

TOOLS FÜR DAS MANAGEMENT VON NANOMATERIALIEN AM ARBEITSPLATZ UND PRÄVENTIONSMASSNAHMEN

Dieses E-Fact bietet eine Einführung in eine Reihe von Risikomanagement-Tools, die bei der Auswahl geeigneter Präventionsmaßnahmen am Arbeitsplatz helfen und Unternehmen als Unterstützung bei der Durchführung einer Gefährdungsbeurteilung durch Nanomaterialien am Arbeitsplatz dienen sollen.

1. Einleitung

1.1 Was sind Nanomaterialien?

Nanomaterialien sind Materialien, die Partikel enthalten, deren Maße in mindestens einer Dimension zwischen 1 und 100 nm liegen (¹); dies ist eine Größenordnung, die mit der von Atomen und Molekülen vergleichbar ist. Sie können auf natürliche Weise entstehen (etwa in Vulkanaschen) oder die unbeabsichtigte Folge menschlicher Aktivitäten sein (etwa in Dieselabgasen). Eine große Anzahl von Nanomaterialien wird aber absichtlich hergestellt und auf den Markt gebracht. Diese stehen im Mittelpunkt des vorliegenden E-Facts.

Nanomaterialien haben spezielle Eigenschaften, die sich größtenteils daraus ergeben, dass sie sehr klein sind und eine große Oberfläche besitzen, aber auch aufgrund ihrer Gestalt, ihrer chemischen Beschaffenheit, Oberflächenfunktionalisierung und Oberflächenbehandlung -, die bei zahlreichen Anwendungen viele Vorteile bieten. Wegen dieser Eigenschaften können Nanomaterialien jedoch auch ein breites Spektrum an toxischen Wirkungen hervorrufen, sogar wenn dieselben Materialien in einer gröberen Form nicht toxisch sind [2, 3].

1.2 Gefahren für Gesundheit und Sicherheit sowie Expositionswege

Unter normalen Umgebungsbedingungen können Nanomaterialien Agglomerate oder Aggregate bilden, deren Größe 100 nm übersteigt, wobei sie ihre nanospezifischen Eigenschaften ändern (aber nicht unbedingt verlieren). Aus schwach gebundenen Agglomeraten können diese Nanomaterialien jedoch wieder freigesetzt werden, unter bestimmten Bedingungen auch aus stärker gebundenen Aggregaten. Im Moment wird untersucht, ob dies nach Inhalation solcher Agglomerate oder Aggregate auch in Lungenflüssigkeit geschehen kann [2, 3]. Agglomerate und Aggregate, die Nanomaterialien enthalten, müssen deshalb bei der Gefährdungsbeurteilung von Arbeitsplätzen ebenfalls berücksichtigt werden.

Der interne Expositionsmechanismus nach dem Eindringen von Nanomaterialien in den Körper könnte u. a. Absorption, Verteilung und Verstoffwechselung umfassen. So wurden einige Nanomaterialien beispielsweise in Lunge, Leber, Nieren, Herz, Fortpflanzungsorganen, Föten, Gehirn, Milz, Skelett und Weichgeweben nachgewiesen [2]. Zur Bioakkumulation von Nanomaterialien und zu den Mechanismen ihrer Elimination aus Zellen und Organen gibt es noch ungeklärte Fragen. Ein weiteres Problem ist, dass

¹ In der Empfehlung der Europäischen Kommission [1] heißt es:

- Ein „Nanomaterial“ ist ein „natürliches, bei Prozessen anfallendes oder hergestelltes Material, das Partikel in ungebundenem Zustand, als Aggregat oder als Agglomerat enthält, und bei dem mindestens 50 % der Partikel in der Anzahlgrößenverteilung ein oder mehrere Außenmaße im Bereich von 1 nm bis 100 nm haben. Die Anzahlgrößenverteilung wird dargestellt als Anzahl der Objekte in einem gewissen Größenbereich geteilt durch die Gesamtzahl von Objekten“.
- „In besonderen Fällen kann der Schwellenwert von 50 % für die Anzahlgrößenverteilung durch einen Schwellenwert zwischen 1 % und 50 % ersetzt werden, wenn Umwelt-, Gesundheits-, Sicherheits- oder Wettbewerbserwägungen dies rechtfertigen“.
- „Abweichend von Nummer 2 sind Fullerene, Graphenflocken und einwandige Kohlenstoff-Nanoröhren mit einem oder mehreren Außenmaßen unter 1 nm als Nanomaterialien zu betrachten“.

ein an sich nicht toxisches Nanomaterial als trojanisches Pferd agieren kann, indem ein toxischeres Material daran bindet und so in den Körper, Organe oder Zellen eindringt [4].

Besonders gravierende Auswirkungen von Nanomaterialien betreffen die Lunge; Beispiele sind Entzündungen, Gewebeschäden, oxidativer Stress, chronische Toxizität, Zytotoxizität, Fibrose und die Bildung von Tumoren. Einige Nanomaterialien können auch das Herz-Kreislauf-System angreifen. Die potenziell gefährlichen Eigenschaften von hergestellten Nanomaterialien sind Gegenstand laufender Untersuchungen [2, 3].

Am Arbeitsplatz gibt es im Wesentlichen drei mögliche Wege der Exposition gegenüber Nanomaterialien [2, 4-8]:

- **Inhalation** ist der häufigste Expositionsweg für luftgetragene Nanopartikel am Arbeitsplatz. Inhalierbare Nanopartikel können sich je nach ihrer Form und Größe in den Atemwegen und der Lunge ablagern. Nach der Inhalation können sie das Lungenepithel passieren, in den Blutkreislauf gelangen und weitere Organe und Gewebe erreichen. Bei einigen inhalierten Nanomaterialien wurde außerdem nachgewiesen, dass sie über den Riechnerv in das Gehirn gelangen.
- Zu einer **Ingestion** kommt es durch die unabsichtliche Hand-zu-Mund-Übertragung von kontaminierten Oberflächen, durch den Verzehr von kontaminierten Lebensmitteln oder durch das Trinken von kontaminiertem Wasser. Zu einer Ingestion kann es auch nach der Inhalation von Nanomaterialien kommen, wenn inhaled Partikel, die durch die mukoziliäre Klärfunktion aus den Atemwegen entfernt wurden, verschluckt werden. Einige aufgenommene Nanomaterialien können das Darmepithel passieren, in den Blutkreislauf gelangen und so weitere Organe und Gewebe erreichen.
- Die **dermale Penetration** wird noch untersucht [6, 8]. Unverletzte Haut scheint eine gute Barriere gegen die Aufnahme von Nanomaterialien zu bilden [9]. Verletzte Haut ist im Gegensatz dazu anscheinend weniger wirksam, doch ist der Grad der Aufnahme wahrscheinlich geringer als bei der Inhalation [9]. Dessen ungeachtet sollte auch der dermale Kontakt vermieden und kontrolliert werden.

Das Expositionspotenzial hängt daher hauptsächlich von der Wahrscheinlichkeit ab, dass Nanomaterialien in die Luft gelangen, wobei das Risikopotenzial von Pulvern oder Sprays größer ist als das von Suspensionen in Flüssigkeiten, Pasten, granulären Materialien oder Verbundstoffen. Nanomaterialien in Flüssigkeiten stellen ihrerseits ein größeres Risikopotenzial dar als gebundene oder fixierte Nanostrukturen, wie etwa solche in einer Polymermatrix [10].

Nicht zuletzt ergeben sich Sicherheitsgefährdungen auch aus einer großen Explosionsgefahr, starker Entflammbarkeit und dem katalytischen Potenzial einiger Nanopulver (Nanomaterialien in Pulverform); letzteres gilt insbesondere für Metall-Nanopulver.

1.3 Management der Risiken durch Nanomaterialien am Arbeitsplatz

Gemäß der „Rahmen“-Richtlinie 89/391/EWG [11] sind Arbeitgeber verpflichtet, für Sicherheit und Gesundheitsschutz der Arbeitnehmer in Bezug auf alle Aspekte, die die Arbeit betreffen, zu sorgen, indem sie regelmäßige Gefährdungsbeurteilungen durchführen. Dies gilt auch für die potenziellen Risiken von Nanomaterialien. Zudem enthält die Richtlinie 98/24/EG über chemische Arbeitsstoffe bei der Arbeit [12] strengere Bestimmungen im Hinblick auf das Management von Gefahren durch Arbeitsstoffe bei der Arbeit – hierzu zählt insbesondere die Hierarchie der Präventionsmaßnahmen, bei denen Vermeidung oder Ersetzung an oberster Stelle stehen sollte. Diese Bestimmungen gelten auch für Nanomaterialien, da diese unter die Begriffsbestimmung von „Stoffen“ fallen. Ist ein Nanomaterial beziehungsweise das Makromaterial derselben Zusammensetzung karzinogen oder mutagen, ist außerdem die Richtlinie 2004/37/EG über Karzinogene und Mutagene bei der Arbeit [13] zu beachten. In jedem Fall ist das einzelstaatliche Recht zu prüfen, das strengere Bestimmungen enthalten kann.

Da Nanomaterialien als Stoffe gelten, sind die REACH-Verordnung (Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe) [14] und die CLP-Verordnung (Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen) [15] gleichermaßen von Bedeutung.

Trotz der laufenden Forschungen entwickelt sich das Gebiet der Nanotechnologie schneller als das Wissen über die Gesundheits- und Sicherheitsaspekte in Bezug auf Nanomaterialien. Es gibt immer noch Wissenslücken bezüglich der Auswirkungen von Nanomaterialien auf die Gesundheit und

Sicherheit von Arbeitnehmern und zudem bezüglich Methoden der Gefährdungsbeurteilung.

Die Gefährdungsbeurteilung von Nanomaterialien in ihrem Arbeitsumfeld kann für Arbeitgeber aufgrund von Schwierigkeiten in den folgenden Bereichen eine Herausforderung darstellen:

1. geringe Kenntnis der gefährlichen Eigenschaften von Nanomaterialien,
2. keine Konsens darüber, welche standardisierten Verfahren und Vorrichtungen zur Messung der Expositionshöhen und zur Ermittlung von Nanomaterialien und Emissionsquellen zu verwenden sind,
3. nur eingeschränkte Informationen über die Wirksamkeit von Risikominderungsmaßnahmen (Filter, Handschuhe usw.) und
4. fehlende Informationen zum Vorhandensein von Nanomaterialien, insbesondere in Gemischen oder Erzeugnissen und weiter unten in der Nutzerkette, in der Nanomaterialien oder Nanomaterialien enthaltende Produkte verwendet oder verarbeitet werden.

