

Empfehlung für die Gefährdungsbeurteilung bei Tätigkeiten mit Nanomaterialien am Arbeitsplatz

Inhalt

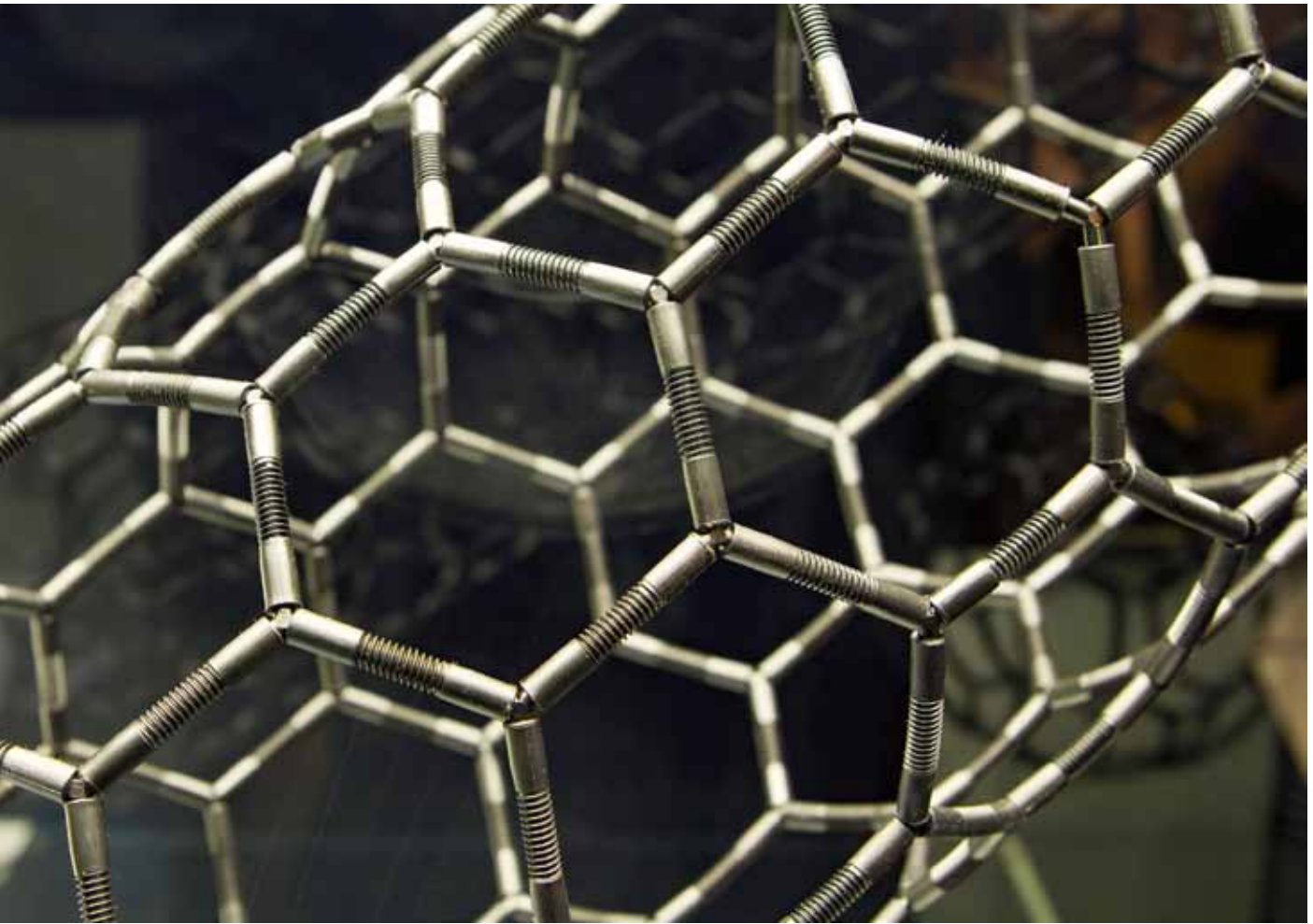
	Seite
Vorwort	3
1 Einleitung	5
2 Allgemeine Regelungen zum Arbeitsschutz	9
3 Empfehlungen zum Schutz der Arbeitnehmer beim Umgang mit Nanomaterialien	13
4 Stand und Entwicklungen der Messverfahren zur Bestimmung der inhalativen Exposition gegenüber Nanomaterialien	19
Anhang: Ablaufschema	23
Abkürzungsverzeichnis	24
Literatur	25
Impressum	30

Vorwort

Nanomaterialien können zahlreiche neue Eigenschaften besitzen und so eine enorme Verbesserung von Produkten und Verfahren ermöglichen. Somit sind für die Beurteilung dieser Nanomaterialien, die nicht in allen Fällen abschließend erforscht sind, aus präventiven Gründen teilweise zusätzliche Schutzmaßnahmen erforderlich. Diese Empfehlung soll eine anwenderfreundliche und transparente Hilfestellung für die Umsetzung des Vorsorgeprinzips bieten.

In der hier vorliegenden, von BAuA und VCI aktualisierten und konkretisierten „Empfehlung für die Gefährdungsbeurteilung bei Tätigkeiten mit Nanomaterialien am Arbeitsplatz“ werden u. a. neue Erkenntnisse zu Messverfahren und Messstrategien berücksichtigt. Sie soll eine Orientierung über Maßnahmen bei der Herstellung und Verwendung von Nanomaterialien am Arbeitsplatz geben. Bei Anwendung dieser Maßnahmen werden die Grundprinzipien des Arbeitsschutzes in Bezug auf Nanomaterialien umgesetzt. Die Empfehlung gibt den aktuellen Erkenntnisstand von Wissenschaft und Technik wieder. Sie berücksichtigt die von der NanoKommission der Bundesregierung beschlossenen Prinzipien [NanoKommission 2008] und beschreibt auch Ihre Umsetzung für den Bereich des Arbeitsschutzes. Die Empfehlung ist in den Kontext einer Vielzahl von beachtenswerten nationalen und internationalen Aktivitäten einzuordnen. Die große Anzahl an relevanten nationalen und internationalen Aktivitäten kann an dieser Stelle nicht tiefgehend erläutert werden. Der Ausschuss für Gefahrstoffe erarbeitet derzeit eine Bekanntmachung über Tätigkeiten mit Nanomaterialien am Arbeitsplatz. Die vorliegende Empfehlung wird von BAuA und VCI in diese Beratungen eingebracht. Bis zur Veröffentlichung der Bekanntmachung soll Ihnen dieses Dokument eine Hilfe in der betrieblichen Praxis bieten.

Mai 2012



1 Einleitung

1.1 Hintergrund

Die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) und der Verband der Chemischen Industrie (VCI) haben im Frühjahr 2006 gemeinsam eine **Umfrage zum Arbeitsschutz beim Umgang mit Nanomaterialien** unter den Mitgliedsunternehmen des VCI durchgeführt. Ziel der Umfrage war es, eine Übersicht zu den angewandten Verfahrensweisen der chemischen Industrie im Arbeitsschutz bei Tätigkeiten mit Nanomaterialien zu erlangen. Auf dieser Umfrage basierte der 2007 veröffentlichte „Leitfaden für Tätigkeiten mit Nanomaterialien am Arbeitsplatz“ mit Empfehlungen und Handlungsanweisungen zum Umgang mit Nanomaterialien in der chemischen Industrie [baua_vci_leitfaden 2007]. Die Umfrage richtete sich zunächst an industrielle Hersteller und Anwender von Nanomaterialien. **Hierbei wurden in erster Linie Produkte erfasst, die schon seit vielen Jahren hergestellt und verwendet werden. Produkte, die sich noch im Forschungsstadium befinden, wurden in dieser Umfrage ebenfalls erfasst und in diesem Leitfaden mit berücksichtigt.** An der gemeinsamen Fragebogenaktion von BAuA und VCI beteiligten sich auch Start-up-Firmen. Damit wurden Firmen berücksichtigt, die innerhalb von Forschungsarbeiten Umgang mit Nanomaterialien haben (bei einem Umfang ≥ 10 kg/Jahr).

