facts> [2013c]
- EU OSHA (ed.). Nanomaterials in the healthcare sector: Occupational risks and prevention. e-fact 73. European Agency for Safety and Health at Work, Bilbao: Juni 2013. DL: <https://osha.europa.eu/en/publications/e-facts> [2013b]
- EU OSHA (ed.). Tools for the management of nanomaterials in the workplace and prevention measures. e-fact 72. European Agency for Safety and Health at Work, Bilbao: Juni 2013. DL: <https://osha.europa.eu/en/publications/e-facts> [2013a]
- EU OSHA (ed.). Risk perception and risk communication with regard to nanomaterials in the workplace. Literature review. European Agency for Safety and Health at Work, Bilbao: Juni 2012. DL: https://osha.europa.eu/en/publications/literature_reviews/
- Golanski L, Guillot A, Tardif F. 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](http://www.nanosafe.org/home/liblocal/docs/Dissemination%20report/DR1_s.pdf)
- GoodNanoGuide. Internet-based collaboration platform, Basics, Material Guidelines, and OSH Expert Matrix sections. DL: <http://goodnanoguide.org/>
- Groso A, Petri-Fink A, Magrez A, Riediker M, Meyer Th. Management of nanomaterials safety in research Environment. In: *Particle and Fibre Toxicology* 2010, 7:40. DL: www.particleandfibretoxicology.com/content/7/1/40
- ICOH (ed.). Nanoparticles in the Working Environment. Inspiration for laboratories. 2nd ed. Industries Council of Occupational Health and Safety, Copenhagen: September 2011. DL: www.ibar.dk
- HA (Hg.). Sichere Verwendung von Nanomaterialien in der Lack- und Farbenbranche. Betriebsleitfaden. Schriftenreihe der Aktionslinie Hessen-Nanotech, Band 11. Hessen Agentur, Wiesbaden: September 2009. DL: www.hessen-nanotech.de/mm/Betriebsleitfaden_sichere_Verwendung_Nanomaterialien_Lack_Farbenbranche.pdf [2009b]
- HA (Hg.). NanoKommunikation. Leitfaden zur Kommunikation von Chancen und Risiken der Nanotechnologien für kleine und mittelständische Unternehmen in Hessen. Schriftenreihe der Aktionslinie Hessen-Nanotech, Band 4. Hessen Agentur, Wiesbaden: März 2009 (2.Aufl.). DL: www.hessen-nanotech.de/mm/Leitfaden-Kommunikation-Nanotech-Chancen-Risiken-KMU-final-Web.pdf [2009a]
- Hallock M, Greenley P, DiBernardis L, Kallin D. 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.unifra.br/editais/artigo-prova-ingresso.pdf
- Hansen StF, Baun A, Jensen KA. NanoRiskCat – A Conceptual Decision Support Tool for Nanomaterials. Danish Environmental Protection Agency, Copenhagen: November 2011. DL: [/www.mst.dk/Publikationer/Publications/2011/12/](http://www.mst.dk/Publikationer/Publications/2011/12/)
- Hartwig A. Summary and Conclusions. In: DFG (ed.). *Nanomaterials* 2013, S.91-94.
- Hendriks B, Van Broekhuizen P. Nanoreferenzwerte in den Niederlanden. In: *Gefahrstoffe - Reinhalt. Luft* 73 (2013) Nr. 10, S. 407-413.