Die Sicherheitsdatenblätter (Safety Data Sheets, SDS), die eine wichtige Informationsquelle zur Vermeidung von Risiken durch Gefahrstoffe am Arbeitsplatz darstellen, enthalten momentan in der Regel nur wenige oder gar keine Informationen zum Vorhandensein von Nanomaterialien und deren Eigenschaften, zu den Risiken für Arbeitnehmer und zu Präventionsmaßnahmen [17–19]. Es wird deshalb Organisationen geraten, direkt mit den Zulieferern in Kontakt zu treten und um zusätzliche Informationen zu bitten. Außerdem sollten Änderungen in Anhang II der REACH-Verordnung [20], dem rechtlichen Rahmen für die Sicherheitsdatenblätter, sowie die Leitlinien der Europäischen Chemikalienagentur (ECHA) zur Erstellung von Sicherheitsdatenblättern [21] mit weiteren Hinweisen, wie die Eigenschaften von Nanomaterialien zu behandeln sind, dazu führen, dass sich die Informationsqualität der Sicherheitsdatenblätter verbessert.

Leitlinien der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) [22] bieten Hilfen bei der Identifizierung möglicher Emissionsquellen von mit der Luft übertragenen Nanomaterialien bei verschiedenen Prozessarten und Arbeitspraktiken.

Es zeichnet sich ab, dass auf die folgenden an Arbeitsplätzen ausgeübten Aktivitäten und Praktiken, bei denen ein Umgang mit Nanomaterialien erfolgt, bei der Beurteilung der Exposition besondere Aufmerksamkeit gerichtet werden muss – sie sollten daher beim Risikomanagement vordringlich behandelt werden:

- Aktivitäten, bei denen Nanomaterialien mit den folgenden Eigenschaften verwendet werden:
 - Nanomaterialien mit bekannten spezifischen toxischen Wirkungen (z. B. Arsen und Cadmium sowie deren Verbindungen oder kristalline Kieselsäure) bzw. bei denen bekannt ist, dass das entsprechende größere Material spezifische toxische Wirkungen aufweist,
 - bio-persistente Nanomaterialien, die sowohl nicht faserförmig (wie Titandioxid, Aluminiumoxid) als auch faserförmig sein können (beispielsweise Kohlenstoff-Nanoröhren), und
 - lösliche Substanzen, bei denen eine Gesundheitsgefährdung festgestellt bzw. bei denen eine fehlende Gesundheitsgefährdung nicht bewiesen ist.
- Jede beliebige Situation, in der Nanomaterialien in die Luft gelangen können, beispielsweise Einladen und Ausladen von Nanomaterialien oder von Chemikalien, die Nanomaterialien enthalten, in/aus Mahl- oder Mischaustrüstungsgegenständen, Befüllen von Behältern mit Chemikalien, Probenentnahme aus hergestellten Chemikalien und Öffnen von Systemen für die Produktentnahme.
- Reinigung und Wartung von Anlagen (einschließlich geschlossener Produktionssysteme) und von Vorrichtungen zur Risikominderung, wie Filtern in Abluftsystemen.
- Forschung an und Entwicklung von Nanomaterialien enthaltenden Stoffen, beispielsweise Verbundmaterialien.
- Umgang mit Pulvern und Versprühen von Gemischen, die Nanomaterialien enthalten. Bei Pulvern besteht höchstwahrscheinlich eine erhöhte Gefahr von Explosion, Selbstentzündung und elektrostatischer Aufladung, woraus sich Sicherheitsbedenken ergeben. Außerdem können sie Staubwolken bilden, wodurch sich die Gefahr einer Exposition durch Inhalation ergibt.

- Mechanische oder thermische Behandlung von Gegenständen, die Nanomaterialien enthalten, die infolge dieser Prozesse freigesetzt werden könnten (dazu gehören z. B. Laserbehandlung, Schleifen, Schneiden).
- Behandlung der Abfälle von Nanomaterialien enthaltenden Gegenständen.

Im Prinzip können alle Aktivitäten, bei denen Nanomaterialien ins Spiel kommen und die außerhalb einer geschlossenen Anlage durchgeführt werden, als gefährlich betrachtet werden, weil die Gefahr einer Exposition der Arbeitnehmer besteht. Sogar bei geschlossenen Anlagen sind jedoch Expositionen möglich – dies gilt im Fall eines Lecks oder bei Reinigungs- und Wartungsarbeiten und sollte bei der Gefährdungsbeurteilung und der Umsetzung von Präventionsmaßnahmen berücksichtigt werden.

Wichtig ist dabei, dass bei Risikomanagementprozessen nicht nur Nanomaterialien mit bekannten Wirkungen auf die Gesundheit und Sicherheit eine Priorität eingeräumt wird, sondern auch solchen Nanomaterialien, bei denen Informationen über die Gefährdung und Exposition entweder vollständig fehlen oder unvollständig bzw. nicht gesichert sind. In diesem Fall sollte gemäß dem Vorsorgeprinzip eine Exposition gegenüber diesen Nanomaterialien am Arbeitsplatz vermieden werden.

Wegen der oben genannten Unsicherheiten sind herkömmliche Gefährdungsbeurteilungsansätze möglicherweise nicht immer auf Nanomaterialien anwendbar. Aus diesem Grund kann als alternative Methode das Control Banding eingesetzt werden, ein vereinfachtes Verfahren zur Beurteilung der von Aktivitäten sowie den daran beteiligten Stoffen ausgehenden Gefahren. Für diese wird dann je nach der potenziellen Gefahr und dem Expositionspotenzial eine Abstufung von Schutzmaßnahmen vorgenommen.

In diesem E-Fact wird eine Reihe solcher Risikomanagement-Tools eingeführt, die auf Control Banding basieren und bei der Auswahl geeigneter Präventionsmaßnahmen am Arbeitsplatz helfen sollen. Im Rahmen der oben genannten Einschränkungen können sie außerdem Unternehmen mit Verfahren zur Gefährdungsbeurteilung und Leitlinien unterstützen.

2 Anleitungen und Tools für das Management von Nanomaterialien am Arbeitsplatz

Eine Reihe hilfreicher und informativer Anleitungen und Tools wurde entwickelt, um die eingangs erwähnten Einschränkungen zu bewältigen und die Beurteilung der Gefährdung durch Nanomaterialien am Arbeitsplatz sowie deren Management zu erleichtern.

Wie bei jeder anderen Gefährdungsbeurteilung, so sind auch hier die benötigte Komplexität und Detailliertheit abhängig von dem beteiligten Gefahrenstoff und der durchgeführten Aktivität; deshalb ist zu empfehlen, dass in komplexeren Situationen bei der Anwendung dieser Tools Hilfe von Experten gesucht wird.

Die Europäische Kommission stellt jedoch nicht nur die Anleitungen und Tools zur Verfügung, die im Folgenden beschrieben werden. Zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Dokuments wurde Risk & Policy Analysts Ltd (<http://www.rpaltld.co.uk/>) von der Kommission damit beauftragt, zusammen mit IVAM UvA BV (<http://www.ivam.uva.nl>) praktische Leitlinien zum sicheren Arbeiten mit technisch hergestellten Nanomaterialien und Nanotechnologie am Arbeitsplatz auszuarbeiten; dies erfolgte im Rahmen einer größer angelegten Studie, die die potenziellen Auswirkungen von Nanomaterialien und Nanotechnologie am Arbeitsplatz zum Thema hatte und den Umfang bzw. die Notwendigkeit eventueller Änderungen der entsprechenden Gesetzgebung der EU zur Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit untersuchen sollte. (Nähere Informationen hierzu erhalten Sie unter:

<http://ec.europa.eu/social/main.jsp?catId=148&langId=en&callId=311&furtherCalls=yes>).

2.1 Web-basierte interaktive Tools für das Control Banding

Bei Control Banding handelt es sich um einen qualitativen oder semi-quantitativen Ansatz für die Gefährdungsbeurteilung und das Risikomanagement, der einer Erhöhung der Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit (occupational safety and health, OSH) dient. Er soll die Exposition der Arbeitnehmer gegenüber gefährlichen Chemikalien und anderen Risikofaktoren am Arbeitsplatz minimieren. Dies gilt insbesondere für Arbeitsbedingungen, bei denen nur eingeschränkte Informationen zu Gefahren, Expositionshöhen und Risiken zur Verfügung stehen. Mit den beschriebenen Tools sollen Unsicherheiten bezüglich der Gefahren in einer bestimmten Arbeitssituation oder bei einer bestimmten

Aktivität bewältigt werden, indem sie eine pragmatische und vorbeugende Abschätzung des potenziell herrschenden Risikos ermöglichen. Anders ausgedrückt, wird das Vorsorgeprinzip angewendet, wenn kein voller Datensatz zur Verfügung steht.

Sie sind als Hilfsmittel für Organisationen gedacht, da sie einen leicht verständlichen, praktikablen Ansatz zur Gefährdungsbeurteilung von Nanomaterialien in deren Arbeitsumgebungen, zur Auswahl der angemessenen Präventionsmaßnahmen und zur Erhöhung der Wachsamkeit in Bezug auf die Risiken in Verbindung mit der Verwendung von und dem Umgang mit Nanomaterialien bieten. Deshalb sind sie möglicherweise auch besonders nützlich für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) und insbesondere für Kleinstunternehmen, bei denen die Schwierigkeit hinzukommt, dass sie auf weniger Ressourcen zurückgreifen können oder über keine eigenen Experten auf diesem Gebiet verfügen.

Die meisten dieser Tools werden ständig weiterentwickelt, so dass sie stets auf dem neuesten Stand im Hinblick auf die Gesundheits- und Sicherheitsaspekte von Nanomaterialien, Verfahren zur Messung von Expositionshöhen und Präventionsmaßnahmen sind. Da jedoch im Moment noch nicht genügend Informationen auf diesem Gebiet verfügbar sind, beruht das Control Banding auf einer Reihe von Gefahren- und Expositionsannahmen, wodurch sich für die Verwendung dieses Ansatzes gewisse Einschränkungen ergeben.

2.1.1 Stoffenmanager Nano (in Niederländisch, Englisch und Finnisch)

Verfügbar unter: <http://nano.stoffenmanager.nl/Default.aspx>

Das Control Banding-Tool Stoffenmanager Nano Module 1.0 (Version 1.0) wurde vom niederländischen Ministerium für Soziale Angelegenheiten und Beschäftigung gemeinsam mit TNO (der niederländischen Organisation für angewandte wissenschaftliche Forschung) und Arbo Unie entwickelt. Es dient der qualitativen Untersuchung und dem Management von Gefahren am Arbeitsplatz aufgrund einer Exposition gegenüber Nanomaterialien durch Inhalation [23]. Stoffenmanager Nano soll Arbeitgebern und Arbeitnehmern dabei helfen, die beim Umgang mit Nanomaterialien entstehenden Expositionssituationen nach ihrer Priorität einzuordnen und angemessene Maßnahmen zur Beherrschung der Risiken auszuwählen. Es handelt sich um ein webbasiertes und gebührenfreies Tool (eine Registrierung ist erforderlich).