In der hier vorliegenden, von BAuA und VCI aktualisierten und konkretisierten „Empfehlung für die Gefährdungsbeurteilung bei Tätigkeiten mit Nanomaterialien am Arbeitsplatz“ werden u. a. **neue Erkenntnisse zu Messverfahren und Messstrategien** berücksichtigt. In dieser Empfehlung werden die beabsichtigt hergestellten Nanomaterialien in den Begrifflichkeiten des Standards des ISO Technical Committees 229 „Nanotechnologies“ [ISO/TS 80004-1:2010] adressiert. Unter Nanomaterialien werden sogenannte Nanoobjekte oder nanostrukturierte Materialien verstanden. **Nanoobjekte sind Materialien, die entweder in ein, zwei oder drei äußeren Dimensionen nanoskalig (näherungsweise 1 bis 100 nm) sind;** typische Vertreter sind Nanoplättchen, Nanostäbchen und Nanopartikel. **Als Nanopartikel werden Materialien bezeichnet, die in drei äußeren Dimensionen nanoskalig sind. Nanostrukturierte Materialien haben eine innere nanoskalige Struktur.** Typische Vertreter sind Aggregate und Agglomerate von Nanoobjekten. Diese Definition wird auch von der „OECD Working Party on Manufactured Nanomaterials“ [OECD-WPMN] verwendet. Ein Definitionsvorschlag wurde im Oktober 2010 von dem International Council of Chemical Associations (ICCA) veröffentlicht [ICCA 2010]. Dieser Vorschlag lehnt sich an den Standard des ISO Technical Committees 229 „Nanotechnologies“ an. Die ICCA-Definition erfasst aber einschränkend nur gezielt hergestellte Nanomaterialien aus entweder mindestens 10 Gew.-% Nanoobjekten oder 50 Gew.-% Aggregaten/Agglomeraten dieser Nanoobjekte. Ein Vergleich von insgesamt 13 rechtlich verbindlichen Definitionen und Definitionsvorschlägen wurde im Juni 2010 vom Joint Research Center (JRC) der Europäischen Kommission erstellt [JRC 2010]. Nach der Empfehlung der Europäischen Kommission zur Definition von Nanomaterialien, die am 18. Oktober 2011 veröffentlicht wurde, ist ein Nanomaterial 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 [European Commission 2011]. Da eine eindeutige Identifizierung betroffener Arbeitsplätze häufig nicht möglich ist, sollte im Zweifelsfall im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung am Arbeitsplatz ein **präventiver Ansatz** verfolgt werden.

Die beabsichtigte Herstellung nanoskaliger Primärpartikel kann durch Top-down- oder durch Bottom-up-Verfahren erfolgen. Nanoobjekte neigen auf Grund ihrer hohen Oberflächenreaktivität zur Aggregation und Agglomeration während des Herstell- und Konfektionsverfahrens. Die Herausforderung besteht daher typischerweise in der Stabilisierung der gezielt hergestellten Nanoobjekte. **In kommerziell hergestellten Produkten findet man daher sowohl isoliert vorliegende Nanoobjekte als auch deren Aggregate und Agglomerate.** Bei nicht nanoskaligen Aggregaten und Agglomeraten handelt es sich nicht um Nanoobjekte entsprechend ISO TS 27687 [ISO/TS 27687:2008], sondern um nanostrukturierte Materialien, in denen die Nanoobjekte miteinander verbunden sind. Eine Freisetzung von Nanoobjekten aus diesen Aggregaten und Agglomeraten ist ohne Energiezufuhr oft nicht möglich.

Zum Teil werden Nanomaterialien schon beim Hersteller zu Granulaten, Formulierungen, Dispersionen oder Kompositen weiterverarbeitet. In vielen Fällen ist bei der nachfolgenden Verwendung eine Freisetzung isolierter Nanoobjekte nicht mehr zu erwarten.

1.2 Verfahren der Herstellung

Die chemische Industrie stellt Nanomaterialien hauptsächlich über zwei Verfahren her: durch Top-down- oder durch Bottom-up-Verfahren. **Top-down-Verfahren** dienen zur Erzeugung nanoskaliger Strukturen durch Verkleinerung bzw. durch ultrapräzise Materialbearbeitung (Zerkleinerung von Pulvern mit Kugelmöhlen, Strukturierung mit Stempeltechniken, Strukturierung mit Elektronenstrahlen, Ionenstrahlen oder kurzwelliger UV-Strahlung), wohingegen bei **Bottom-up-Verfahren** nanoskalige Strukturen gezielt durch chemische Prozesse aus Atomen oder Molekülen aufgebaut werden (Sol-Gel-Prozesse, Gasphasensynthese, Chemische oder Physikalische Gasphasenabscheidung) [FCI 2011, NanoTrust 2008]. Unter Top-down-Verfahren versteht man mechanisch-physikalische Herstellungsverfahren. Bottom-up-Verfahren sind hingegen chemisch-physikalische Herstellungsverfahren, die durch Synthese in der Gasphase, d.h. durch Reaktion in einer Flamme, oder durch Reaktion in Lösung erfolgen können. Bei der Gasphasenreaktion verbinden sich die einzelnen erzeugten Primärpartikel durch Aggregation und Agglomeration in Abhängigkeit der Konzentration entsprechend der Koagulationstheorie zu größeren Einheiten. Die Lebensdauer der nanoskaligen Primärpartikel kann bei hohen Konzentrationen nur wenige Millisekunden betragen. In Lösung können durch Zusatz von stabilisierenden Agenzien und in Abhängigkeit des Lösungsmittels isolierte Nanoobjekte erzeugt und stabilisiert werden, die entweder als Dispersion weiterverarbeitet oder durch Filtration und anschließende Vermahlung gewonnen (Fällungsprozesse) und dann weiterverarbeitet werden können [NanoTrust 2008].

Die Gasphasensynthese von Nanomaterialien erfolgt schon aus technischen Gründen überwiegend in geschlossenen Systemen, die in der Regel im Unterdruck betrieben werden. **Eine Exposition von Arbeitnehmern während des Herstellungsprozesses kann insbesondere an Schnittstellen zwischen geschlossenen und offenen Verfahrensschritten, wie bei der Abfüllung, bei der Probenahme, bei Reinigungs- und Wartungsarbeiten oder bei Störungen des bestimmungsgemäßen Betriebs stattfinden,** denen sicherheitstechnisch besondere Aufmerksamkeit zu widmen ist.

Zusätzlich zu der geringen Anzahl von kommerziell in größerem Maßstab produzierten herkömmlichen Nanomaterialien wird bedingt durch das hohe Innovationspotential eine große Bandbreite unterschiedlicher neuer Nanomaterialien im Labormaßstab in Forschungseinrichtungen, Start-up-Unternehmen und KMU eingesetzt. **Hier werden zwar geringere Mengen verwendet, jedoch ist eine Exposition von Arbeitnehmern wahrscheinlicher, da nicht alle Tätigkeiten im geschlossenen System durchgeführt werden können.**

Als geschlossenes System werden in diesem Zusammenhang die vollständig geschlossene Produktionsanlage und mit entsprechenden HEPA-Filtern ausgestattete Laborabzüge oder Sicherheitswerkbänke als technisch gleichwertig betrachtet. Aus diesem Grund ist besonders in Forschungseinrichtungen, Start-up-Unternehmen und KMU auf ergänzende organisatorische und persönliche Schutzmaßnahmen sowie eine umfassende Unterrichtung und Unterweisung der Beschäftigten zu achten, um ein hohes Schutzniveau zu gewährleisten.

Bei Arbeiten mit flüssigen Medien (zum Beispiel Fällungsreaktionen, Dispergierung in der Flüssigphase), die nicht versprüht werden, ist eine inhalative Aufnahme durch Vermeidung von Aerosolbildung ausgeschlossen. Eine dermale Exposition kann durch geeignete Schutzmaßnahmen vermieden werden.



2 Allgemeine Regelungen zum Arbeitsschutz

Bei Tätigkeiten mit Nanomaterialien sind, wie beim Umgang mit allen anderen chemischen Stoffen, die Bestimmungen des Arbeitsschutzgesetzes und die Bestimmungen der Gefahrstoffverordnung [GefStoffV 2010] anzuwenden. **Der Arbeitgeber hat mit einer Beurteilung der für die Beschäftigten mit ihrer Arbeit verbundenen möglichen Gefährdung festzulegen, welche Maßnahmen des Arbeitsschutzes durchzuführen sind.** Hierzu zählen neben der Gestaltung und Einrichtung der Arbeitsstätte und des Arbeitsplatzes auch Maßnahmen zur Expositionsminde rung gegenüber physikalischen, chemischen und biologischen Einwirkungen. Zusätzlich ist das untergesetzliche Regelwerk der Technischen Regeln für Gefahrstoffe [TRGS] zu beachten.

Es wird empfohlen, die von der NanoKommission der Bundesregierung beschlossenen Prinzipien [NanoKommission 2008] für den Bereich des Arbeitsschutzes bei Nanomaterialien zu berücksichtigen. Dazu ist essentiell, dass die **Verantwortung für die Umsetzung der Gefährdungsbeurteilung und die Umsetzung der abgeleiteten Maßnahmen** für Tätigkeiten mit Nanomaterialien im Rahmen der betrieblichen Strukturen definiert wird. Die in dieser Empfehlung beschriebenen Maßnahmen sind in **bestehende Managementsysteme zu integrieren**. Die vorbildliche Umsetzung von Verantwortung in der Wertschöpfungskette beinhaltet auch die Nutzung von Kommunikationsmöglichkeiten [NanoKommission 2008]. Dazu zählen Schulungen, Training und Transparenz. Außergewöhnliche Informationswege, die über die gängigen Methoden zur Vermittlung von Inhalten hinausgehen, bleiben verstärkt im Gedächtnis und können zudem neue Perspektiven aufzeigen.