- HSE (ed.). Using nanomaterials at work. Health and Safety Executive, London: March 2013. DL: www.hse.gov.uk/nanotechnology/index.htm
- Hull MS. Nanotechnology Environmental, Health and Safety: A Guide for Small Business. In: GoodNanoGuide website, upload 14. Juli 2010. DL: <http://goodnanoguide.org/tiki-index.php?page=Basics+of+Nanotechnology>
- IFA (Hg.). Messrechnerische Empfehlungen. Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, St.Augustin. DL: www.dguv.de/dguv/ifa/Fachinfos/Nanopartikel-am-Arbeitsplatz/Messtechnische-Empfehlungen/ (Zugriff 2013)
- IFA (Hg.). Maßstäbe zur Beurteilung der Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen. Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, St.Augustin. DL: <http://dguv.de/ifa/de/fac/nanopartikel/beurteilungsmassstaebe/> (Zugriff 2013)
- IFA. Ultrafeine Aerosole und Nanopartikel am Arbeitsplatz. Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, St.Augustin. Online-Informationen www.dguv.de/ifa/de/fac/nanopartikel/
- IG BCE (Hg.). (Wriedt H) Nanomaterialien – Herausforderung für den Arbeits- und Gesundheitsschutz. IG Bergbau, Chemie, Energie, Hannover: Februar 2011. DL: www.igbce.de/download/15044-15052/2/nanomaterialien.pdf
- INAIL (ed.) White Book Exposure to Engineered Nanomaterials and Occupational Health and Safety Effects. INAIL, Italian Workers' Compensation Authority, Department of Occupational Medicine, Milano: Oktober 2011. DL: www.ispesl.it/pubblicazioni/
- ISO (ed.). Nanomaterials - Preparation of material safety data sheet (MSDS). ISO/TS 13329:2012. International Organization for Standardization, Genf: ISO, 2012. [2012c]
- ISO (ed.). Nanotechnologies – Occupational risk management applied to engineered nanomaterials – Part 1: Principles and approaches. ISO/TS 12901-1:2012. International Organization for Standardization, Genf: 2012. DL: www.iso.org [2012b]
- ISO (ed.). Nanotechnologies – Occupational risk management applied to engineered nanomaterials – Part 2: Use of the control banding approach. ISO/TS 12901-2:2012. International Organization for Standardization, Genf: 2012. DL: www.iso.org [2012a]
- ISO (ed.). Nanotechnologies -- Terminology and definitions for nano-objects -- Nanoparticle, nanofibre and nanoplate. ISO/TS 27687:2008. International Organization for Standardization, Genf: ISO, 2008. DL: www.iso.org
- ITA (Hg.). Definition des Begriffs "Nanomaterial". Nano Trust-Dossier Nr.039. Institut f. Technikfolgenabschätzung, Wien: April 2013. DL: <http://hw.oeaw.ac.at/ita/nanotrust-dossiers>
- ITA (Hg.). Nano-Titandioxid – Teil 2: Gesundheitsgefährdungspotenziale. Nano Trust-Dossier Nr.034. Institut für Technikfolgenabschätzung, Wien: September 2012. DL: <http://hw.oeaw.ac.at/ita/nanotrust-dossiers> [2012c]
- ITA (Hg.). Nano im Baugewebe. Nano Trust-Dossier Nr.032. Institut für Technikfolgenabschätzung, Wien: Juni 2012. DL: <http://hw.oeaw.ac.at/ita/nanotrust-dossiers> [2012b]
- ITA (Hg.). Nanomaterialien und Aspekte des ArbeitnehmerInnenschutzes – Eine Übersicht. Nano Trust-Dossier Nr.029. Institut für Technikfolgenabschätzung, Wien: Jänner 2012. DL: <http://hw.oeaw.ac.at/ita/nanotrust-dossiers> [2012a]
- ITA (Hg.). Messung und Charakterisierung von Nanopartikeln in der Luft. Nano Trust-Dossier Nr.025. ITA, Wien: November 2011. DL: <http://hw.oeaw.ac.at/ita/nanotrust-dossiers>
- ITA (Hg.). Nano-Textilien. Nano Trust-Dossier Nr.015. Institut für Technikfolgenabschätzung, Wien: Jänner 2010. DL: <http://hw.oeaw.ac.at/ita/nanotrust-dossiers>