Das Tool eignet sich für alle Arten unlöslicher hergestellter Nanomaterialien, zum Beispiel für Kohlenstoff-, unlösliche Metall- und Metalloxid-Nanopartikel sowie persistente Nanofasern. Im Falle löslicher Nanopartikel wird der Nutzer zu dem generischen Stoffenmanager-Tool für das Management der Risiken am Arbeitsplatz in Verbindung mit gefährlichen Stoffen zurückverwiesen. Stoffenmanager Nano kann eingesetzt werden, wenn das primäre Nanopartikel eine Größe unter 100 nm besitzt oder wenn die spezifische Oberfläche des Nanopulvers mehr als 60 m²/g beträgt. Das Tool ist sowohl auf einzelne Partikel als auch auf Agglomerate oder Aggregate anwendbar. Die Ermittlung der Gefahren- und Expositionseinstufung (beziehungsweise der Gefahren- und Expositionsbander) wird anhand verschiedener Attribute vorgenommen, denen jeweils eine Bewertungszahl zugeordnet wird. Diese Bewertungszahlen führen zu einer bestimmten Gefahreneinstufung (niedrig, mittel, hoch, sehr hoch oder extrem) und Expositionseinstufung (niedrig, mittel, hoch oder sehr hoch). Die Kombination dieser Einstufungen oder Bänder bestimmt dann die Gesamt-Risikopriorität (niedrig, mittel oder hoch).

Die Attribute, die man zur Einteilung von Nanomaterialien in die *Gefahrenbänder* verwendet, hängen mit den Eigenschaften und toxikologischen Daten der Nanomaterialien sowie mit den Eigenschaften desselben Materials in seiner gröberen Form zusammen. Unlösliche Nanofasern werden generell in das Band mit der höchsten Gefahrenstufe klassifiziert, weil sie möglicherweise nach Inhalation dieselben Wirkungen wie Asbest ausüben.

Die potenzielle *Exposition* wird stufenweise beurteilt, wobei man verschiedene Aspekte von der Quelle des Nanomaterials bis hin zur Atemzone der Arbeitnehmer berücksichtigt. Die folgenden Faktoren werden bei der Ermittlung der Expositionsbander berücksichtigt:

- die Möglichkeit, dass das Nanomaterial in die Atemluft gelangt (Staubigkeit),
- der Prozess der Handhabung von Nanomaterialien,
- bereits vorgenommene Kontrollmaßnahmen,
- Verdünnungs-/Dispersionspotenzial des Nanomaterials,
- Abtrennung des Arbeitnehmers,

- Oberflächenkontamination,
- bereits verwendete Atemschutzausrüstung,
- Häufigkeit des Arbeitsschritts und
- Dauer des Arbeitsschritts.

Durch Kombinieren der aus der Expositions- und der Gefahreinstufung erhaltenen Ergebnisse bildet das Stoffenmanager Nano-Tool schließlich drei Risiko- (oder Prioritäts-)bänder. Ein Plan zur Risikominderung kann dann entwickelt werden. Stoffenmanager Nano stellt für jedes Risikoband eine Liste mit möglichen Kontrollmaßnahmen bereit, die nach ihrer Umsetzung die mögliche Exposition verringern und damit das Risiko senken. Anschließend wird die Gefährdungsbeurteilung noch einmal automatisch durchgeführt, so dass man die Wirksamkeit der gewählten Kontrollmaßnahmen überprüfen kann.

Mit Stoffenmanager Nano erhalten Sie die Möglichkeit, einen Bericht mit den Ergebnissen der Gefährdungsbeurteilung zu erstellen und auszudrucken. Der Nutzer kann außerdem eine Liste/Sammlung der am Arbeitsplatz/im Unternehmen verwendeten Nanoprodukte erstellen und Lern-Factsheets mit Beispielen für die gute Praxis sowie PIMEX-Filme ⁽²⁾ herunterladen.

2.1.2 CB Nanotool 2.0 (in Englisch)

Verfügbar unter: <http://controlbanding.net/Services.html>

Bei CB Nanotool 2.0 handelt es sich um ein interaktives Instrumentarium für Nanomaterialien, das auf Control Banding basiert. Es wurde in den USA im Lawrence Livermore National Laboratory für die Durchführung einer Gefährdungsbeurteilung und zum Schutz der Forscher in diesem Labor entwickelt [24-26].

Das Tool setzt eine 4x4-Risikomatrix zur Ermittlung der Gefahrenstufe ein. Dabei werden Parameter bezüglich des Schweregrads auf der einen Achse und Parameter bezüglich der Wahrscheinlichkeit auf der anderen aufgetragen. Eine Bewertungszahl des Schweregrads wird unter Verwendung der folgenden Faktoren berechnet:

- Eigenschaften des Nanomaterials:
 - Oberflächenchemie,
 - Form des Partikels,
 - Durchmesser des Partikels,
 - Löslichkeit,
 - krebserregende, erbgutverändernde, fortpflanzungsgefährdende (engl.: carcinogenic, mutagenic and reprotoxic, CRM) Eigenschaften (drei Faktoren),
 - dermale Toxizität und
 - asthmaauslösende Eigenschaften (asthmagen).
- Eigenschaften des Ausgangsmaterials:
 - Toxizität auf der Basis der Arbeitsplatzgrenzwerte des Ausgangsmaterials,
 - CRM-Eigenschaften (drei Faktoren),
 - potenzielle dermale Gefährdung und
 - asthmaauslösende Eigenschaften (asthmagen).

Die Bewertungszahl hinsichtlich der Wahrscheinlichkeit basiert auf den folgenden Faktoren, die das Ausmaß der potenziellen Exposition beschreiben:

² In den PIMEX (Picture Mixed Exposure)-Filmen werden die Auswirkungen von Kontrollmaßnahmen gezeigt. Das niederländische Ministerium für Soziale Angelegenheiten und Beschäftigung hat diese Filme als Teil seines Programms zur Verbesserung der Gesundheit und Sicherheit in Bezug auf Stoffe entwickelt.

- Menge an Nanomaterial, die während des Arbeitsschritts gehandhabt wird,
- Ausmaß der Staubigkeit oder Vernebelung des Materials,
- Anzahl der Arbeitnehmer mit vergleichbarer Exposition,
- Häufigkeit des Arbeitsschritts und
- Dauer des Arbeitsschritts.

Das Tool liefert Hinweise dazu, wie jeder einzelne dieser Parameter zu bewerten ist, und ordnet jedem eine maximale Bewertungszahl zu.

Unsicherheiten in Bezug auf das Gesundheitsrisiko der Nanomaterialien werden von dem Tool gelöst, indem die Informationen zum Nanomaterial und zu demselben Material in einem größeren Zustand kombiniert werden. Falls Informationen zu einem spezifischen Parameter fehlen, wird von dem Tool ein Wert von 75% der maximalen Bewertungszahl, die diesem Parameter zugeordnet wurde, als Wert für diesen Parameter eingegeben. Dadurch soll ein Gleichgewicht zwischen dem Vorsorgeprinzip (konservativer Ansatz) und einer wissenschaftlich vernünftigen Abschätzung geschaffen werden, so dass die Arbeitnehmer trotz noch andauernder Forschungen bereits geschützt werden können.

Die Gefahrenstufe des Arbeitsschritts mit dem Nanomaterial wird ermittelt, indem die Bewertungszahlen für den Schweregrad und die Wahrscheinlichkeit kombiniert werden. Als Ergebnis des Verfahrens wird eine von vier Gefahrenstufen erhalten, die jeweils einem entsprechenden Kontrollband zugeordnet sind:

- Installation von Klima- und Lüftungsanlagen (niedrigste Gefahrenstufe),
- Abzug oder örtliche Absauganlage,
- Einhausung und
- Expertenrat empfohlen (höchste Gefahrenstufe).

2.1.3 NanoSafer (in Dänisch)

Verfügbar unter: <http://nanosafer.i-bar.dk/>

Ein aus Dänemark stammendes Control Banding-Tool für das Management von Nanomaterialien am Arbeitsplatz ist NanoSafer [27], das jedoch ausschließlich für Nanomaterialien in Pulverform eingesetzt werden kann. NanoSafer wurde vom Dänischen Technologischen Institut und vom Nationalen Forschungszentrum für die Arbeitsumgebung entwickelt. Dieses webbasierte und gebührenfreie Tool (eine Registrierung ist allerdings erforderlich) ist nur auf Dänisch erhältlich.

In einem ersten Schritt identifiziert man das Nanomaterial sowie dessen physikalische Eigenschaften (Partikelgröße, -dichte und -oberfläche), seine Arbeitsplatzgrenzwerte (falls verfügbar), seinen Staubigkeitsindex (bei einatembarem oder mineralischem Staub) und ermittelt toxikologische Informationen aus dem Sicherheitsdatenblatt.

In einem zweiten Schritt werden der Prozess (Umgang mit Pulver oder unbeabsichtigte Freisetzung, beispielsweise Verschütten), die verwendete Menge des Nanomaterials, die Verwendungshäufigkeit und die Arbeitsumgebung beschrieben.

Das Verfahren kombiniert die Daten zum Material (wodurch sich die Toxizitätsstufe beurteilen lässt) mit den Daten zum Prozess (wodurch sich die Expositionsstufe beurteilen lässt). Die Gefahrenstufe wird für eine akute Exposition (15 Minuten) sowie für eine 8-stündige Exposition ermittelt. Dies erfolgt für Arbeitnehmer, die sich nahe bei beziehungsweise weiter entfernt von der Quelle der Emission befinden (Nah- bzw. Fernfeld-Exposition). Das Tool empfiehlt überdies geeignete Kontrollmaßnahmen für jede Gefahrenstufe und beinhaltet auch Lernvideos zu diesen Maßnahmen.

2.2 Weitere Control Banding-Tools für Nanomaterialien

2.2.1 ANSES-Tool für das Control Banding in Bezug auf Nanomaterialien (in Französisch und Englisch)

Verfügbar unter: <http://www.afsset.fr/index.php?pageid=2820&parentid=805>

Dieses Control Banding-Tool für Nanomaterialien wurde von Fachleuten der französischen Behörde für Lebensmittelsicherheit, Umweltschutz und Arbeitsschutz (Agence nationale de sécurité sanitaire, de l'alimentation, de l'environnement et du travail, ANSES) gemeinsam mit einem Expertengremium des Nationalen Instituts für Forschung und Sicherheit (INRS, Frankreich), des Institut de Recherche Robert Sauvé en Santé et en Sécurité du Travail (IRSST, Kanada), des Wissenschaftsinstituts Öffentliche Gesundheit (ISP-WIV, Belgien) und des Instituts für Arbeit und Gesundheit (IST, Schweiz) entwickelt. ANSES ist nur als Papierversion erhältlich [28].