Wie bei allen chemischen Stoffen ist derzeit auch bei Nanomaterialien nicht auszuschließen, dass die inhalative, dermale oder orale Aufnahme am Arbeitsplatz zu Gefährdungen führen kann. Dabei werden nicht nur adverse Gesundheitseffekte diskutiert, die sich möglicherweise aus der stofflichen Identität ableiten, sondern auch zusätzlich Gesundheitseffekte, die aus der Aufnahme partikulärer, faser- oder plättchenförmiger Nanomaterialien resultieren können. **An Arbeitsplätzen stehen die inhalative und die dermale Belastung im Vordergrund.** Die Höhe der Exposition wird durch die Freisetzungswahrscheinlichkeit, die Emissionsrate, das Staubungsverhalten und durch die eingesetzten technischen Schutzmaßnahmen vor Ort beeinflusst. So kann eine inhalative Exposition durch Herstellung von Nanomaterialien in geschlossenen Systemen, durch die Weiterverarbeitung und Verwendung in einer nichtstaubenden Form oder in einer flüssigen Suspension (fest in flüssig), die nicht versprüht wird, sowie durch den Einschluss der Nanoobjekte in eine feste Matrix (fest in fest), minimiert werden. Eine dermale Exposition kann unter anderem bei manuellen Tätigkeiten mit staubförmigen oder dispergierten Nanoobjekten auftreten. Sind die Nanoobjekte hingegen in einer Feststoffmatrix gebunden, so ist keine Hautbelastung zu erwarten.

Die Gefahrstoffverordnung [GefStoffV 2010] sieht die folgende Vorgehensweise zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen vor:

1. Informationsermittlung,
2. Gefährdungsbeurteilung,
3. Festlegung der Schutzmaßnahmen,
4. Überprüfung der Wirksamkeit der Maßnahmen,
5. Dokumentation: Berücksichtigt werden müssen alle Arbeitsvorgänge und Betriebszustände inklusive Wartung, Instandsetzung, Störungen und Überwachungstätigkeiten.

2.1 Informationsermittlung

Tabelle: Elemente der Informationsermittlung

Produkt	Informationen über das eingesetzte Produkt (Eigenschaften, Menge, Verwendungsart und -form), gegebenenfalls auch durch explizite Nachfrage bei einem etwaigen Vorlieferanten . Zu den potentiell relevanten Eigenschaften eines Produktes zählen zum Beispiel chemische Identität, Größe, Löslichkeit einschließlich Biobeständigkeit, Agglomerationsverhalten, Morphologie einschließlich Kristallinität, Oberflächenmodifikationen und Beschichtungen, Redoxpotential oder Reaktivität.
Aggregate und Agglomerate	Informationen über die Existenz individueller oder aggregierter bzw. agglomerierter Nanoobjekte . Eine Freisetzung von Nanoobjekten aus Aggregaten und Agglomeraten ist ohne größere Energiezufuhr oft nicht möglich. Um geeignete Schutzmaßnahmen ableiten zu können, sollten daher sowohl das Vorliegen als auch die Größenverteilung der Teilchen identifiziert werden. Für das jeweils vorliegende Produkt sollte z. B. durch Nachfrage beim Vorlieferanten ermittelt werden, unter welchen Bedingungen es agglomerieren kann bzw. welche Bedingungen einzuhalten sind, um eine Deagglomeration auszuschließen. Gegebenenfalls kann durch eine Partikel zählende Messung die Freisetzung nanoskaliger Partikel überprüft werden.
Tätigkeit	Informationen über die Tätigkeit (insbesondere Arbeitsschritte, die zu inhalativer, dermalen oder oraler Aufnahme führen können).
Exposition	Informationen über mögliche Exposition , bevorzugt durch personengetragene Expositionsermittlung in der Nähe des Aufnahmeorgans ermittelt. Die Exposition sollte durch Ermittlung der Massen- und zusätzlich der Partikelanzahlkonzentration ermittelt werden. Bei Bedarf kann die Exposition auch durch die Oberflächenkonzentration beschrieben werden.
Substitution	Informationen über Möglichkeiten der Substitution (einschließlich des Einsatzes von Verfahren oder Zubereitungen des Stoffes, die entsprechend TRGS 600 [TRGS] zu einer geringeren Gefährdung führen).
Datenlücken, Entlastungs- und Besorgnis-kriterien	Sind Datenlücken vorhanden, so sind diese fehlenden Informationen bei der Festlegung von Schutzmaßnahmen angemessen zu berücksichtigen. Insbesondere sollten gegebenenfalls fehlende Erkenntnisse zu toxikologischen Eigenschaften dokumentiert werden. Nach Empfehlungen der NanoKommission sind Entlastungs- und Besorgnis-kriterien zu berücksichtigen, welche eine erste Einschätzung von möglichen Gefährdungen durch Nanomaterialien erlauben. Zu den Entlastungskriterien zählen zum Beispiel die feste Einbindung von Nanomaterialien in eine Matrix, sowie der Verlust potentiell problematischer Eigenschaften, zum Beispiel durch gute Löslichkeit oder vollständige Abbaubarkeit. Besorgnis-kriterien hingegen sind zum Beispiel Hinweise auf eine hohe zu erwartende Exposition, etwa durch eine hohe Produktionsmenge, eine hohe Mobilität, toxikologische und ökotoxikologische Wirkungen sowie Bioakkumulation. Die Berücksichtigung dieser Indikatoren im Risikomanagement führt zu einer umsichtigen und frühzeitigen Erkennung möglicher Gefährdung [NanoKommission 2008].

Quellen zur Informationsermittlung über die Stoffeigenschaften sind zum Beispiel Sicherheitsdatenblätter, Angaben auf dem Etikett, Mitteilungen des Herstellers, das technische und berufsgenossenschaftliche Regelwerk, Veröffentlichungen von Behörden und einschlägigen Organisationen sowie Literaturdaten. **Die nanoskalige Form eines Stoffes kann spezifische charakteristische Eigenschaften aufweisen, die oft noch nicht vollständig in den übli-**

chen Informationsquellen beschrieben sind. Daher sollte dem Wissensstand entsprechend auch aktuelle wissenschaftliche Literatur zur Informationsermittlung herangezogen werden. Falls nicht auf vorhandene Daten zurückgegriffen werden kann, sind Forschungsarbeiten erforderlich, um Wissenslücken zu schließen und zu einer technisch und wirtschaftlich realisierbaren Einschätzung möglicher Gefährdungen durch Nanomaterialien zu kommen. Dies impliziert Messungen zur Exposition und Untersuchungen zur Toxikologie. Die Nano-Kommission liefert eine Kriterienliste mit Besorgnis- und Entlastungskriterien sowie Angaben zu Datenlücken, die als Grundlage für eine vorläufige Risikoabschätzung dienen kann. Bei dem Vorliegen von Datenlücken wird eine tiefgehende Prüfung der betroffenen Kriterien als notwendig erachtet [NanoKommission 2011].

2.2 Gefährdungsbeurteilung

Die Durchführung der Gefährdungsbeurteilung [GefStoffV 2010, TRGS] erfolgt auf der Grundlage der Informationsermittlung. Sie muss nach dem Arbeitsschutzgesetz neben den stofflichen auch alle weiteren Gefährdungen (zum Beispiel mechanische oder elektrische) berücksichtigen. **Auf Basis der Gefährdungsbeurteilung ist die Festlegung der technischen, organisatorischen und persönlichen Schutzmaßnahmen zu prüfen.** So sollte beispielsweise die Auswahl der erforderlichen Filterklasse für Atemschutz als auch für technische Schutzmaßnahmen aufgrund der Ergebnisse der Gefährdungsbeurteilung erfolgen. Hier sind die Exposition und die gefährlichen Eigenschaften des jeweiligen Materials zu berücksichtigen. Für nicht ausreichend sicherheitstechnisch geprüfte Nanomaterialien sollte entsprechend des präventiven Ansatzes eine höhere Filterklasse gewählt werden. Bei persönlicher Schutzausrüstung ist die Belastung der Beschäftigten zu berücksichtigen (Zumutbarkeit von erhöhtem Atemwiderstand, Tragezeit).

2.3 Überprüfung der Wirksamkeit der getroffenen Schutzmaßnahmen

Wie bei anderen Arbeitsstoffen ist auch bei Nanomaterialien die Wirksamkeit der getroffenen Schutzmaßnahmen regelmäßig zu überprüfen. Zudem sind verfügbare Informationen aus arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchungen zu berücksichtigen. Auch wenn bisher noch keine gesundheitsbasierten stoffspezifischen Grenzwerte festgelegt werden konnten, sollte die Exposition der Beschäftigten ermittelt werden, nachdem die Maßnahmen der guten Arbeitspraxis umgesetzt wurden. Gleichzeitig ist zu prüfen, ob die individuellen Schutzmaßnahmen ausreichend erläutert wurden und in der Arbeitspraxis angewendet werden. Dabei sollen die folgenden Ausführungen dieser Empfehlung helfen, die auch auf mögliche Messverfahren hinweisen.

2.4 Dokumentation

Die Dokumentation der Gefährdungsbeurteilung ist eine verbindliche Forderung der Gefahrstoffverordnung [GefStoffV 2010]. Gerade im Zusammenhang mit Nanomaterialien, für die in der Regel noch keine gesundheitsbasierten Grenzwerte aufgestellt wurden, wird empfohlen, die verwendeten **Stoffe, die Arbeitsbedingungen, die getroffenen Schutzmaßnahmen und etwaige Messwerte zur Exposition** zu dokumentieren. Bestehen **Hinweise auf krebserzeugende, erbgutverändernde oder fruchtbarkeitsgefährdende Eigenschaften** wird präventiv entsprechend der Forderungen der Gefahrstoffverordnung empfohlen, für solche Stoffe, die diese Eigenschaften nachgewiesen aufweisen, ein **Verzeichnis der Beschäftigten**, die Tätigkeiten mit Nanomaterialien ausführen, zu führen. In diesem Verzeichnis sollten außer den Messwerten die Dauer der Exposition für jeden Beschäftigten und die individuelle Exposition dokumentiert werden. In der Dokumentation sollten auch die Gründe für die ausgewählten Schutzmaßnahmen niedergelegt werden, um so die Maßnahmen einfacher an neue Erkenntnisse anpassen zu können.