- ITA (Hg.). Nanopartikel und nanostrukturierte Materialien in der Lebensmittelindustrie. Nano Trust-Dossier Nr.004. Institut für Technikfolgenabschätzung, Wien: Mai 2008. DL: <http://hw.oeaw.ac.at/ita/nanotrust-dossiers>
- 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
- IUTA et al. (Hg.). Ein mehrstufiger Ansatz zur Expositionsermittlung und -bewertung nanoskaliger Aerosole, die aus synthetischen Nanomaterialien in die Luft am Arbeitsplatz freigesetzt werden. Arbeitsgruppe Mechanische Verfahrenstechnik, Institut für Verfahrenstechnik und Umwelttechnik, Technische Universität Dresden (TUD); Bereich Luftreinhaltung & Nachhaltige Nanotechnologie, Institut für Energie- und Umwelttechnik e.V. (IUTA); Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie (BG RCI); Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA); Institut für Arbeitsschutz der DGV (IFA); Verband der Chemischen Industrie e.V. (VCI), Februar 2012. DL: www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/Nanotechnologie/Links-Beispiele.html

- Kittel G, Elsigan G, Bettelheim P. Umgang mit Nano im Betrieb. Erfahrungen aus Fallstudien in Österreich. PPM forschung + beratung, Linz: Dezember 2009. DL: www.arbeitsinspektion.gv.at/AI/Arbeitsstoffe/nano/
- Kuempel ED, Geraci ChL, Schulte PA. Risk Assessment and Risk Management of Nanomaterials in the Workplace: Translating Research to Practice *Ann. Occup. Hyg.*, Vol. 56, No. 5, pp. 491–505, 2012. doi:10.1093/annhyg/mes040 DL: <http://annhyg.oxfordjournals.org/content/56/5/491.long>
- Kuhlbusch Th, Asbach Ch, Fissan H, Göhler D, Stintz M. Nanoparticle exposure at nanotechnology workplaces: A review. *Particle and Fibre Toxicology* 2011, 8:22. DL: www.particleandfibretoxicology.com/content/8/1/22
- Kulinowski K, Lippy B. Training Workers on Risks of Nanotechnology. Ntl. Inst. of Health (NIH) / Ntl. Inst. of Environm. Health Sciences (NIEHS), Februar (2911). DL: <http://tools.niehs.nih.gov/wetp/>
- Lang J, Meyer-Plath A. Charakterisierung von nanoskaligen Eigenschaften chemischer Stoffe als Grundlage für die Regulierung im Rahmen der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 (REACH). F2261, BAuA, Dortmund: 2012. DL: www.baua.de/de/Publikationen/Fachbeitraege/F2261.html
- Lee JH, Kuk WK, Kwon M, Lee JH, Lee KS, Yu IJ. Evaluation of information in nanomaterial safety data sheets and development of international standard for guidance on preparation of nanomaterial safety data sheets. In: *Nanotoxicology*, Vol. 7, No. 3: 338–345 (May 2013).
- Maynard AD. 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 M, Berger H, Buchter A, et al. Klinische und diagnostische Befunde bei Exposition gegenüber Nanopartikeln und neuen Materialien. In: *Zbl Arbeitsmed*, Bd. 60, S. 328–348, 2010.
- Mittmann-Frank M, Berger H, Buchter A. Arbeitsmedizinisches und präventivmedizinisches Untersuchungsprogramm bei Exposition mit Nanopartikeln und speziellen oder neuen Materialien. In: *Zbl Arbeitsmed*, Bd. 59, S. 336–343, 2009.
- MTES, SPF, FOD, MSZW (eds.) Working with nanomaterials. A seminar on policy, practice and the role of public authorities in dealing with uncertain risks. Report. Brussels, November 2011. DL: <https://osha.europa.eu/>
- NanoKommission der deutschen Bundesregierung (Hg.). Verantwortlicher Umgang mit Nanotechnologien. Bericht und Empfehlungen der NanoKommission der deutschen Bundesregierung 2011. BMU, Berlin: Dezember 2010. DL: www.bmu.de/service/publikationen/
- Nasterlack M, Oberlinner C, van Ravenzwaay B, Landsiedel R, Lang S (BASF). Nanotechnologie – eine Herausforderung für die Arbeitsmedizin. In: *Akt Dermatol* 37 (3): 81–86 (2011).