Dieses Tool lässt sich in allen Arbeitsumgebungen einsetzen, in denen Nanomaterialien hergestellt oder verwendet werden, zum Beispiel in industriellen Werkstätten, Forschungslaboratorien und Pilotanlagen.

Die Autoren weisen darauf hin, dass man diese Verfahren in ein Gesamtsystem für das OSH-Management integrieren muss, und dies ist tatsächlich auch bei allen anderen Tools der Fall, die in diesem E-Fact beschrieben werden. Beim Einsatz von ANSES sind jedoch einige Einschränkungen zu beachten:

- Man sollte die Methode nur auf den Routineumgang mit Materialien am Arbeitsplatz, der als ein Teil der üblichen Arbeitsschritte in dem Unternehmen erfolgt, anwenden.
- Die Nanomaterialien sollten weder zu stark verdünnt sein noch in einem zu großen Volumen vorliegen.
- Die Methode lässt sich nur zur Ermittlung der Risiken für die Gesundheit – nicht der Sicherheitsrisiken (d. h. nicht zur Ermittlung der Brand-/Explosionsgefahr) oder der Gefahr für die Umwelt einsetzen.

Es ist außerdem empfehlenswert, dass der Anwender eine entsprechende Qualifikation auf dem Gebiet der Prävention chemischer Gefahren (z. B. Chemie und Toxikologie) sowie auf dem Gebiet der Nanowissenschaft und Nanotechnologie besitzt. Schließlich wird darauf hingewiesen, dass die Anwendung der Methode ohne Fachkenntnisse, kritische Vorausschau oder Unterstützung zu falschen Annahmen führen kann, was bedeutet, dass ungeeignete Präventionsmaßnahmen ergriffen werden, wodurch sich das Expositionsrisiko erhöht.

Zu Beginn der Zuordnung der Gefahrenbänder müssen erst einige einleitende Fragen beantwortet werden:

- Enthält das bei dem Arbeitsprozess eingesetzte Produkt oder Material Nanomaterialien?
- Ist das Nanomaterial oder das Nanomaterialien enthaltende Produkt als Gefahrenstoff eingestuft?
- Enthält das Produkt bio-persistente faserförmige Nanomaterialien.

Wenn das fragliche Nanomaterial oder Produkt gemäß der Chemikalien- und Kennzeichnungsgesetzgebung eingestuft ist, sollten die Informationen in Bezug auf diese Einstufung für die Zuordnung des Gefahrenbandes genutzt werden. Sind die toxikologischen Informationen unvollständig oder nicht vorhanden, wird eine vorläufige Zuordnung eines Gefahrenbandes auf der Grundlage der Informationen vorgenommen, die für das Ausgangsmaterial oder ein analoges Material (d. h. einen Stoff mit ähnlicher Zusammensetzung und/oder Kristallphase und aus derselben chemischen Kategorie; mit ähnlichen dokumentierten physikalisch-chemischen Eigenschaften wie der fragliche Stoff) verfügbar sind. Hat man in einigen Fällen Toxizitätsinformationen zu einem Ausgangsmaterial oder einem analogen Material verwendet, dann stellt das Tool inkrementelle Faktoren dar, die sich auf die Unsicherheit in Zusammenhang mit der durchgeführten Analogie beziehen. Wenn es das Schüttgut gibt, hat es Vorrang vor dem analogen Material. Wenn es schließlich mehrere Möglichkeiten für dasselbe Schüttgut (analoge Material) gibt, sollte man unter diesen die am stärksten toxischen berücksichtigen.

Das Tool lässt sich nicht einsetzen, wenn die Toxizität des Nanomaterials unbekannt ist oder keinerlei Ausgangsmaterial oder analogem Material zugeordnet werden kann.

Für die Zuordnung von Expositionsbändern zu Arbeitsschritten mit einem Nanomaterial muss man das Emissionspotenzial des Arbeitsschrittes abschätzen. Ein wichtiger Parameter für diese Abschätzung ist die physikalische Form des verarbeiteten Nanomaterials. Es werden vier physikalische Kategorien betrachtet: fest, flüssig, Pulver und Aerosol. In bestimmten Fällen wird das Emissionspotenzial der physikalischen Form modifiziert, um eine natürliche Tendenz des Materials zur Übertragung über die Luft [z. B. leicht zerreibbare Feststoffe (Feststoffe, die durch den ganz normalen Druck einer menschlichen Hand zerbröckelt, pulverisiert oder zu Pulver zerkleinert werden), äußerst flüchtige Flüssigkeiten oder Pulver mit großer oder mäßiger Staubigkeit] und bestimmte Verfahrensschritte (z. B.

Schmelzen und Sprühen) mit zu berücksichtigen.

Das Risikokontrollband wird durch Kombinieren der Bänder für die Gefährdung und das Emissionspotenzial ermittelt. Das Tool definiert die folgenden fünf Risikokontrollbänder (CL):

- natürliche oder mechanische allgemeine Belüftung (CL1),
- lokale Belüftungsanlagen (CL2),
- geschlossenes Ventilationssystem (CL3),
- komplette Einhausung (CL4) und
- komplette Einhausung und Überprüfung durch einen Spezialisten (CL5),

für die jeweils technische Lösungen empfohlen werden.

2.2.2 Leitlinien für das sichere Arbeiten mit Nanomaterialien und Nanoprodukten – Anleitung für Arbeitgeber und Arbeitnehmer (in Englisch)

Verfügbar unter:

<http://www.industox.nl/Guidance%20on%20safe%20handling%20nanomats&products.pdf>

Diese Control Banding-Leitlinien entstanden aus einer Zusammenarbeit zwischen niederländischen Arbeitgebern und Arbeitnehmern sowie den Sozialpartnern FNV, VNO-NCV und CNV und wurden vom niederländischen Ministerium für Soziale Angelegenheiten und Beschäftigung finanziert. Die Leitlinien richten sich speziell an Arbeitgeber und Arbeitnehmer, die damit in die Lage versetzt werden sollen, einen sicheren Arbeitsplatz für die Arbeit mit Nanomaterialien und Nanomaterialien enthaltenden Produkten zu schaffen. Außerdem sollen sie bei der Gestaltung entsprechender Kontrollmaßnahmen und der Umsetzung guter Arbeitspraktiken unterstützt werden. Das Leitliniendokument ist nur als Papierversion erhältlich [29].

Die Leitlinien gliedern sich in acht verschiedene Schritte und stellen die entsprechenden Formulare bereit, anhand derer sich die benötigten Informationen sammeln lassen:

- Erstellen eines Inventars der hergestellten oder verwendeten Nanomaterialien,
- Feststellen der potenziellen Gesundheitsgefahren in Verbindung mit den hergestellten oder verwendeten Nanomaterialien (drei Kategorien),
- Erstellen eines Inventars der mit den Nanomaterialien durchgeführten Aktivitäten,
- Bewerten der Wahrscheinlichkeit, dass Arbeitnehmer einer Exposition gegenüber Nanopartikeln aufgrund der durchgeführten Aktivitäten ausgesetzt sind (drei Kategorien),
- Erhalten eines Ergebnisses in Form eines Kontrollbandes für die jeweiligen Aktivitäten (drei Kategorien),
- Erstellen eines Aktionsplans mit Risikokontrollmaßnahmen,
- Erstellen eines Registers für alle Arbeitnehmer, die mit Nanomaterialien der Gefahrenkategorie 2 oder 3 umgehen, und
- Prüfen, ob präventive medizinische Überwachung möglich ist, und entsprechendes Handeln.

Diese Leitlinien für das Control Banding sind sehr einfach anzuwenden und liefern Empfehlungen für Risikomanagementmaßnahmen, die die Sicherheit bei der Arbeit mit technisierten Nanomaterialien erhöhen. Es wird darauf hingewiesen, dass die geltenden gesetzlichen Vorschriften in Bezug auf das Arbeiten mit Gefahrenstoffen beachtet werden müssen; wenn das zu dem Nanomaterial gehörende gröbere Material als CMR-Stoff eingestuft ist oder das Nanomaterial selbst CMR-Eigenschaften aufweist, müssen die entsprechenden gesetzlichen Vorschriften eingehalten werden. Die Leitlinien geben keine Hinweise zum Risikomanagement bei unabsichtlich hergestellten Nanomaterialien, wie beispielsweise Diesel- oder Schweißdämpfen.

2.2.3 *Gesundheit und Sicherheit am Arbeitsplatz Queensland: Arbeitsblatt als Control Banding-Tool für Nanomaterialien (in Englisch)*

Verfügbar unter:

<http://www.deir.qld.gov.au/workplace/subjects/nanotechnology/controlbanding/index.htm>

Der Control Banding-Abschnitt dieses Arbeitsblatts ähnelt dem CB Nanotool 2.0. Es betrifft ebenfalls die Entflammbarkeit von Nanomaterialien, deckt jedoch nicht alle Informationen ab, die zur Beurteilung der von Nanomaterialien ausgehenden Brand- und Explosionsgefahr benötigt werden.

Dieses Nanotool ist besonders für Forschungseinrichtungen geeignet, in denen wahrscheinlich kleine Mengen an Nanomaterialien verwendet werden. Es lässt sich jedoch auf alle Arbeitsplätze anwenden, an denen Nanomaterialien vorhanden sind. Die Einsetzbarkeit dieses Tools wird vermutlich umso besser werden, je mehr Informationen man zu den Gefahren und Risiken von Nanomaterialien kennt.

2.3 Weitere Tools

2.3.1 *GoodNanoGuide (GNG) (in Englisch)*

Verfügbar unter: <http://www.goodnanoguide.org>

Bei GoodNanoGuide (GNG) handelt es sich um eine webbasierte interaktive Plattform zur Zusammenarbeit, die vom International Council on Nanotechnology an der Rice University in den USA entwickelt wurde. Die Internetseite dient als Plattform für den Austausch von Ideen zum Umgang mit Nanomaterialien am Arbeitsplatz. Sie stellt außerdem Leitlinien für den besten Umgang mit Nanomaterialien in einer Arbeitsplatzumgebung für Nutzer bereit, die Anfänger, fortgeschrittene Anfänger beziehungsweise Fortgeschrittene sind [30].