3 Empfehlungen zum Schutz der Arbeitnehmer beim Umgang mit Nanomaterialien

Die notwendigen Schutzmaßnahmen am Arbeitsplatz werden aufgrund der Gefährdungsbeurteilung festgelegt. Geltende Grenzwerte, zum Beispiel die allgemeinen Staubgrenzwerte für die alveolengängige und einatembare Staubfraktion oder stoffspezifische Grenzwerte, sind einzuhalten. Nach derzeitigem Kenntnisstand kann nicht ausgeschlossen werden, dass bei Expositionen gegenüber Nanomaterialien spezifische Wirkungen auftreten, die sich von den Wirkungen größerer Partikel im Mikrometermaßstab unterscheiden. Bei neuen Stoffen, bei denen keine ausreichenden Kenntnisse zu den gefährlichen Eigenschaften vorliegen, ist diese Wirkung nach TRGS 400 und TRGS 526 zunächst zu unterstellen [TRGS]. **Das präventive Vorgehen für unbekannte Stoffe schließt also unbekannte Nanomaterialien mit ein.** Nach TRGS 900 [TRGS] gelten die allgemeinen Staubgrenzwerte nicht zur Beurteilung für ultrafeine Stäube (darunter versteht man eine Staubfraktion mit einer Partikelgröße kleiner $0,1\ \mu\text{m}$ Diffusionsäquivalentdurchmesser unter Einbeziehung ihrer Agglomerate und Aggregate). **Soweit noch keine spezifischen gesundheitsbasierten Grenzwerte festgelegt wurden, ist deshalb eine Minimierung der Exposition anzustreben.** Für die dermale Exposition sind die Empfehlungen der TRGS 401 [TRGS] zu beachten. Folgendes Vorgehen für die Festlegung von Schutzmaßnahmen wird empfohlen:

3.1 Substitutionsmöglichkeiten

Es ist eine Prüfung gemäß TRGS 600 [TRGS] vorzunehmen, ob gesundheitsgefährdende Stoffe oder technische Verfahren durch weniger gefährliche Stoffe oder weniger gefährliche Verfahren (zum Beispiel emissionsgeminderte Stoffvarianten) ersetzt werden können. Hier können **staubförmige Nanomaterialien in flüssigen oder festen Medien gebunden** werden. Eine andere Möglichkeit ist die **Verwendung von Dispersionen, Pasten oder Compounds** statt pulverförmiger, staubender Stoffe, soweit technisch möglich und wirtschaftlich zumutbar. Ebenfalls kann in einigen Fällen das Gefährdungspotenzial von Nanomaterialien durch **Modifikationen** wie zum Beispiel einer Beschichtung der Teilchenoberfläche verringert werden. Informationen zum **Staubungsverhalten** können bei den Herstellern angefragt werden. Angaben für die Vorauswahl wenig staubender Nanomaterialien werden zum Beispiel von dem Institut für Gefahrstoff-Forschung (IGF) und dem Institut für Arbeitsschutz der deutschen gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) veröffentlicht.

3.2 Technische Schutzmaßnahmen

Die Arbeiten sind **möglichst in geschlossenen Apparaturen** emissionsfrei durchzuführen. Bei Tätigkeiten mit Nanomaterialien **im Labor oder mit Kleinmengen** (g, ml) werden Abzüge (bei Verwendung von Gasen), nach DIN EN 14175-2:2003 als emissionsfrei betrachtet [DIN 2003]. Als Alternative können ggf. **Sicherheitswerkbänke** oder ähnliche dem Stand der Technik entsprechende Apparaturen, die wirksame Filter, wie etwa HEPA oder ULPA (mindestens Filterklasse H11, je nach Gefährdungsbeurteilung bis H14 erforderlich) enthalten, verwendet werden. **Regelmäßige Wartungen und Funktionsprüfungen** sind durchzuführen.

Ist die Verwendung einer geschlossenen Apparatur nicht möglich, zum Beispiel bei Reinigungs- und Wartungsarbeiten, so ist die Entstehung von Stäuben oder Aerosolen zu vermeiden. Hierzu sind in Abhängigkeit vom produzierten Material und den Produktionsbedingungen gegebenenfalls Stäube oder Aerosole direkt **an der Quelle abzusaugen** (zum Beispiel bei Befüll- und Entleervorgängen). **Die Absaugeinrichtungen sind regelmäßig zu warten und einer Funktionsprüfung zu unterziehen.** Abgesaugte Luft darf nicht ohne Ab-

Luftreinigung zurückgeführt werden. Daher sollten die Absaugeinrichtungen mit wirksamen **Filtern, zum Beispiel HEPA oder ULPA** (mindestens Filterklasse H11, je nach Gefährdungsbeurteilung bis H14 erforderlich) ausgestattet sein.

3.3 Organisatorische Schutzmaßnahmen

Die Anzahl der exponierten Mitarbeiter sowie die Expositionszeit sind so weit wie möglich zu begrenzen. Dieser Grundsatz gilt insbesondere für Tätigkeiten mit Nanomaterialien, bei denen die technischen Maßnahmen (geschlossenes System, örtliche Absaugung) durch persönliche Schutzmaßnahmen ersetzt wurden. Darüber hinaus ist unbefugten Personen der Zugang zu entsprechenden Arbeitsbereichen nicht zu gestatten.

Bei den organisatorischen Schutzmaßnahmen sind die Prinzipien der NanoKommission umzusetzen [NanoKommission 2008]. Zur Definition und Offenlegung von Verantwortung und Management ist ein wichtiges Element des Managementsystems das **Festlegen von Zuständigkeiten**. Zudem ist die Basis für die Übernahme von Verantwortung in der Wertschöpfungskette eine klare **Zuordnung der Verantwortlichkeiten** sowie ein etablierter **Informationsfluss entlang der gesamten Wertschöpfungskette** [NanoKommission 2008]. So sollte eine **fachkundige Person**, zum Beispiel die Fachkraft für Arbeitssicherheit, bei der Festlegung der organisatorischen Maßnahmen in beratender Funktion beteiligt werden. **Sollten Hinweise auf krebserregende, erbgutverändernde oder fruchtbarkeitsgefährdende Eigenschaften vorliegen, wird präventiv empfohlen, die Eingänge der Arbeitsbereiche sowie die betroffenen Arbeitsplätze zu kennzeichnen**. Morphologische Hinweise auf potentielle krebserregende, erbgutverändernde oder fruchtbarkeitsgefährdende Eigenschaften gibt es zum Beispiel bei biopersistenten Kohlenstoffnanoröhrchen (carbon nanotubes, CNTs), die nach TRGS 521 den Kriterien der WHO-Fasern entsprechen und damit als alveolengängig angesehen werden [TRGS, WHO 1985]. Nanomaterialien dürfen nicht außerhalb der Arbeitsbereiche, wie etwa in Büroräumen oder Fluren, gelagert werden.

Bei der innerbetrieblichen Kennzeichnung von Gefäßen sollte bei nicht abschließend geprüften Nanomaterialien darauf hingewiesen werden, dass es sich um die nanopartikuläre Form des Materials beziehungsweise um eine Substanz mit zum Teil noch unbekanntem Eigenschaften handelt. Nanomaterialien sollten nach TRGS 200 somit neben den bekannten Eigenschaften aus der Einstufung zusätzlich mit der Kennzeichnung **„Achtung – noch nicht vollständig geprüfter Stoff“** versehen sein [TRGS].

3.4 Unterrichtung und Unterweisung der Beschäftigten

Die Beschäftigten sind über die physikalischen und toxikologischen Eigenschaften der eingesetzten Nanomaterialien, die Notwendigkeit besonderer Maßnahmen und über die möglichen Langzeitwirkungen bei Exposition gegenüber nanoskaligen Stäuben zu unterweisen. Entsprechende Informationen sind in die **Betriebsanweisung** aufzunehmen. Die **arbeitsmedizinisch-toxikologische Beratung der Beschäftigten und Unterrichtung über mögliche Untersuchungsangebote** nach der Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge [ArbMedVV 2010] ist unter **Beteiligung des Betriebsarztes** durchzuführen. Die Beschäftigten sind insbesondere über angemessene Maßnahmen, die sie zu ihrem eigenen Schutz und zum Schutz der anderen Beschäftigten am Arbeitsplatz durchzuführen haben, zu unterrichten. Sie sind über die arbeitsmedizinischen Präventionsmaßnahmen aufzuklären. Training und Unterweisung der Beschäftigten sollten im Dialog in beide Richtungen erfolgen [NanoKommission 2008]. **Die Unterweisung soll so gestaltet werden, dass die Beschäftigten aktiv beteiligt werden**. Dabei sind ausreichend Möglichkeiten für Fragen und Feedback der Beschäftigten vorzusehen. Auch erweiterte, innovative Möglichkeiten der Wissensvermittlung sind in Be-

tracht zu ziehen, wie zum Beispiel eine didaktische Verknüpfung von traditionellen Präsenzveranstaltungen und modernen E-Learning-Formen zu einem Blended Learning Konzept.