- Naumann BD. Control Banding in the Pharmaceutical Industry. AIOH, Oktober 2009. DL: www.aioh.org.au/downloads/documents/ControlBandingBNaumann.pdf
- NIOSH (ed.). Occupational Exposure to Carbon Nanotubes and Nanofibers. CDC/National Institute for Occupational Safety and Health: April 2013. DL: www.cdc.gov/niosh/docs/2013-145/
- NIOSH (ed.). General Safe Practices for Working with Engineered Nanomaterials in Research Laboratories. DHHS (NIOSH) Publication No. 2012–147. CDC/National Institute for Occupational Safety and Health: Mai 2012. DL: www.cdc.gov/niosh/docs/2012-147/
- NIOSH (ed.). Occupational Exposure to Titanium Dioxide. CDC/National Institute for Occupational Safety and Health: April 2011. DL: www.cdc.gov/niosh/docs/2011-160/pdfs/2011-160.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. CDC/National Institute for Occupational Safety and Health, Washington: 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. 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: CDC/ National Institute for Occupational Safety and Health: Februar 2009. DL: www.cdc.gov/niosh/docs/2009%2D116/pdfs/2009-116.pdf [2009a]
- NRC (ed.). Prudent Practices in the Laboratory: Handling and Management of Chemical Hazards, Updated Version. National Research Council of the National Academies, Washington: 2011. DL: www.nap.edu/catalog.php?record_id=12654
- OECD (ed.). Important Issues on Risk Assessment of Manufactured Nanomaterials. Series on the Safety of Manufactured Nanomaterials Nr 33. ENV/JM/MONO (2012)8. OECD, Paris: März 2012. DL: www.oecd.org/science/nanosafety/

- OECD (ed.). Regulated Nanomaterials: 2006-2009. Series on the Safety of Manufactured Nanomaterials Nr 30. ENV/JM/ MONO (2011)52. OECD, Paris: Dezember 2011. DL: www.oecd.org/science/nanosafety/
- OECD (ed.). Compilation of Nanomaterial Exposure Mitigation Guidelines relating to Laboratories. Series on the Safety of Manufactured Nanomaterials Nr 28. ENV/JM/ MONO (2010)47. OECD, Paris: Dezember 2010. DL: www.oecd.org/science/nanosafety/ [2010b]
- OECD (ed.). List of Manufactured Nanomaterials and List of Endpoints for Phase One of the Sponsorship Programme for the Testing of Manufactured Nanomaterials: Revision. Series on the Safety of Manufactured Nanomaterials Nr 27. ENV/JM/ MONO (2010)46. OECD, Paris: Dezember 2010. DL: www.oecd.org/science/nanosafety/ [2010a]
- 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. OECD, Paris: Juni 2009. DL: www.oecd.org/science/nanosafety/ [2009c]
- 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. OECD, Paris: Juni 2009. DL: www.oecd.org/science/nanosafety/ [2009b]
- 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. OECD, Paris: April 2009. DL: www.oecd.org/science/nanosafety/ [2009a]
- ÖNAP. Österreichischer Aktionsplan Nanotechnologie. Wien: Dezember 2009. DL: <http://nanoinformation.at/>
- Ostiguy C, Roberge B, Ménard L, Endo ChA. Best Practices Guide to Synthetic Nanoparticle Risk Management. Report R-599. IRSST, Québec: Jänner 2009. DL: www.irsst.qc.ca/files/documents/PubIRSST/R-599.pdf
- Packroff R. Chemikaliensicherheit: ein regulatorischer Rahmen für die Nanowelt. CLP, Produkt- und weitere Schutzregelungen Fachdialog "Risikomanagement in der Nanowelt". BMU, Berlin: Dezember 2011. DL: www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/Nanotechnologie/Aktivitaeten.html
- Paik SY, Zalk DM, Swuste P. 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>
- Pauluhn J. Multi-walled carbon nanotubes (Baytubes): Approach for derivation of occupational exposure limit. *Regul Toxicol Pharmacol.* 2010 Jun;57(1):78-89. doi: 10.1016/j.yrtph.2009.12.012. Epub 2010 Jan 13.