Der **Abschnitt für Anfänger** (Basic Section) enthält lediglich eine kurze Erklärung von Nanomaterialien, Nanotechnologie und Nanotechnologiesicherheit mit Links zu anderen Quellen im Internet.

Im **Abschnitt für fortgeschrittene Anfänger** (Intermediate Section) wird vorausgesetzt, dass der Nutzer bereits mit Nanotechnologien und Nanomaterialien vertraut ist und nach Leitlinien oder Protokollen für das Arbeiten mit speziellen Arten technisch hergestellter Nanomaterialien sucht. In diesem Abschnitt werden drei verschiedene Weisen für die Kategorisierung von Nanomaterialien vorgeschlagen. Der Nutzer kann dann entscheiden, welcher am besten auf die Situation an seinem Arbeitsplatz passt:

- Der erste Vorschlag besteht in einem vereinfachten Control Banding-Ansatz, bei dem Nanomaterialien je nach Kenntnisstand in Bezug auf die Gefährdung durch das Nanomaterial (bekanntermaßen inert/reaktiv/unbekannt) eingestuft werden. Man erhält außerdem Leitlinien darüber, wie sich eine Exposition beherrschen lässt; dabei werden die Expositionsdauer (kurz/mittel/lang) und die Möglichkeit, dass das Nanomaterial luftgetragen ist (gebundene Materialien/mögliche Freisetzung/frei oder nicht gebunden), berücksichtigt.
- Der zweite Vorschlag ist an ein Verfahren der British Standards Institution (BSI) angelehnt. Dabei werden Nanomaterialien nach der Art der Gefährdung (faserförmig/karzinogen, mutagen, asthmagen oder reprotoxisch/unlöslich/löslich) eingeteilt [31]. Dies dient als Ausgangspunkt für die Gefährdungsbeurteilung. In diesem Fall gibt es keinerlei Leitlinien hinsichtlich der Expositionsbeurteilung/-beherrschung.
- Der dritte Ansatz gründet sich auf die chemische Struktur des Nanomaterials (Fullerene / Kohlenstoffnanoröhren (carbon nanotubes, CNT) / Metalle / Oxide / Quantenpunkte / Halbleiter-Nanomaterialien). Man erhält zudem Informationen zu speziellen Risiken und Protokolle für den sicheren Umgang.

Der **Abschnitt für Fortgeschrittene** (Advanced Section) stellt Protokolle für den sicheren Umgang mit Nanomaterialien in Bezug auf die Umwelt, die Gesundheit und die Sicherheit zur Verfügung. Er enthält eine Matrix von Aktivitäten, die möglicherweise mit Gefahren verbunden sind, in Kombination mit verschiedenen physikalischen Formen von Nanomaterialien (trockenes Pulver, flüssige Dispersion, feste Polymermatrix und Nicht-Polymer-Matrix).

- Bei dem Verfahren identifiziert man zunächst die **potenziellen Gefahren**. Dafür gibt es bestimmte

Indikatoren, die berücksichtigt werden sollten, zum Beispiel physikalisch-chemische, toxikologische und ökotoxikologische Eigenschaften (z. B. Partikelgröße, Oberfläche, Oberflächenchemie, Reaktivität, Morphologie, Biopersistenz, Wechselwirkungen mit Biomolekülen und mikrobizide Wirkungen, sowie mögliche Modifikationen, zum Beispiel aufgrund von Alterung des Nanomaterials oder Wechselwirkungen mit anderen Molekülen). Das BSI-Klassifizierungsschema wird ebenfalls empfohlen [31].

- Im zweiten Schritt wird das **Expositionspotenzial** abgeschätzt. Das Tool liefert Informationen über die Exposition während unterschiedlicher Phasen beim Umgang mit dem Nanomaterial.
- Im dritten Schritt des Verfahrens werden die angemessenen **Kontrollen** ausgewählt. Das Tool liefert Informationen zu den Kontrollen, die für verschiedene Aufgaben empfohlen werden, bei denen man mit Nanomaterialien umgeht.

Der Abschnitt für Nutzer mit fortgeschrittenem Kenntnisstand enthält außerdem ein editierbares OSH Referenzhandbuch mit Anleitungen zum Untersuchen und Auffangen der Risiken aufgrund von Nanomaterialien.

2.4 Vergleichende Übersicht der beschriebenen Tools

Tabelle 1: Übersicht über die verfügbaren Risikomanagement-Tools und deren Merkmale

Risikomanagement-Tool	Risikomanagement-Ansatz	Anwendungsbereich	Einschränkungen
Stoffenmanager Nano (Niederländisch, Englisch, Finnisch)	(1) Identifikation des Nanomaterials und Auflisten der Eigenschaften der einzelnen Nanomaterialien (2) Beschreibung der Prozesse (3) Beschreibung eines Arbeitsbereichs (4) Beschreibung durchgeführter Kontrollmaßnahmen (5) sich daraus ergebende Gefährdungsbeurteilung (6) Erstellen eines Aktionsplans mit Risikokontrollmaßnahmen	(in Wasser) unlösliche hergestellte Nanomaterialien, die kleiner als 100 nm sind und eine spezifische Oberfläche von mehr als 60 m ² /g aufweisen. Es werden primäre Nanopartikel sowie Agglomerate und Aggregate abgedeckt	(a) Gehört das Nanomaterial zur höchsten Gefahrenklasse (E), stellt es ungeachtet der Exposition eine Gefährdung höchster Priorität dar, weil das Tool auf dem Vorsorgeprinzip basiert, das den gefährlichsten Materialien den Vorrang einräumt (b) Alle Fasern werden in die höchste Gefahrenklasse (E) eingestuft (c) Für die Verwendung ausgewählte Kontrollmaßnahmen senken in den seltensten Fällen die tatsächliche Risikostufe in dem Tool
CB Nanotool 2.0 (Englisch)	Übliches Control Banding-Schema, wobei eine Abschätzung eines Gefahrenbandes (Bewertung des Schweregrads) und eines Expositionsbandes (Bewertung der Wahrscheinlichkeit) für die Aktivität zur	Für Arbeiten im Labormaßstab; Situationen, in denen nur mit kleinen Mengen an Nanomaterialien gearbeitet wird	Die von dem Tool abgedeckten toxikologischen Endpunkte sind selten untersucht worden; das Expositionsband gilt nur für einige wenige Determinanten

Risikomanagement-Tool	Risikomanagement-Ansatz	Anwendungsbereich	Einschränkungen
	Ermittlung der Gesamtriskostufe verwendet wird (vier Stufen). Die Bewertung des Schweregrads wird anhand der Eigenschaften des Nanomaterials sowie des Makromaterials berechnet. Für die jeweiligen Risikostufen wird ein Kontrollansatz empfohlen.		
NanoSafer (Dänisch)	(1) Identifikation der Eigenschaften des Nanomaterials und des Makromaterials (Partikelgröße, -dichte und -oberfläche), für atembaren oder mineralischen Staub verfügbare Arbeitsplatzgrenzwerte, Staubigkeitsindex und toxikologische Informationen aus Sicherheitsdatenblatt (2) Identifikation des Prozesses (Umgang mit Pulver oder versehentliche Freisetzung) (3) Ermittlung einer Beurteilungszahl (4) Leitlinien für Kontrollmaßnahmen werden bereitgestellt	Arbeitsplätze, an denen mit Nanomaterialien in Pulverform umgegangen wird, sowie versehentliche Freisetzung von Nanomaterialien	Die Gefährdungsbeurteilung basiert auf physikalischen Parametern und den Sicherheitsdatenblättern, die selten toxikologische Informationen hinsichtlich Nanomaterialien enthalten; das Tool berücksichtigt ausschließlich Nanomaterialien in Pulverform; ist nur in Dänisch verfügbar
ANSES Control Banding (Französisch, Englisch)	Control Banding, das in OHSAS 18001 (Norm für OSH Managementsysteme) integriert ist: (1) Analyse verfügbarer Informationen (Produkt und Arbeitsplatz) (2) Zuordnung eines Gefahrenbandes (3) Zuordnung eines Emissionspotenzials	Alle Arbeitsumgebungen	Es ist möglicherweise schwierig, die für die Zuordnung des Gefahrenbandes benötigten Informationen zu erhalten (z. B. Aktivität von reaktiven Sauerstoffspezies). Nur als Papierversion verfügbar.

Risikomanagement-Tool	Risikomanagement-Ansatz	Anwendungsbereich	Einschränkungen
	(4) Erstellen eines Aktionsplans (5) Umsetzen des Aktionsplans (6) Routineüberwachung (7) periodische Gefahrenüberprüfung (8) wissenschaftliche und technologische Untersuchung zur Aktualisierung des Kenntnisstands (9) Aufzeichnen von Daten		
Leitlinien zum sicheren Arbeiten mit Nanomaterialien und Nanoprodukten (Englisch)	(1) Erstellen eines Inventars der hergestellten oder verwendeten Nanomaterialien (2) Einstufen der potenziellen Gesundheitsgefahren durch die hergestellten oder verwendeten Nanomaterialien (3) Erstellen eines Inventars der mit den Nanomaterialien durchgeführten Aktivitäten (4) Einstufung der Wahrscheinlichkeit einer Exposition der Arbeitnehmer (5) Erhalten eines Bandes von Kontrollansätzen für die jeweiligen, mit Nanomaterialien durchgeführten Aktivitäten (6) Erstellen eines Aktionsplans (7) Führen eines Registers der mit den Nanomaterialien umgehenden Arbeitnehmer	Für Arbeitgeber und Arbeitnehmer, die mit Nanomaterialien arbeiten	Nur als Papierversion verfügbar

Risikomanagement-Tool	Risikomanagement-Ansatz	Anwendungsbereich	Einschränkungen
	(8) Untersuchen, ob präventive medizinische Überwachung möglich ist		
Queensland-Control Banding-Arbeitsblatt (Englisch)	Control Banding-Teil ähnlich CB Nanotool, umfasst jedoch auch Aspekte der Entflammbarkeit	wie CB Nanotool; berücksichtigt Entflammbarkeit	Wie bei CB Nanotool. Brand- und Explosionsrisiko wird nicht vollständig identifiziert. Nur als Papierversion verfügbar
GoodNanoGuide (Englisch)	Die bereitgestellten Leitlinien berücksichtigen den Kenntnisstand des Nutzers: Anfänger, fortgeschrittener Anfänger bzw. Fortgeschrittener. Für Fortgeschrittene wird folgender Risikomanagementansatz bereitgestellt: (1) Identifizieren des Gefahrenpotenzials, (2) Abschätzen der Exposition und (3) empfohlene Kontrollen	Der Ansatz ist sehr allgemein gehalten und auf viele Situationen anwendbar, in denen mit Nanomaterialien umgegangen wird	Viele Internetseiten des Tools sind noch unvollständig. Die Leitlinien basieren ausschließlich auf den gesetzlichen Vorschriften in den USA (z. B. hinsichtlich persönlicher Schutzausrüstung)

3 Präventionsmaßnahmen

Nachdem sie eine Beurteilung des Risikos aufgrund einer Exposition gegenüber Nanomaterialien vorgenommen haben, müssen die Arbeitgeber sicherstellen, dass diese Exposition entweder vermieden oder angemessen beherrscht wird.