3.5 Arbeitsmedizinische Präventionsmaßnahmen

Bei Einführung neuer Arbeitsverfahren und Arbeitsstoffe, wie es beim Umgang mit Nanomaterialien in der Regel der Fall ist, sollen arbeitsmedizinische Präventionsmaßnahmen nach Arbeitsschutzgesetz [ArbSchG 2009], ASiG [ASiG 2006] und ArbMedVV [ArbMedVV 2010] dem vorbeugenden Gesundheitsschutz dienen und zum Erhalt der Beschäftigungsfähigkeit beitragen. Dazu gehört die **Beratung des Arbeitgebers durch den Betriebsarzt** in allen betrieblichen Belangen des Arbeits- und Gesundheitsschutzes, seine Unterstützung bei der Gefährdungsbeurteilung und bei der Organisation der „Ersten Hilfe“ beim Umgang mit Nanomaterialien im Betrieb.

Weiterer Teil der Präventionsmaßnahmen ist die **Arbeitsmedizinische Vorsorge**, die zur Vorbeugung, Erkennung und Verhütung von arbeitsbedingten Erkrankungen und Berufskrankheiten durchzuführen ist. **Mit ihrer Hilfe sollen Wechselwirkungen von Arbeitsbedingungen und Gesundheit beurteilt und die Beschäftigten durch den Arbeitsmediziner individuell aufgeklärt und beraten werden.** Sie umfasst auch die arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchungen und das Nutzen der Erkenntnisse aus den Untersuchungen für die Gefährdungsbeurteilung und sonstige Maßnahmen des Arbeitsschutzes.

In der Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge [ArbMedVV 2010] ist derzeit kein spezieller Anlass für Pflicht- oder Angebotsuntersuchungen bei Tätigkeiten mit Nanomaterialien aufgeführt. Danach sind arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen beim Umgang mit Nanomaterialien dann anzubieten bzw. verpflichtend zu veranlassen, wenn diese den bereits bekannten „alten“ Gefahrstoffen oder den Tätigkeiten im Anhang ArbMedVV zuzuordnen sind.

Andere Möglichkeiten ergeben sich, wenn die Beschäftigten Tätigkeiten ausführen, für die Empfehlungen der Unfallversicherungsträger in Form der Berufsgenossenschaftlichen Grundsätze für die Arbeitsmedizinische Vorsorge vorliegen. **In der Praxis erhalten Mitarbeiter an potentiell exponierten Arbeitsplätzen häufig bereits arbeitsmedizinische Untersuchungsangebote aus anderen Anlässen, z. B. Atemschutz und Hautbelastung.** Die systematische Datenerhebung bei solchen Untersuchungsanlässen, zusammen mit einer möglichst genauen Dokumentation der jeweiligen Expositionsbedingungen im Sinne eines „Nanokastors“, kann in der Zukunft wichtige Hinweise auf mögliche Gesundheitsrisiken geben, sei es durch die Erkennung von „sentinel health events“ oder durch die retrospektive epidemiologische Auswertung der so entstehenden Datenbasis [Nasterlack und Groneberg, 2011].

Unabhängig davon sind die Beschäftigten vom Arbeitgeber darüber aufzuklären, dass beim Verdacht auf eine Erkrankung, die im Zusammenhang mit der Tätigkeit beziehungsweise dem Umgang mit Nanomaterialien stehen kann, vom Arbeitgeber eine arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchung nach ArbMedVV zu ermöglichen ist.

Die vorliegenden Daten über die mögliche Wirkung von Nanomaterialien aus den überwiegend toxikologischen Untersuchungen erlauben noch nicht, ein spezifisches wissenschaftlich und medizinisch begründetes Methodenspektrum für eine arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchung bei Exposition gegen Nanomaterialien anzugeben, da die **im Zusammenhang mit Nanopartikeln diskutierten Wirkungen** sowohl hinsichtlich ihrer **Mechanismen** (Beeinflussung der Signaltransduktion auf zellulärer Ebene, Zytotoxizität, Entzündungsförderung) als auch der **potentiellen Zielorgane** (Lunge, Herz-Kreislaufsystem) unspezifisch sind und auch durch **zahlreiche außerberufliche Faktoren** ausgelöst werden können. Entsprechende Befunde sind in der Allgemeinbevölkerung folglich häufig anzutreffen [Nasterlack et al., 2008, Nasterlack und Groneberg, 2011]. Erfahrungen aus epide-

miologischen Untersuchungen liegen in Bezug auf synthetische Nanopartikel nur für einzelne Nanomaterialien vor [Becker et al., 2011, BfR/UBA 2010].

Der Umfang dieser Untersuchung sollte sich deshalb in Abhängigkeit von der Gefährdungsbeurteilung nach den Stoffeigenschaften des verwendeten Nanomaterials richten und vom Betriebsarzt nach aktuellen arbeitsmedizinischen Erkenntnissen und Empfehlungen festgelegt werden. Gegebenenfalls kann ein **Beratungsgespräch** ausreichend sein, wenn zur Beratung körperliche oder klinische Untersuchungen nicht erforderlich sind.

Methoden zur Messung der inneren Exposition mit Nanopartikeln („Biomonitoring“) am Menschen sind derzeit nicht evaluiert. Die Konzentrationsbestimmung der chemischen Grundbestandteile solcher Partikel in Blut, Urin oder anderen Körpermaterialien ist angesichts des winzigen Massebeitrags, den selbst eine vergleichsweise hohe Partikelzahl im Nanobereich darstellen würde, in den meisten Fällen nicht zielführend. Eine Ausnahme stellt gegebenenfalls eine ungewöhnlich hohe Exposition dar. Ansonsten kann **Biomonitoring** versucht werden, wenn es sich bei dem Nanomaterial um eine chemische Substanz handelt, die üblicherweise im menschlichen Körper nicht oder fast nicht nachweisbar ist und für die eine hinreichend sensitive Analysenmethode besteht [Nasterlack und Groneberg, 2011].

Es wird empfohlen, die **etablierten Untersuchungsprogramme zur arbeitsmedizinischen Vorsorge** (zum Beispiel zur Diagnostik von Lungenerkrankungen) weiter anzuwenden, weil durch die Auswertung der Untersuchungsergebnisse im Verlauf möglicherweise veränderte Häufigkeiten von adversen Gesundheitseffekten in Zusammenhang mit der Exposition gegen Nanomaterialien aufgedeckt werden können. Zusammen mit betrieblichen Exponierten-Registern könnten die Untersuchungsergebnisse die Basis zukünftiger epidemiologischer Forschung bilden. Dabei ist bei diagnostischen Methoden mit Nebenwirkungen, wie die Strahlenbelastung bei Röntgen-Untersuchungen, die Indikation sorgfältig abzuwägen [NIOSH 2009b].

Für wissenschaftliche Fragestellungen ist bereits eine ausführliche Liste möglicher Untersuchungsparameter für Exponierte vorgeschlagen worden [Mittmann-Frank et al., 2009, Mittmann-Frank et al., 2010]. Diese kann aber sowohl wegen ihres Umfangs als auch wegen der mangelnden Validierung der Parameter für die vorliegende Fragestellung in der Praxis nicht die Grundlage für ein Screeningprogramm bei Umgang mit Nanomaterialien liefern. **Nach derzeitigem Kenntnisstand geht das größte gesundheitliche Risiko von inhalierbaren, nicht oder schwer löslichen Nanomaterialien aus.** Diskutiert werden unter anderem Wirkungen im Respirationstrakt wie Entzündungsreaktionen, oxidativer Stress und Lungenfibrosen, adverse Effekte im kardiovaskulären System und zentralen Nervensystem. Befürchtet werden auch kanzerogene Wirkungen von Nanoröhren, die morphologische Ähnlichkeit mit Asbestfasern aufweisen. **Die Untersuchungen richten sich darauf, potentielle Wirkungen mit einem breiten Methodenspektrum möglichst frühzeitig zu erfassen.** Mögliche sensibilisierende Stoffeigenschaften sind ebenfalls in Betracht zu ziehen. Solche wissenschaftlichen Programme können vielmehr vielleicht künftig Hinweise für eine spezielle arbeitsmedizinische Vorsorge bei Exposition gegen Nanomaterialien im Betrieb liefern.

3.6 Personenbezogene Schutzmaßnahmen

Sind technische und organisatorische Schutzmaßnahmen nicht ausreichend oder können diese nicht installiert beziehungsweise angewandt werden, sind persönliche Schutzmaßnahmen wie Atemschutz erforderlich (zum Beispiel filtrierender **Atemschutz der Filterklasse P2, FFP2, P3 oder FFP3; die Auswahl erfolgt in der Gefährdungsbeurteilung**). In Abhängigkeit der möglichen Gefährdungen und des Expositionspfads kann das Tragen von

personenbezogener Schutzausrüstung notwendig sein. Dabei sind die **geltenden Tragezeitbegrenzungen und arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen** beim Tragen von Atemschutz zu beachten [BGR 190].