- Plitzko S, Dziurawitz N, Thim C, Asbach Ch, Kaminski H, Voetz M, Goetz U, Dahmann D. Messung der inhalativen Exposition gegenüber Nanomaterialien – Möglichkeiten und Grenzen. F2269, BAuA, Dortmund: 2012. DL: www.baua.de/de/Publikationen/Fachbeitraege/artikel41.html [2013b]
- Plitzko S, Thim C, Bachmann V. Zweite Fragebogenaktion zu Aspekten des Arbeitsschutzes bei der Herstellung und bei Tätigkeiten mit Nanomaterialien in Deutschland. In: *Gefahrstoffe - Reinhalt. Luft* 73 (2013) Nr. 1/2, S. 7-13. [2013a]
- RCH (Hg.). Charakterisierung von Nanomaterialien. Kurzinfor. Dortmund: REACH-CLP Helpdesk bei der BAuA, August (2012). DL: www.reach-clp-biozid-helpdesk.de/de/Publikationen/Kurzinfor/Kurzinfor.html
- Ramachandran G et al. A strategy for assessing workplace exposures to nanomaterials. *J Occup Environ Hyg.* 2011 Nov;8(11):673-85. DL: www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15459624.2011.623223
- Riediker M, Ostiguy C, Triolet J, Troisfontaines P, Vernez D, Bourdel G, Thieriet N, Cadène A, Daguet I. Development of a control banding tool adapted to nanomaterials. In: MTES et al., 2011, Annex 2.
- Riediker M, Schmid K, Danuser B. Nanoparticle Usage and Protection Measures in the Manufacturing Industry – A Representative Survey. In: *J Occup Environ Hyg* 7:224-232, 2010.
- RIVM (ed.). Tijdelijke nano-referentiewaarden. RIVM Rapport 601044001/2010. National Institute for Public Health and the Environment, Bilthoven: 2010. DL: www.rivm.nl [Englisches Abstract]
- Roller M. Krebserzeugende Wirkungen von Nanomaterialien am Arbeitsplatz. Arbeitspapier Nr. 221. Hans-Böckler-Stiftung, Düsseldorf: September 2010. DL: www.boeckler.de/pdf/p_arbp_221.pdf
- SCENIHR (ed.). Scientific Basis for the Definition of the Term "Nanomaterial". Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks, Brussels: December 2010. DL: http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenihr_o_032.pdf

- SCENIHR (ed.). Opinion on: Risk assessment of products of nanotechnologies. Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks, Brussels: January 2009. DL: http://ec.europa.eu/health/archive/ph_risk/committees/04_scenihr/docs/scenihr_o_023.pdf
- Schneider G. Grenzwerte für Nanopartikel – Hilfe oder Blendwerk? In: *die BG*, 11.10, S. 492-495 (2010). [2010b]
- Schneider G. Nanopartikel – und was nun? Hilfsmittel zur Gefährdungsbeurteilung beim Umgang mit Nanopartikeln. In: *Sicherheitsingenieur* 7, S.10-13, 2010. [2010a]
- Schulte P, Geraci Ch, Zumwalde R, Hoover M, Castranova V, Kuempel E, Murashov V, Vainio H, Savolainen K. Sharpening the focus on occupational safety and health in nanotechnology. In: *Scand J Work Environ Health*, Vol. 34, No 6, 2008. [2008b]
- Schulte P, Geraci Ch, Zumwalde R, Hoover M, Kuempel E. 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]
- SECO (Hg.). Sicherheitsdatenblatt (SDB): Leitfaden für synthetische Nanomaterialien. Version 2.0. Staatssekretariat für Wirtschaft, Zürich: April 2012. DL: www.infonano.ch
- SER (ed.). Provisional nano reference values for engineered nanomaterials. Advisory Report. Den Haag: SER (Sociaal-Economische Raad), März 2012. DL: www.ser.nl/en/publications.aspx
- SER (ed.). 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.aspx
- Som C, Nowack B, Wick P, Krug H. Nanomaterialien in Textilien: Umwelt-, Gesundheits- und Sicherheitsaspekte. Empa, TVS Textilverband Schweiz, St. Gallen: März 2010. DL: www.empa.ch/nanosafetextiles
- SRU (hg.). Vorsorgestrategien für Nanomaterialien. Sondergutachten. Sachverständigenrat für Umweltfragen, Berlin: September 2011. DL: www.umweltrat.de/