3.1 Vermeidung und Ersetzung

Wie bei allen anderen Gefahrstoffen sollten Vermeidung und Ersetzung den Vorrang vor allen anderen Präventionsmaßnahmen erhalten. Das Ziel besteht somit darin, die Exposition aller Arbeitnehmer gegenüber Nanomaterialien zu verhindern. Wenn jedoch die Verwendung oder Herstellung von Nanomaterialien aufgrund spezieller Eigenschaften erfolgt, die weniger gefährliche Materialien nicht besitzen, sind Vermeidung oder Ersetzung gegebenenfalls keine realisierbare Option. Man sollte jedoch immer zwischen den gewünschten Eigenschaften und Wirkungen einerseits und den Gesundheitsrisiken andererseits abwägen und Vermeidungs- sowie Ersetzungsmöglichkeiten sorgfältig prüfen.

Auf jeden Fall sollte man vermeiden, dass Nanomaterialien in einer Form verwendet oder hergestellt werden, in der sie in die Luft gelangen können (beispielsweise Pulver). Diese sollten durch eine weniger gefährliche Form, wie gelöste oder flüssige Formen, Granulate oder Pasten oder auch durch an Feststoffe gebundene Nanomaterialien, ersetzt werden.

Gegebenenfalls kann das Gefahrenpotenzial eines Nanomaterials auch durch dessen Beschichtung, also durch eine Veränderung der Oberfläche, gemindert werden.

3.2 Technische Schutzmaßnahmen

Technische Präventionsmaßnahmen sollten an der Emissionsquelle umgesetzt werden. Die effizienteste technische Schutzmaßnahme ist in dieser Hinsicht ein Einschluss durch die Verwendung geschlossener Systeme sowie eingehauster Maschinen und Prozesse, also Einschluss- und Isolationsmaßnahmen, die eine physische Barriere zwischen einer Person und dem Nanomaterial schaffen. Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass sogar bei der Umsetzung solcher Maßnahmen immer noch an das Risiko durch Leckagen gedacht werden sollte. Geeignete lokale Abluftsysteme, die mit Teilchenfiltern ausgerüstet sind, zum Beispiel mit Hochleistungsschwebstofffiltern (HEPA- oder ULPA-Filtern), eingebaut in Abzüge oder Downflow-Kabinen, sind weitere Standardmaßnahmen, die ergriffen werden können, falls der vollständige Einschluss eines Prozesses unmöglich sein sollte.

Wenn eingehauste Prozesse geöffnet werden müssen, zum Beispiel für die Beschickung/Entleerung, die Probennahme, zu Reinigungs- oder Wartungszwecken, müssen spezielle Vorkehrungen getroffen werden, bei denen es sich nicht um technische Schutzmaßnahmen handelt. In diesen Situationen gilt das Tragen von Atemschutzgeräten als die richtige Kontrollstrategie (siehe Abschnitt 3.4.1).

3.3 Organisatorische Maßnahmen

Die wichtigste organisatorische Maßnahme, mit der sich die potenzielle Exposition von Arbeitnehmern minimieren lässt, ist die Abtrennung von Arbeitsbereichen oder, anders ausgedrückt, die Minimierung der Anzahl der Arbeitnehmer, die einer möglichen Exposition ausgesetzt werden. Besondere Bereiche, in denen Nanomaterialien hergestellt oder verwendet werden und in denen sie daher freigesetzt werden könnten, müssen kenntlich gemacht und isoliert oder beispielsweise durch Wände von anderen Arbeitsplätzen abgetrennt werden. Diese Bereiche sind durch geeignete Zeichen eindeutig auszuweisen, die darauf hinweisen, dass der Zutritt nur autorisierten und ausgebildeten Mitarbeitern gestattet ist.

Es sollte darauf hingewiesen werden, dass es zurzeit noch kein standardisiertes Konzept im Hinblick auf Sicherheitshinweise oder die Kennzeichnung von Arbeitsplätzen oder Behältern mit Nanomaterialien gibt. Die Verwendung von bereits bestehenden Gefahren- und Sicherheitsformulierungen (siehe Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen [15]) und Warnschildern gilt als zu empfehlender Ansatz, mit dem die geeigneten, relevanten und spezifischen Informationen zu allen tatsächlichen oder möglichen Gesundheits- und Sicherheitsrisiken durch die Verwendung von und den Umgang mit Nanomaterialien bereitgestellt werden können.

Zusätzlich zu einer Verringerung der Anzahl an Arbeitnehmern, die einer Exposition gegenüber Nanomaterialien ausgesetzt sind, sollten auch die folgenden organisatorischen Maßnahmen umgesetzt werden:

- Minimierung der Dauer der Exposition von Arbeitnehmern,
- Minimierung der Mengen an teilchenförmigen Nanomaterialien, die zu einem jeweiligen Zeitpunkt verwendet werden,
- Überwachung der Luftkonzentrationen,
- regelmäßige Reinigung (feuchtes Abwischen) von Arbeitsflächen,
- Arbeitnehmer, die mit möglicherweise gefährlichen Nanomaterialien umgehen, sollten in Gesundheitsüberwachungsprogramme aufgenommen werden, wobei die Expositionssituation umfassend dokumentiert werden sollte.

Außerdem müssen alle Arbeitnehmer, die an ihrem Arbeitsplatz Nanomaterialien ausgesetzt werden könnten, ausreichende Anweisungen, Informationen sowie Schulungen erhalten, damit sie die Risiken für ihre Sicherheit und Gesundheit durch eine mögliche Exposition gegenüber Nanomaterialien und die Vorsichtsmaßnahmen, die sie ergreifen müssen, um eine solche Exposition zu vermeiden oder zu minimieren, verstehen können. Die Arbeitnehmer müssen über jegliche Unsicherheiten in Bezug auf die Auswirkungen dieser Nanomaterialien auf die Gesundheit und Sicherheit angemessen informiert werden und das Vorsorgeprinzip sollte angewendet werden.

3.4 Persönliche Schutzausrüstung

Der Hierarchie der Kontrollmaßnahmen zufolge sollte persönliche Schutzausrüstung (PSA) nur als letztes Mittel eingesetzt werden. Wenn sich eine PSA ⁽³⁾ nach der Gefährdungsbeurteilung als notwendig erweist, sollte ein PSA-Programm erstellt werden. Ein gutes PSA-Programm besteht aus den folgenden Elementen: Wahl einer geeigneten PSA, Anpassung, Schulung und Instandhaltung der PSA.

Da das Tragen von PSA von dem Arbeitnehmer eine zusätzliche körperliche Leistung erfordert, muss untersucht werden, ob dieser von seiner körperlichen Verfassung her in der Lage ist, eine solche Ausrüstung zu tragen. Durch Versuche mit der PSA ist zu gewährleisten, dass die Nutzer ihre Arbeit mit angelegter PSA sicher durchführen und gleichzeitig noch andere erforderliche Ausrüstungsgegenstände (z. B. Brillen) oder Werkzeuge bedarfsgerecht verwenden können. Zu beachten ist, dass das Schutzniveau einer PSA abnehmen kann, wenn mehrere Arten der PSA gleichzeitig eingesetzt werden. Auch weitere Gefahren (zum Beispiel Lösungsmitteldämpfe) können die Wirksamkeit der PSA herabsetzen. Daher müssen alle Gefahren, die neben Nanomaterialien in Betracht kommen, bei der Gefährdungsbeurteilung und bei der Auswahl der PSA berücksichtigt werden. Sämtliche PSA muss das CE-Zeichen tragen und unverändert nach den Anweisungen des Herstellers verwendet werden.

3.4.1 Atemschutz

Wenn die Exposition gegenüber luftgetragenen Nanomaterialien durch die in den vorherigen Abschnitten beschriebenen Präventionsmaßnahmen nicht verhindert werden kann (dies gilt z. B. für Nanopulver oder Nanomaterialien enthaltende Aerosole), wird das Tragen eines für die jeweilige Exposition geeigneten Atemschutzes empfohlen. Dies ist zum Beispiel auch der Fall, wenn Wartungs- oder Reparaturarbeiten an den Systemen durchgeführt werden, die als Kontrollmaßnahmen dienen.

Die Wahl eines Atemschutzgerätes hängt von folgenden Faktoren ab:

- der Art, Größe und Konzentration des luftgetragenen Nanomaterials,
- dem Schutzfaktor des Atemschutzgerätes (berücksichtigt die Filtereffektivität und die Dichtigkeit des Sitzes am Gesicht) und
- den Arbeitsbedingungen.

Bei der Atemschutzausrüstung kann es sich um Halb- oder Vollmasken mit Filtern der Schutzstufen P3/FFP3 oder P2/FFP2, um Atemschutzhelme mit Gebläse und Partikelfilter (TH2P oder MH3P) oder um Voll- oder Halbmasken mit Gebläse und Partikelfilter (TM2P und TM3P) handeln ⁽⁴⁾. Dabei haben Vollmasken in Kombination mit Luftzuleitungen und gebläseunterstützten Filtereinrichtungen in der Regel die höchsten Schutzfaktoren.

Die Wirksamkeit der Filter in Atemschutzgeräten für ein bestimmtes Nanomaterial unter besonderen Bedingungen sollte beim Atemschutzgerätehersteller erfragt werden, da Testergebnisse eventuell nicht für alle Nanomaterialien verallgemeinert werden können. Es sollte beachtet werden, dass HEPA-Filter, Atemschutzpatronen und Masken mit faserförmigen Filtermaterialien bei Nanomaterialien wirksam sind (und sogar wirksamer sind als im Fall größerer Partikel [34]).

Andere Faktoren, wie die Dichtigkeit des Sitzes am Gesicht, die ordnungsgemäße Instandhaltung des Atemschutzgeräts und die Tragedauer, können die Expositionsminde rung ebenfalls beeinflussen. In Bezug auf Gesichtsmasken hat sich eine mangelhafte Abdichtung zwischen Maske und Gesicht als hauptsächlicher Risikofaktor erwiesen [44]. Eine regelmäßige Überprüfung des Sitzes der Masken sollte bei allen Verwendern vorgenommen werden, so dass gewährleistet werden kann, dass die Masken dicht sind. Die Verwender sollten außerdem in der Anwendung der Atemschutzausrüstung geschult werden. Die Expositionsminde rung sollte immer als eine Kombination aus Filtereffizienz und Nutzungsmerkmalen des Atemschutzgerätes gesehen werden und wird in einigen Ländern als Schutzfaktor des Atemschutzgerätes angegeben.