Für Partikel von 2 bis 200 nm steigt die Wirksamkeit von Filtern mit abnehmender Partikelgröße. Unterhalb von 200 nm nimmt nämlich die Diffusion von Partikeln stark zu [nanosafe 2008]; beim Durchströmen des Filtermediums kollidieren die Partikel daher mit höherer Wahrscheinlichkeit mit Fasern des Filtermediums, wo sie gebunden werden. Messungen des IFA haben eine „total number penetration efficiency“ dreier verwendeter P3-Filter für Natriumchlorid-Partikel zwischen 14 und 100 nm von zwischen 0,011 und 0,026 %, bezogen auf die Partikelanzahl, nachgewiesen. Die Daten zu P2-Filtern zeigen eine Durchdringung von 0,2 % bezogen auf die Partikelanzahl [IFA_a].

Bei der Auswahl der erforderlichen Schutzhandschuhe ist auf geeignetes Handschuhmaterial zu achten. **Das Handschuhmaterial muss der maximalen Tragedauer unter Praxisbedingungen gerecht werden.** Hier sollten die **Permeationszeit** (Durchbruchzeit in Abhängigkeit vom Handschuhmaterial und der Materialstärke) sowie die **chemische Kompatibilität mit dem jeweiligen Nanomaterial** berücksichtigt werden. Neben dem Schutz der Hände kann es erforderlich sein, andere Hautpartien durch Schutzausrüstung zu schützen. Hierzu gehören besonders **Schutzanzüge, Schürzen und Stiefel**. Der Schutzanzug sollte nicht aus Wolle oder Baumwolle bestehen, sondern aus Polyethylen hoher Dichte (HDPE) oder einem gleichwertigen Material gefertigt sein. Hinweise zur Wirksamkeit von Textilien aus HDPE sowie zur Effizienz unterschiedlicher Handschuhmaterialien gegenüber wurden in einem Abschlussbericht von Nanosafe veröffentlicht [Nanosafe2 2008].

Zusätzlich zu beachten sind neben den hier aufgeführten Staubschutzmaßnahmen weitere Maßnahmen, die sich grundsätzlich aufgrund spezieller Stoffeigenschaften ergeben können, zum Beispiel **zusätzliche Explosionsschutzmaßnahmen beim Umgang mit oxidierbaren Nanomaterialien, spezifische Schutzmaßnahmen beim Umgang mit reaktiven oder katalytisch wirksamen Nanomaterialien**. Außer den speziell auf Nanomaterialien ausgerichteten Maßnahmen sind alle Maßnahmen, die sich aus der Gefährdungsbeurteilung ergeben, einzuhalten, damit unter anderem die Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) weiterer Arbeitsstoffe, zum Beispiel von Lösemitteln, eingehalten werden. Auch eventuell vorhandene toxikologisch-arbeitsmedizinische Informationen über den Stoff, wie z. B. Derived No Effect Level-Werte (DNEL-Werte), sind bei der Erstellung der Gefährdungsbeurteilung in Erwägung zu ziehen.

Die Wirksamkeit der angewandten Schutzmaßnahmen (zum Beispiel PSA) ist zu überprüfen. **Geeignete Methoden zur Überprüfung der Wirksamkeit sind messtechnische und nicht-messtechnische Methoden.** Liegen verbindliche Grenzwerte vor, d. h. AGW oder verbindliche Grenzwerte der EU, so sind diese nach TRGS 402 als Beurteilungsmaßstab heranzuziehen [TRGS]. Sind weder verbindliche Grenzwerte, noch sonstige toxikologisch-arbeitsmedizinische Risiko-beurteilungen (z. B. DNEL-Werte) vorhanden, so kann die Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen durch Messung geeigneter technischer Parameter ermittelt werden [TRGS]. Beispiele hierfür sind etwa die Überprüfung der Wirksamkeit einer Absaugung oder Lüftungsanlage sowie Arbeitsplatzmessungen der Expositionsminderung durch die getroffenen Schutzmaßnahmen.

3.7 Ablaufschema: Gefährdungsbeurteilung bei Tätigkeiten mit Nanomaterialien am Arbeitsplatz

Der Anwendungsbereich sind gezielte Tätigkeiten mit Nanomaterialien (siehe Ablaufschema im Anhang).



4 Stand und Entwicklungen der Messverfahren zur Bestimmung der inhalativen Exposition gegenüber Nanomaterialien

Messgrößen zur wirkungsbezogenen Beschreibung von Nanomaterialien können derzeit noch nicht abschließend angegeben werden. Neben der Bestimmung der Staubexposition mittels der üblichen **gravimetrischen Verfahren** ist daher eine Messung von Nanomaterialien mit sensitiveren Methoden empfehlenswert.

Die **Partikelanzahlkonzentration** bzw. **Partikelgrößenverteilung** und die **Oberflächenkonzentration** der nanostrukturierten Materialien, momentan die am häufigsten bestimmten Messgrößen bei Nanomaterialien, werden zur Zeit hauptsächlich mit stationären Geräten erfasst. Dabei handelt es sich um eine kostenintensive und aufwendige Messtechnik, die dem Stand der Technik entspricht, die nur durch Vergleich mit Referenzmethoden (üblicherweise SMPS) in etablierten Testeinrichtungen (zum Beispiel am Institut für Gefahrstoff-Forschung) aufwändig validiert werden kann und noch nicht standardisiert ist¹ (siehe Kapitel 4.1).

Grundlage für Messungen der inhalativen Exposition an Arbeitsplätzen ist die TRGS 402 [TRGS]. Zusätzlich müssen bei der Bestimmung von nanostrukturierten Materialien charakteristische Besonderheiten berücksichtigt werden, die über die Erfordernisse der TRGS 402 hinausgehen (unter anderem muss das Vorhandensein ubiquitärer ultrafeiner Aerosole beachtet werden). Spezifische Messstrategien werden im Kapitel 4.2 genannt.

4.1 Messverfahren

Folgende Messverfahren sind für Messungen an Arbeitsplätzen verfügbar²:

- Das am weitesten verbreitete Gerät zur Messung der **Partikelanzahlkonzentration** im Nanometerbereich ist der **Kondensationskernzähler (CPC)**. Dieser ermöglicht die Messung der Partikelanzahlkonzentration (Gesamtanzahlkonzentration), nicht aber die Bestimmung der Partikelgrößenverteilung, der Morphologie und der chemischen Zusammensetzung von Partikeln³ vom Nanometer- bis in den Mikrometerbereich. Die Messbereiche variieren dabei je nach Hersteller. Die Kondensationskernzähler gibt es als stationäre und tragbare Varianten.
- Der **Scanning Mobility Particle Sizer (SMPS und DMPS)** wird zur Bestimmung der **Partikelanzahlkonzentration und -größenverteilung** eingesetzt. Gemessen wird üblicherweise in einem Größenbereich von 5 bis 1000 nm. Wird ergänzend ein optischer Partikelzähler verwendet, kann der Größenbereich bis zu > 30 µm erweitert werden (**Wide Range Aerosol Spektrometer, WRAS**). Aussagen zur Morphologie und zur chemischen Zusammensetzung der gemessenen Partikel können nicht getroffen werden.
- Als **personentragbare Variante** zur parallelen Erfassung der **Partikelanzahlkonzentration** und der **mittleren Partikelgröße** stehen Geräte verschiedener Anbieter, wie zum Beispiel **NanoTracer** (Messbereich 10 bis 300 nm), **miniDISC**

¹ Die Eignung von Messverfahren und Schutzmaßnahmen werden unter anderem von der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) beurteilt. Der Stand der Technik ist zu berücksichtigen. DGUV-Methoden sind Bestandteil des Stands der Technik. Weitere Informationen zu geeigneten Messverfahren finden sich zum Beispiel in der BGI-Arbeitsmappe: „Messung von Gefahrstoffen“.

² Die Beschreibung der Messverfahren berücksichtigt gängige Verfahren und erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

³ Im Bereich der Messtechnik wird der Begriff Partikel nicht nur für Primärpartikel, sondern auch für Agglomerate und Aggregate verwendet.

(Messbereich 10 bis 400 nm), das **NanoCheck** (Messbereich 25 bis 300 nm) zur Verfügung.

Derzeit wird im Rahmen des europäischen Projekts NANODEVICE an der Entwicklung personentragbarer Messgeräte mit bekannten und teilweise neuen Messprinzipien gearbeitet. Prototypen werden bis zum Jahresende 2012 verfügbar sein.