- Struwe J, Schindler E. Bedeutung von Nanomaterialien beim Recycling von Abfällen. Arbeitspapier 270. H.-Böckler-Stiftung, Düsseldorf, November 2012. DL: www.boeckler.de/pdf/p_arbp_270.pdf
- Suva (Hg.). Grenzwerte am Arbeitsplatz 2013. Suva, Luzern: Jänner 2013. DL: www.suva.ch
- Suva (Hg.). Factsheet Nanopartikel und ultrafeine Partikel am Arbeitsplatz. Vers. 9/12. Suva, Luzern: September 2012. DL: www.suva.ch/factsheet-nanopartikel-ultrafeine-partikel.pdf
- Suva (Hg.). Nanopartikel an Arbeitsplätzen. Suva, Luzern: September 2009. DL: www.suva.ch/nanopartikel_an_arbeitsplaetzen.pdf
- SW (ed.). Engineered Nanomaterials: Feasibility of establishing exposure standards and using control banding in Australia. Safe work Australia, Canberra: August 2010. DL: www.safeworkaustralia.gov.au/sites/swa/about/publications/pages/rr200911enevidenceoneffectiveness [2010c]
- SW (ed.). Work health and safety assessment tool for handling engineered nanomaterials. Safe work Australia, Canberra: August 2010. DL: www.safeworkaustralia.gov.au/sites/swa/about/publications/pages/at201008workhealthandsafetyassessmenttool [2010b]
- SW (ed.). An Evaluation of MSDS and Labels associated with the use of Engineered Nanomaterials. Safe Work Australia, Canberra: Juni 2010. DL: www.safeworkaustralia.gov.au/sites/swa/about/publications/pages/rp201006evaluationofmsdsandlabels [2010a]
- SW (ed.). Engineered Nanomaterials: Evidence on the Effectiveness of Workplace Controls to Prevent Exposure. Safe Work Australia, Canberra: Oktober 2009. DL: www.safeworkaustralia.gov.au/sites/swa/about/publications/pages/rr200911enevidenceoneffectiveness
- TNO, IMEC (eds.). Case study: Good Practice manufacturing and manipulation of manufactured nano objects. TNO, Zeist: March, 2012. DL: [Good practice manufacturing and manipulation of manufactured nano objects- Full Case Study](http://www.tno.nl/~/media/Files/Case%20studies/Good%20practice%20manufacturing%20and%20manipulation%20of%20manufactured%20nano%20objects%20-%20Full%20Case%20Study.pdf) [2012b]
- TNO (ed.). Case study: Risk assessment by a small company using Stoffenmanager Nano. TNO, Zeist: March, 2012. DL: https://osha.europa.eu/data/case-studies/copy_of_risk-assessment-by-a-small-company-using-stoffenmanager-nano/Nano-case-study_TNO_Stoffenmanager_Nano.pdf [2012a]
- TNO (ed.). Stoffenmanager Nano: Description of the conceptual control banding model. Report V9216. TNO, Zeist: January 2011. DL: http://nano.stoffenmanager.nl/public/factsheets/STMNano_%20Bevindingendocument.pdf

- TU Delft (ed.). Nanosafety Guidelines. Preventing exposure to Nanomaterials at the Faculty of Applied Sciences. Version 2. TU Delft, Delft: September 2010. DL: <https://intranet.tudelft.nl/index.php?id=59985&L=1>
- UIC (ed.). Guide de bonnes pratiques Nanomatériaux et HSE. Union des Industries Chimiques, Paris: März 2009. DL: www.uic.fr/Activites/Innovation/Nanomateriaux
- UK NanoSafety (ed.) Working Safely with Nanomaterials in Research & Development. Version 1.0. NanoSafety Partnership Group, August 2012. DL: www.safenano.org/UKNanosafetyPartnership.aspx
- US OSHA (ed.). Working Safely with Nanomaterials. Occupational Safety & Health Administration, US Dep. of Labor, Washington: Jänner 2013. DL: www.osha.gov/Publications/OSHA_FS-3634.pdf
- Van Broekhuizen P, Dorbeck-Jung B. Exposure Limit Values for Nanomaterials – Capacity and Willingness of users to Apply a Precautionary Approach. *J Occup Environ Hyg.* 2013;10(1):46-53. doi: 10.1080/15459624.2012.744253.