Deckt ein Atemschutzgerät die Augen nicht ab, sollte zusätzlich ein Augenschutz getragen werden (dicht

⁽³⁾ Die europäische Richtlinie 89/686/EWG [32] regelt die Gestaltung und Verwendung von persönlichen Schutzausrüstungen, damit diese dem Verwendungszweck, nämlich dem Schutz von Arbeitnehmern vor speziellen Gefahren, entspricht.

⁽⁴⁾ Siehe [33]: P2-Filter werden zu 0,2 % und P3-Filter zu 0,011 % von Nanopartikeln aus Kaliumchlorid penetriert. Tests mit Graphitpartikeln unterschiedlicher Größe ergaben eine Penetration von maximal 8 %. Dies deutet auf eine höhere Schutzwirkung von P3-Filtern hin, doch können die Ergebnisse nicht auf alle Nanopartikel übertragen werden.

sitzende Schutzbrille).

3.4.2 Handschuhe

Es sollten Handschuhe mit hoher mechanischer Festigkeit verwendet werden. Zum Schutz vor allgemeinen chemischen Gefahren dürfen nur Handschuhe eingesetzt werden, die den Anforderungen der Normenreihe EN 374 entsprechen. Beim Umgang mit Nanomaterialien haben sich Handschuhe aus Latex, Nitril und Neopren als wirksam erwiesen [33]. Die Wirksamkeit von Handschuhen beim Umgang mit einem bestimmten Nanomaterial hängt davon ab, in welcher physikalischen Form das Nanomaterial am Arbeitsplatz auftritt (Stäube, Flüssigkeiten usw.) – dies ist im Einzelfall mit dem Handschuhlieferanten zu klären. Ein wesentlicher Faktor für die Bestimmung der Diffusionsrate eines Nanomaterials ist die Dicke des Handschuhmaterials. Es wird deshalb empfohlen, immer zwei Paar Handschuhe übereinander zu tragen, um sich angemessen zu schützen [34].

3.4.3 Schutzkleidung

Schutzkleidung sollte anhand der Gefährdungsbeurteilung ausgewählt werden. Vliestextilien (luftdichte Stoffe), wie Polyethylen hoher Dichte, (Stoffe mit geringer Staubrückhaltung und geringer Staubbefreiung) sind gewebten vorzuziehen. Das Tragen von Schutzkleidung aus Baumwollgewebe ist nicht zu empfehlen [34].

Wird wiederverwendbare Schutzkleidung verwendet (z. B. Overalls), sollte für regelmäßige Wäsche und die Vermeidung von Sekundärexpositionen gesorgt werden [35]. Es sollten geeignete Vorkehrungen getroffen werden, damit saubere Overalls und Schutzkittel angelegt und schmutzige in einer Weise entfernt werden können, die eine Kontamination der Personen oder des allgemeinen Arbeitsumfeldes ausschließt.

3.5 Explosions- und/oder Brandschutz

Wegen ihrer geringen Größe und großen Oberfläche sind teilchenförmige Nanomaterialien in Pulverform möglicherweise explosionsgefährlich, ihre gröberen Varianten jedoch nicht ⁽⁵⁾ [36]. Darauf ist zu achten, wenn Nanopulver gehandhabt oder hergestellt werden (z. B. durch Schleifen, Schmirgeln oder Polieren von Werkstoffen, die Nanomaterialien enthalten).

Die Präventionsmaßnahmen für pulverförmige Nanomaterialien sind im Wesentlichen dieselben, wie sie auch für sonstige explosive und entzündliche Grobstoffe und explosive Staubwolken gelten, und müssen den Anforderungen der Richtlinie 99/92/EG über Mindestvorschriften zur Verbesserung des Gesundheitsschutzes und der Sicherheit der Arbeitnehmer, die durch explosionsfähige Atmosphären gefährdet werden können, entsprechen. Zu solchen Maßnahmen zählen:

- Die Handhabung sollte möglichst nur in speziellen Ex-Zonen und unter Inertatmosphäre erfolgen.
- Materialien sollten durch Befeuchtung des Arbeitsplatzes gebunden werden (Verhinderung von Stäuben).
- Am Arbeitsplatz sollten Geräte mit unzureichendem Funkenschutz und andere Zündquellen entfernt und Zustände beseitigt werden, die eine elektrostatische Entladung fördern; stattdessen sollten nach Möglichkeit eigensichere Geräte eingesetzt werden (deren Signal- und Regelschaltungen mit niedrigen Strömen und Spannungen betrieben werden).
- Staubablagerungen sind durch feuchtes Wischen zu entfernen.
- Explosive oder entflammbare Materialien sollten am Arbeitsplatz nur in möglichst geringen Mengen gelagert werden. Die Verwendung antistatischer Beutel ist zulässig.

Beim Umgang mit Nanomaterialien (die nicht während einer Arbeitstätigkeit erzeugt werden) müssen die Angaben des Herstellers im Sicherheitsdatenblatt berücksichtigt werden. Wie zuvor bereits erwähnt, sollte man jedoch daran denken, dass die Qualität der Angaben in Sicherheitsdatenblättern in Bezug auf Nanomaterialien oft zu wünschen übrig lässt.

⁽⁵⁾ Die Explosionsfähigkeit der meisten organischen und vieler metallischer Stäube steigt mit abnehmender Partikelgröße. 500 µm scheint die Obergrenze für die Partikelgröße in einer explosionsfähigen Staubwolke zu sein. Bislang wurde aber noch keine Untergrenze ermittelt, unterhalb derer Explosionen ausgeschlossen werden können.

3.6 Prüfung der Präventionsmaßnahmen auf ihre Wirksamkeit

Die Gefährdungsbeurteilung sollte regelmäßig aktualisiert werden und die Auswahl und Umsetzung der Risikopräventionsmaßnahmen sollten regelmäßig kontrolliert und auf ihre Wirksamkeit geprüft werden. Es sollte also sichergestellt werden, dass alle Schutzvorrichtungen, wie Reinraumbänke oder Laminarstromkabinen, ordnungsgemäß funktionieren. Alle Lüftungsanlagen und ihre jeweiligen Filtersysteme sollten regelmäßig überprüft werden. Außerdem muss die PSA auf ihre Eignung geprüft und bei Bedarf auf den neuesten Stand gebracht werden.

Ergänzend kann die Wirksamkeit einer Risikominderungsmaßnahme beurteilt werden, indem die Luftkonzentrationen der Nanomaterialien vor und nach Einführung der Maßnahme analysiert werden. Die Expositionshöhen, die nach der Einführung der Risikomanagementmaßnahmen gemessen werden, dürfen sich nicht signifikant von den Hintergrundkonzentrationen unterscheiden, die sich ohne eine Quelle von hergestellten Nanomaterialien einstellen. Auch andere indirekte Messungen der Wirksamkeit von technischen Präventionsmaßnahmen, wie etwa Rauchversuche und/oder Kontrollgeschwindigkeitsmessungen, können durchgeführt werden.

Arbeitsplatzgrenzwerte werden voraussichtlich in Zukunft festgelegt. Das Hauptziel des Risikomanagements am Arbeitsplatz sollte jedoch die Expositionsminimierung sein, weshalb die bloße Einhaltung der Arbeitsplatzgrenzwerte nicht ausreicht. Im Moment gibt es mehrere Ansätze zur Festlegung der Grenzwerte für Nanomaterialien [37, 38].

Quellenverweise

1. Empfehlung der Europäischen Kommission vom 18. Oktober 2011 zur Definition von Nanomaterialien, Abl. L 275, S. 38-40. Verfügbar unter: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:32011H0696>.
2. Europäische Kommission, *Commission Staff Working Paper: Types and Uses of Nanomaterials, Including Safety Aspects. Accompanying the Communication from the Commission to the European Parliament, the Council and the European Economic and Social Committee on the Second Regulatory Review on Nanomaterials*, (Arbeitspapier der Kommissionsdienststellen: Arten und Verwendungsmöglichkeiten von Nanomaterialien, einschließlich der Sicherheitsaspekte. Begleitdokument zur Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat und den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss – Zweite Überprüfung der Rechtsvorschriften zu Nanomaterialien), SWD(2012) 288 endgültig, Brüssel, 3. Oktober 2012). Verfügbar unter: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=SWD:2012:0288:FIN:EN:PDF>
3. Europäische Agentur für Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz (EU-OSHA), *Workplace Exposure to Nanoparticles*, European Risk Observatory, literature review, 2009, Nanopartikelexposition am Arbeitsplatz, Europäische Beobachtungsstelle für Risiken, Literaturstudie, 2009). Verfügbar unter: <http://osha.europa.eu/en/publications/literature-reviews/workplace-exposure-to-nanoparticles>
4. Lauterwasser, C., *Small Size that Matter: Opportunities and Risks of Nanotechnologies* (Auch kleine Größen zählen: Chancen und Risiken der Nanotechnologien), Bericht des Allianz Zentrums für Technologie und der OECD. Verfügbar unter: <http://www.oecd.org/dataoecd/32/1/44108334.pdf>
5. Murashov, V., "Occupational exposure to nanomedical applications" (Berufsbedingte Exposition bei nanomedizinischen Anwendungen), *WIREs Nanomed Nanobiotechnol*, 2009, 1: S. 203-213.
6. Hanson, N., Harris, J., Joseph, L.A., Ramakrishnan, K., Thompson, T., *EPA Needs to Manage Nanomaterial Risks More Effectively* (Die EPA muss mit den Risiken von Nanomaterialien effektiver umgehen), U.S. Environmental Protection Agency, Bericht Nr. 12-P-0162, 2011. Verfügbar unter: <http://www.epa.gov/oig/reports/2012/20121229-12-P-0162.pdf>
7. The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), *Approaches to Safe Nanotechnology—Managing the Health and Safety Concerns Associated with Engineered Nanomaterials*, (Konzepte für sichere Nanotechnologien — Umgang mit Gesundheits- und Sicherheitsbedenken im Zusammenhang mit hergestellten Nanomaterialien), Department of Health und Human Services, Centers for Disease Control und Prevention, Veröffentlichung Nr. 2009-125, 2009.