- Zur Erfassung der **Oberflächenkonzentration** lungendeponierbarer Partikel wird der stationäre **Nanoparticle Surface Area Monitor (NSAM)** eingesetzt. Gemessen wird in einem Größenbereich von 10 bis 500 nm.
- Als **sammelnde Systeme für eine anschließende elektronenmikroskopische Analyse** sind unter anderem elektrostatische oder thermophoretische Abscheider geeignet. Zu nennen sind der **Nanometer-Aerosol-Sampler (NAS)**, der in einem Bereich von 2 bis 100 nm abscheidet und der **Thermalpräzipitator** als tragbares Messsystem, welcher sich noch in der Entwicklungsphase befindet.
- Als **Analysemethoden**, nachgeschaltet den sammelnden Verfahren (inkl. filternde Verfahren), stehen entweder die klassischen Methoden der chemischen Analytik, wie beispielsweise **Atomabsorptionsspektrometrie**, oder bildgebende Verfahren, wie **Transmissionselektronenmikroskopie (TEM)** oder **Rasterelektronenmikroskopie (REM)**, zur Charakterisierung der Nanomaterialien zur Verfügung. Mit Hilfe dieser bildgebenden Verfahren können die **Morphologie** sowie der **Agglomerationsgrad** der Materialien beschrieben werden. Die energie-dispersive **Röntgen-Fluoreszenz-Analyse (EDX)** ermöglicht ergänzend auch die Charakterisierung der **stofflichen Zusammensetzung** einzelner Nanoobjekte. Allerdings ist der hohe technische Aufwand dieser Verfahren zu berücksichtigen. Quantitative Aussagen sind mit dieser Methode zur Zeit nur eingeschränkt möglich.

Weitere Messsysteme zur Bestimmung der Partikelanzahlkonzentration, Partikelgrößenverteilung oder Oberflächenkonzentration werden nach Abschluss von Forschungsprojekten, wie zum Beispiel NANODEVICE, erwartet.

Üblicherweise werden bei Messungen an Arbeitsplätzen verschiedene der genannten Messverfahren parallel eingesetzt, um eine möglichst umfassende Aussage zur Exposition am Arbeitsplatz zu erhalten [BASF, IFA_b, NIOSH 2009a, OECD 2009, VCI 2007]. Ein aktueller Überblick über die Messtechnik ist in der Fachzeitschrift Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft [Pelzer et al., 2010] erschienen.

Erste systematische Vergleichsuntersuchungen der Messtechniken wurden innerhalb des BMBF-Forschungsprojektes NanoCare durchgeführt. Bei der Partikelgrößenbestimmung stimmten die Geräte gut überein, bei der Partikelanzahlkonzentration sind die im Projekt eingesetzten Messsysteme jedoch mit einer durchschnittlichen Abweichung von 30 % jedoch noch nicht standardisiert [Krug et al., 2009]. Weitere Ergebnisse von Vergleichsuntersuchungen zur Validierung der Messtechnik werden in der nächsten Zeit erwartet. So erfolgte 2010 ein Vergleich tragbarer CPC-Geräte, bei dem auch der miniDisc, NanoTracer und NanoCheck geprüft wurden [Asbach et al., 2011]. Weitere Vergleichs- und Validierungsmessungen sind innerhalb von Forschungsprojekten (unter anderem im Rahmen von NANODEVICE und NanoGEM) geplant.

4.2 Spezielle Messstrategien zur Ermittlung der inhalativen Exposition gegenüber Nanomaterialien

Die TRGS 402 [TRGS] gibt Auskunft über die Ermittlung und Beurteilung der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen, sie bildet die Grundlage für alle Arbeitsplatzmessungen und beschreibt unter anderem die Vorgehensweise bei der Ermittlung der inhalativen Exposition. Die Ermittlungen der inhalativen Exposition gezielt hergestellter Nanomaterialien verlangen zusätzliche Anforderungen, die in speziellen Messstrategien geregelt werden müssen.

Ein Grund sind die allgegenwärtigen ultrafeinen Aerosole aus anderen Quellen, die von den Produktpartikeln nicht zu unterscheiden sind. So können unter anderem **Hintergrundkonzentrationen**, zum Beispiel von Dieselruß, Emissionen aus Elektro- oder Zweitaktmotoren, Rauche, Emissionen aus heißen und/oder gefetteten Metallteilen, Emissionen aus Schleifprozessen oder flüssige Aerosole wie Sprays die Messungen von Nanomaterialien stark beeinflussen. **Bei der Beurteilung von Messungen von Nanomaterialien sind solche Einflüsse zu beachten und in speziellen Verfahrensanweisungen (VA'en/SOP's) zu regeln** (zum Beispiel ca. 1 Million Partikel/cm³ in einem Raucherraum bzw. 100.000 Partikel/cm³ an vielbefahrenen Straßen). Dadurch wird eine spezifische Messstrategie sehr aufwendig und den damit verbundenen umfangreichen Messeinsatz zeitintensiv und teuer.

Trotzdem besteht ein großes Interesse der Firmen und der Beschäftigten, einen ersten Überblick über mögliche Expositionen gegenüber Nanomaterialien an Arbeitsplätzen zu erhalten. **Aus diesem Grund wird ein gestuftes Vorgehen zur Expositionsabschätzung diskutiert**, welches solange angewendet werden kann, bis für Nanomaterialien stoffspezifische, gesundheitsbasierte Arbeitsplatzgrenzwerte gelten [NIOSH, 2009a, BASF sowie BAuA, BG RCI, IFA, VCI, 2012].

Das gestufte Vorgehen bei der Expositionsabschätzung beinhaltet drei Schritte [BAuA, BG RCI, IFA, VCI, 2012]:

1. Informationserfassung

In einer ersten Stufe muss geklärt werden, **ob Nanomaterialien an den Arbeitsplätzen freigesetzt werden können**. Zu prüfen ist, ob Nanomaterialien hergestellt bzw. bearbeitet werden (ultrafeine Aerosole und Feinstäube sind nicht Gegenstand des Leitfadens) und ob Emissionen technisch bedingt überhaupt auftreten können. Kann das nicht ausgeschlossen werden, sind Bewertungen nach Stufe zwei notwendig.

2. Basisbeurteilung

Existiert für die zu beurteilenden Nanomaterialien **kein Arbeitsplatzgrenzwert**, muss geklärt werden, ob der **Eingreifwert** (individuell festgelegter, wissenschaftlich begründeter und repräsentativer Luftkonzentrationswert) überschritten wird und ob dieser signifikant über der **Hintergrundkonzentration** liegt. Wird in der Stufe zwei der Eingreifwert und die Hintergrundkonzentration signifikant überschritten, ist eine Beurteilung nach Stufe drei notwendig.

3. Expertenbeurteilung

Hier kommen die oben genannten und unten näher erläuterten **speziellen Messstrategien** zum Einsatz. Dabei werden Messgeräte, die dem Stand der Technik entsprechen, eingesetzt. Die Messstrategien, festgelegt in Verfahrensanweisungen, werden dem jeweiligen Wissensstand angepasst.

Zusätzlich können zur Abschätzung einer Verschmutzung der Arbeitsbereiche **Wischproben** gezogen werden (zum Beispiel Spektro-Tabs für eine anschließende rasterelektronenmikroskopische Auswertung). **Es muss darauf hingewiesen werden, dass auch bei keiner Überschreitung des Hintergrundes oder bei Einhaltung des Eingreifswertes begrenzt Emissionen von Nanomaterialien nicht auszuschließen sind.**

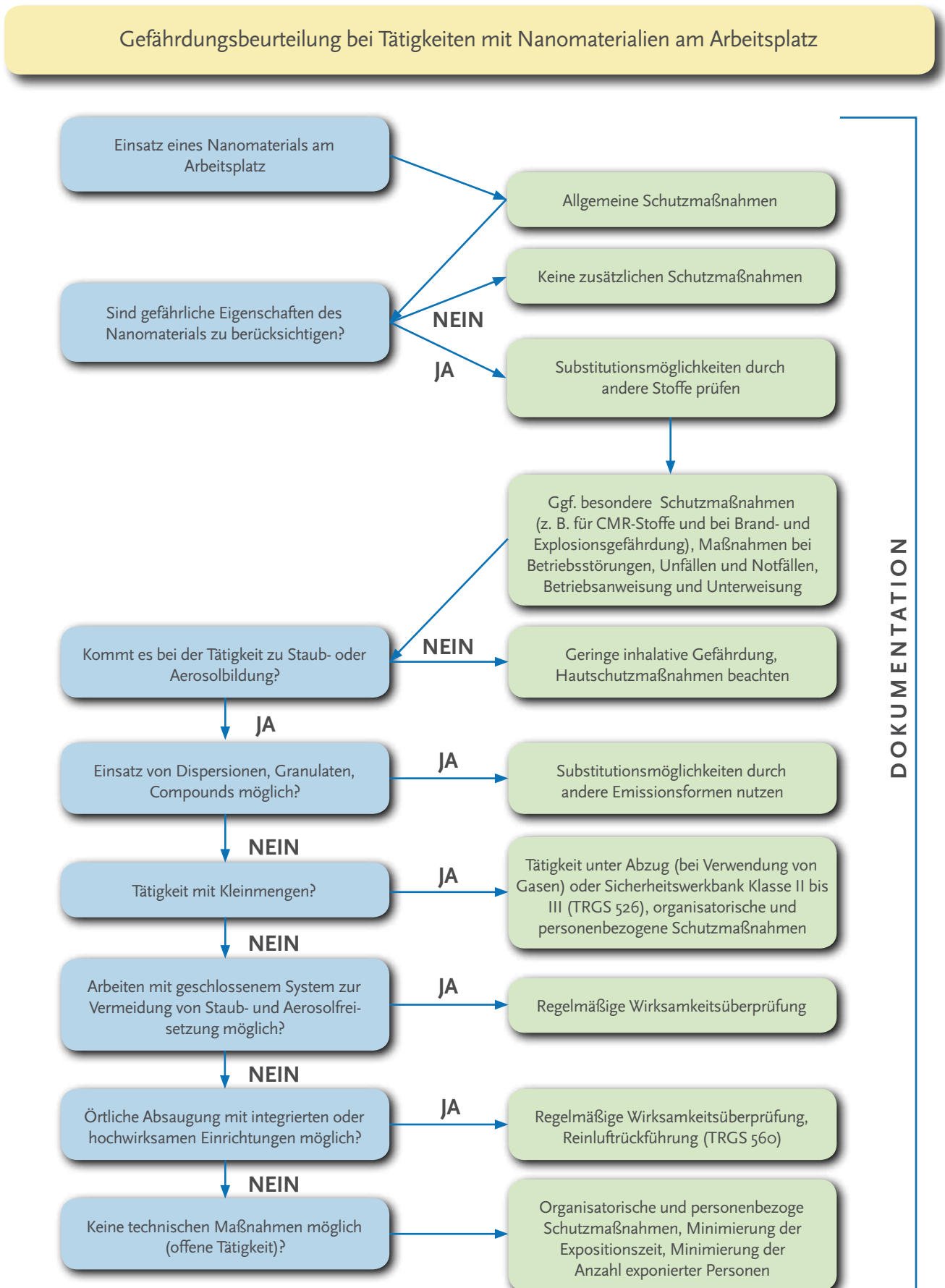
Ergänzt wird die gestufte Expositionsabschätzung durch **spezielle Messstrategien**, die die Basisbeurteilung und die Expertenbeurteilung konkretisieren. Im Rahmen von Nano-Care wurde dazu eine erste spezielle Messstrategie zur Ermittlung der inhalativen Exposition gegenüber Nanomaterialien entwickelt [Krug et al., 2009]. Dabei wird im Vorfeld der eigentlichen Messungen die **Hintergrundkonzentration am Arbeitsplatz** bestimmt, das heißt Messungen am Arbeitsplatz ohne die typischen Tätigkeiten mit den Nanomaterialien. **Erst danach erfolgt die eigentliche Messung während der Tätigkeiten mit den Nanomaterialien.** Wichtig sind die parallelen Außenluftmessungen sowohl im Vorfeld als auch während der eigentlichen Expositionsmessungen.