- Van Broekhuizen P, Veelen W van, Streekstra WH, Schulte P, Reijnders L. Exposure limits for nano-particles: report of an international workshop on nano reference values. *Ann Occup Hyg.* 2012 Jul;56(5):515-24. doi: 10.1093/annhyg/mes043. DL: <http://annhyg.oxfordjournals.org/>
- Van Broekhuizen P, Krop H, Reijnders L. Comparison of control banding tools to support safe working with nanomaterials and the role of process-generated nanoparticles. In: Van Broekhuizen 2012, S.129-152.
- Van Broekhuizen F. Nano in der Möbelindustrie. Ist-Stand 2012, Zusammenfassung. EFBWW, Brüssel: Mai 2012. DL: [www.efbww.org/default.asp?Issue=Nano in Furniture&Language=EN](http://www.efbww.org/default.asp?Issue=Nano%20in%20Furniture&Language=EN)
- Van Broekhuizen P. Nano matters: building blocks for a precautionary approach. Dissertation Universiteit van Amsterdam. Amsterdam: 2012. DL: <http://dare.uva.nl/record/433615>
- Van Broekhuizen P, Van Broekhuizen F, Cornelissen R, Reijnders L. Use of nanomaterials in the European construction industry and some occupational health aspects thereof. In: *J Nanopart Res* (2011) 13: 447-462. doi: 10.1007/s11051-010-0195-9
- Van Broekhuizen P, Van Broekhuizen F. Nano-products in the European Construction Industry. State of the Art 2009. IVAM, Amsterdam: 2009. DL: <https://osha.europa.eu/en/topics/nanomaterials>
- Van Duuren-Stuurman B, Vink SR, Verbist KJ, Heussen HG, Brouwer DH, Kroese DE, Van Niftrik MF, Tielemans E, Fransman W. Stoffenmanager Nano version 1.0: a web-based tool for risk prioritization of airborne manufactured nano objects. In: *Ann Occup Hyg.* 56(5):525-41, Jul 2012. DL: <http://annhyg.oxfordjournals.org/content/56/5/525.long>
- VCI (Hg.). Leitfaden zur sicheren Entsorgung von Abfällen, die Nanomaterialien enthalten. Verband der Chemischen Industrie, Frankfurt/Main: Februar 2012. DL: <https://www.vci.de/Themen/Chemikaliensicherheit/Nanomaterialien/Seiten/Sichere-Entsorgung-von-nanohaltigen-Abfaellen.aspx#>
- 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]
- WHSQ (ed.). Register of nanomaterial use and storage, and engineered nanoparticle generating processes. Workplace Health and Safety Queensland, Brisbane: Mai 2010. DL: www.deir.qld.gov.au/workplace/resources/pdfs/nanotechnology-register.pdf [2010b]
- WHSQ (ed.). Nanomaterial control banding tool worksheet. Workplace Health and Safety Queensland, Brisbane: April 2010. DL: www.deir.qld.gov.au/workplace/resources/pdfs/nanotechnology-control-banding-tool.pdf [2010a]
- Yokel RA, MacPhail RC. Engineered nanomaterials: exposures, hazards and risk prevention. In: *J Occup Med Toxicol.* 2011; 6: 7. DL: www.occup-med.com/content/6/1/7
- Zalk DM, Paik SY. Control Banding and Nanotechnology. In: *The Synergist*, 3(10), pp. 26–29, 2010. DL: www.aihasynergist-digital.org/aihasynergist/201003?pg=30#pg28
- Zalk DM, Paik SY, Swuste P. 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/