8. Gratieri, T., Schaefer, U.F., Jing, L., Gao, M., Kostka, K.H., Lopez, R.F.V., Schneider, M., "Penetration of quantum dot particles through human skin" (Penetration von Quantenpunktpartikeln durch die menschliche Haut), *Journal of Biomedical Nanotechnology*, 2010, 6(5): S. 586-595.
9. The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), *General Safe Practices for Working with Engineered Nanomaterials in Research Laboratories* (Allgemeine Sicherheitspraktiken für die Arbeit mit hergestellten Nanomaterialien in Forschungslaboratorien), Department of Health und Human Services, Centers for Disease Control und Prevention, Veröffentlichung Nummer 2012-147, 2012.
10. Senjen, R., *Nanomaterials Health und Environmental Concerns* (Nanomaterialien – Gesundheits- und Umweltbedenken), Europäisches Umweltbüro, 2009. Verfügbar unter: <http://www.eeb.org/?LinkServID=540E4DA2-D449-3BEB-90855B4AE64E8CE6&showMeta=0>
11. Richtlinie 89/391/EWG des Rates vom 12. Juni 1989 über die Durchführung von Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Arbeitnehmer bei der Arbeit, Abl. L 183 vom 29. Juni 1989. Verfügbar unter: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1989L0391:20081211:DE:PDF>
12. Richtlinie 98/24/EG des Rates vom 7. April 1998 zum Schutz von Gesundheit und Sicherheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch chemische Arbeitsstoffe bei der Arbeit (Vierzehnte Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG)). Verfügbar unter: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:31998L0024>.
13. Richtlinie 2004/37/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über den Schutz der Arbeitnehmer gegen Gefährdung durch Karzinogene oder Mutagene bei der Arbeit (Sechste Einzelrichtlinie im Sinne von Artikel 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG). Verfügbar unter: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2004:229:0023:0034:DE:PDF>.
14. Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Dezember 2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH), zur Schaffung einer Europäischen Agentur für chemische Stoffe, zur Änderung der Richtlinie 1999/45/EG und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 793/93 des Rates, der Verordnung (EG) Nr. 1488/94 der Kommission, der Richtlinie 76/769/EWG des Rates sowie der Richtlinien 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/EG und 2000/21/EG der Kommission, Abl. L 396 vom 30. Dezember 2006. Verfügbar unter: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:136:0003:0280:de:PDF>.
15. Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen (CLP-Verordnung), Abl. L 353, 31. Dezember 2008. Verfügbar unter: <http://echa.europa.eu/web/guest/regulations/clp/legislation>
16. Nygren, O., Skaug, V., Thomassen, Y., Tossavainen, A., Tuomi, T., Wallin, H., "Evaluation and control of occupational health risks from nanoparticles" (Beurteilung und Kontrolle der Gefährdung durch Nanopartikel bei der Arbeit), *TemaNord*, 2007: 581, Nordic Council of Ministers, Kopenhagen, 2007. Verfügbar unter: http://www.norden.org/da/publikationer/publikationer/2007-581/at_download/publicationfile
17. Borm, P., Houba, R., Linker, F., *Good Uses of Nanomaterials in the Netherlands* (Gute Verwendung von Nanomaterialien in den Niederlanden), 2008. Verfügbar unter: <http://www.nano4all.nl/Reporthandsummary.pdf>
18. Österreichisches Zentral-Arbeitsinspektorat (AI), *Umgang mit Nano im Betrieb*, 2009. Verfügbar unter: https://www.arbeitsinspektion.gv.at/NR/ronlyres/592E7E96-E136-453F-A87B-3C393FC039E1/0/Nano_Untersuchung.pdf
19. SafeWork Australia, *An Evaluation of MSDS und Labels Associated with the Use of Engineered Nanomaterials* (Eine Untersuchung von Sicherheitsdatenblättern und Kennzeichnungen in Verbindung mit der Verwendung technisch hergestellter Nanomaterialien). Verfügbar unter: http://safeworkaustralia.gov.au/AboutSafeWorkAustralia/Whatwedo/Publications/Pages/RP2010_06EvaluationOfMSDSAndLabels.aspx
20. Verordnung (EU) Nr.453/2010 der Kommission vom 20. Mai 2010 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr.1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates zur Registrierung, Bewertung,

- Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH), Abl. L 133 vom 31. Mai 2010.
21. Europäische Chemikalienagentur (ECHA), *Leitlinien zur Erstellung von Sicherheitsdatenblättern*, Dezember 2011. Verfügbar unter: http://echa.europa.eu/documents/10162/13643/sds_de.pdf
 22. Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD), "Emission assessment for the identification of sources and release of airborne manufactured nanomaterials in the workplace: compilation of existing guidance" (Emissionsbeurteilung zur Identifizierung von Quellen und Freisetzung luftgetragener hergestellter Nanomaterialien am Arbeitsplatz: Zusammenstellung der bestehenden Leitlinien), *ENV/JM/MONO*, Reihe zur Sicherheit hergestellter Nanomaterialien, Nummer 11, 2009.
 23. Van Duuren-Stuurman, B., Vink, R., Verbist, K. J. M., Heussen, H. G. A., Brouwer, D. H., Kroese, D. E. D., Van niftrik, M. F. J., Tielemans, E., Fransman, W., "Stoffenmanager Nano Version 1.0: A web-based tool for risk prioritization of airborne manufactured nano objects" (Stoffenmanager Nano Version 1.0: Ein webbasiertes Tool für die Risikopriorisierung luftgetragener hergestellter Nanoobjekte), *Ann Occup Hyg*, 2012, 56(5): S. 525-541.
 24. Paik, S.Y., Zalk, D.M., Swuste, P., "Application of a pilot control banding tool for risk level assessment and control of nanoparticle exposures" (Anwendung eines Pilot-Control Banding Tools für die Risikohöhenbeurteilung und Kontrolle von Nanopartikelexpositionen), *Ann Occup Hyg*, 2008, 52(6): S. 419-428.
 25. Zalk, D.M., Paik, S.Y., Swuste, P., "Evaluating the control banding nanotool: a qualitative risk assessment method for controlling nanoparticle exposure" (Beurteilung des Control Banding Nanotools: Ein qualitatives Gefährdungsbeurteilungsverfahren für die Kontrolle von Nanopartikelexpositionen), *J Nanoparti Res*, 2009, 11(7): S. 1685-1704.
 26. Zalk, D.M., Paik, S.Y., "Control Banding and nanotechnology" (Control Banding und Nanotechnologie), *The Synergist*, 2010, 3(10): S. 26-29.
 27. Teknologisk Institut, *Nanopartikler i arbejdsmiljøet - Viden og inspiration om håndtering af nanomaterialer*, Center for Arbejdsliv/Det Nationale Forskningscenter for Arbejdsmiljø, 2010.
 28. ANSES, *Development of a Specific Control Banding Tool for Nanomaterials* (Entwicklung eines speziellen Control Banding-Tools für Nanomaterialien), Bericht, 2010. Verfügbar unter <http://www.anses.fr/Documents/AP2008sa0407EN.pdf> (abgerufen am 26. Juni 2012).
 29. FNV, VNO-NCV, CNV, *Guidance Working Safely with Nanomaterials and Nanoproducts - The Guide for Employers and Employees* (Leitlinien zum sicheren Arbeiten mit Nanomaterialien und Nanoprodukten – eine Anleitung für Arbeitgeber und Arbeitnehmer), Version 1.0, 2011. Verfügbar unter: <http://www.industox.nl/Guidance%20on%20safe%20handling%20nanomats&products.pdf>
 30. International Council on Nanotechnology (ICON), *GoodNanoGuide*, 2010. Verfügbar unter: <http://www.goodnanoguide.org/tiki-index.php?page=HomePage>
 31. British Standards (BSI), *Nanotechnologies - Part 2: Guide to Safe Handling and Disposal of Manufactured Nanomaterials* (Nanotechnologien – Teil 2: Anleitung zu sicherem Umgang und sicherer Entsorgung hergestellter Nanomaterialien), PD 6699-2:2007.
 32. Richtlinie 89/656/EWG - Benutzung persönlicher Schutzausrüstungen, vom 30. November 1989 über Mindestvorschriften für Sicherheit und Gesundheitsschutz bei Benutzung persönlicher Schutzausrüstungen durch Arbeitnehmer bei der Arbeit (Dritte Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG). Verfügbar unter: <https://osha.europa.eu/en/legislation/directives/workplaces-equipment-signs-personal-protective-equipment/osh-directives/4>
 33. Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung, "Sichere Verwendung von Nanomaterialien in der Lack- und Farbenbranche - Ein Betriebsleitfaden", *Schriftenreihe der Aktionslinie Hessen-Nanotech*, Band 11, 2009. Verfügbar unter: http://www.hessen-nanotech.de/mm/Betriebsleitfaden_sichere_Verwendung_Nanomaterialien_Lack_Farbenbranche.pdf
 34. Golanski, L., Guillot, A., Tardif, F., *Are Conventional Protective Devices such as Fibrous Filter Media, Respirator Cartridges, Protective Clothing and Gloves also Efficient for Nanoaerosols?* (Sind herkömmliche Schutzvorrichtungen wie Faserfiltermedien, Atemschutzkartuschen, Schutzkleidung und Handschuhe auch bei Nanoaerosolen wirksam?), DR-325/326-200801-1,

- Nanosafe2, 2008. Verfügbar unter:
http://www.nanosafe.org/home/liblocal/docs/Dissemination%20report/DR1_s.pdf
35. UK NanoSafety Partnership Group (UKNSPG), *Working Safely with Nanomaterials in Research & Development* (Sicheres Arbeiten mit Nanomaterialien in der Forschung und Entwicklung), August 2012. Verfügbar unter:
<http://www.liv.ac.uk/media/livacuk/safety/documentsguidance/Working,Safely,With,Nanomaterials,-,Release,1,0,-,Aug2012.pdf>
36. Dyrba, B., *Explosionsschutz: Handlungsbedarf bei Nanostäuben*, ohne Datum. Verfügbar unter:
<http://www.arbeitssicherheit.de/de/html/fachbeitraege/anzeigen/337/Explosionsschutz-Nanostaub/> (abgerufen am 3. Dezember 2012).
37. Sozialwirtschaftlicher Rat der Niederlande (SER), *Provisional Nano Reference Values for Engineered Nanomaterials* (Vorläufige Nano-Referenzwerte für technisch hergestellte Nanomaterialien), 2012. Verfügbar unter:
http://www.ser.nl/en/sitecore/content/Internet/en/Publications/Publications/2012/2012_01.aspx (abgerufen am 20. Oktober 2012).
38. Nanowerk, *SAFENANO Team Complete BSI British Standards Guide to Safe Handling of Nanomaterials* (SAFENANO-Team erstellt BSI British Standards-Leitfaden zur sicheren Handhabung von Nanomaterialien), 2012. Verfügbar unter:
<http://www.nanowerk.com/news/newsid=4136.php>