Sind die Messwerte bei den Tätigkeiten mit Nanomaterialien höher als im Vorfeld, unter Beachtung der Außenluftmessungen, dann werden Nanomaterialien freigesetzt. Allerdings müssen auch dabei **weitere Partikelemissionen aus anderen Quellen** ausgeschlossen werden. Zusätzlich werden mit speziellen Sammlern (Elektro- oder Thermalpräzipitatoren) Probenträger für eine nachfolgende elektronenmikroskopische Auswertung gesammelt, um die eventuell vorhandenen Nanomaterialien morphologisch oder auch mit Hilfe der EDX-Analyse zu charakterisieren.

Diese speziellen Messstrategien werden entsprechend den wissenschaftlichen Erkenntnissen angepasst (zurzeit Überarbeitung im BMBF Forschungsprojekt NanoGEM). Weitere spezielle Messstrategien zur Bestimmung der inhalativen Exposition gegenüber Nanomaterialien sind unter anderem von NIOSH veröffentlicht worden [NIOSH 2010].

Anhang

Ablaufschema



Abkürzungsverzeichnis

AGS	Ausschuss für Gefahrstoffe
AGW	Arbeitsplatzgrenzwert nach Gefahrstoffverordnung
ArbMedVV	Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge
ArbSchG	Arbeitsschutzgesetz
ASiG	Arbeitssicherheitsgesetz
BAuA	Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
BDI	Bundesverband der deutschen Industrie
BfR	Bundesinstitut für Risikobewertung
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
CPC	Condensation Particle Counter
DGUV	Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (früher: HVBG, Hauptverband der Berufsgenossenschaften)
DMPS	Differential Mobility Particle Sizer
EDX	Energiedispersive Röntgenanalyse
FCI	Fonds der chemischen Industrie
ICCA	International Council of Chemical Associations
IFA	Institut für Arbeitsschutz der deutschen gesetzlichen Unfallversicherung (früher: BGIA)
IGF	Institut für Gefahrstoff-Forschung der Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie
ISO	International Standardisation Organisation
JRC	Joint Research Centre
NAS	Nano Aerosol Sampler
NSAM	Nanoparticle Surface Area Monitor
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
SEM	Scanning Electron Microscopy (Rasterelektronenmikroskopie)
SMPS	Scanning or Stepped Mobility Particle Sizer
TEM	Transmissionselektronenmikroskopie
TRGS	Technische Regeln für Gefahrstoffe
UBA	Umweltbundesamt
VCI	Verband der Chemischen Industrie
WRAS	Wide Range Aerosol Spektrometer

Literatur

[ArbMedVV 2010]

Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge vom 18. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2768), zuletzt geändert durch Artikel 5 Absatz 8 der Verordnung vom 26. November 2010 (BGBl. I S. 1643)

<http://bundesrecht.juris.de/arbmedvv/index.html>

[ArbSchG 2009]

Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit (Arbeitsschutzgesetz – ArbSchG) vom 7. August 1996 (BGBl. I S. 1246), zuletzt geändert durch Artikel 15 Absatz 89 des Gesetzes vom 5. Februar 2009 (BGBl. I S. 160)

<http://bundesrecht.juris.de/arbschg/index.html>

[Asbach et al., 2011]

Asbach, C.; Kaminski, H.; Von Barany, D.; Monz, C.; Dziurawitz, N.; Pelzer, J.; Berlin, K.; Dietrich, S.; Götz, U.; Kiesling, H.-J.; Schierl, R.: Intercomparison of handheld nanoparticle monitors, 05.-07.04.2011, Nancy, France: INRS Occupational Health Research Conference 2011, Vortrag

[ASiG 2006]

Gesetz über Betriebsärzte, Sicherheitsingenieure und andere Fachkräfte für Arbeitssicherheit vom 12. Dezember 1973 (BGBl. I S. 1885), zuletzt geändert durch Artikel 226 der Verordnung vom 31. Oktober 2006 (BGBl. I S. 2407)

<http://bundesrecht.juris.de/asig/index.html>

[BASF]

BASF: Leitfaden zur sicheren Herstellung und bei Tätigkeiten mit Nanopartikeln an Arbeitsplätzen in der BASF SE

www.basf.com/group/corporate/de/content/sustainability/dialogue/in-dialogue-with-politics/nanotechnology/employees

[BAuA]

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA)

www.baua.de

[BAuA, BG RCI, IFA, VCI, 2012]

Brock, T. H.; Berges, M.; Pelzer, T.; Bachmann, V.; Plitzko, S.; Wolf, T.; Engel, S.; Götz, U.; Ragot, J.; Voetz, M.; Kund, K.; Klages-Büchner, S.; Swain, K.; Gannon, P.; Knobl, S.; Reisinger, M.; Billerbeck, U.; Stintz, M.; Heinemann, M.; Asbach, C.; Kuhlbusch, T.; Reuter, M.; Schröter, N.; Eichstädt, D.; Rommert, A.; Fischer, R.:

Ein mehrstufiger Ansatz zur Expositionsermittlung und -bewertung nanoskaliger Aerosole, die aus synthetischen Nanomaterialien in die Luft am Arbeitsplatz freigesetzt werden
www.vci.de/Downloads/PDF/Expositionsermittlung%20und%20bewertung%20nanoskaliger%20Aerosole%20.pdf

[baua_uba_bfr_forschungsstrategie 2007]

BAuA/UBA/BfR: Nanotechnologie: Gesundheits- und Umweltrisiken von Nanomaterialien – Forschungsstrategie
www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/Nanotechnologie/Forschungsstrategie.html

[baua_vci_firmenbefragung 2008]

Tätigkeiten mit Nanomaterialien in Deutschland - Ergebnisse der BAuA/VCI-Fragebogenaktion (in: Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft 10/2007, S. 419-424)
[www.gefahrstoffe.de/gest/currentarticle.php?data\[article_id\]=38107](http://www.gefahrstoffe.de/gest/currentarticle.php?data[article_id]=38107)

[baua_vci_leitfaden 2007]

VCI/BAuA-Leitfaden für Tätigkeiten mit Nanomaterialien am Arbeitsplatz
www.baua.de/dok/675748

[Becker et al., 2011]

Becker, H.; Herzberg, F.; Schulte, A.; Kolossa-Gehring, M.: The carcinogenic potential of nanomaterials, their release from products and options for regulating them, *Int J Hyg Environ Health* (2011) 214(3):231-8. Epub 2010 Dec 17

[BfR/UBA 2010]

Beurteilung eines möglichen Krebsrisikos von Nanomaterialien und von aus Produkten freigesetzten Nanopartikeln - Stellungnahme des Bundesinstituts für Risikobewertung und des Umweltbundesamtes vom 15. April 2010
www.uba.de/uba-info-medien/4068.html

[BGR 190]

BGR 190, Benutzung von Atemschutzgeräten, DGUV, 2011
<http://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/r-190.pdf>

[DIN 2003]

Abzüge - Teil 2: Anforderungen an Sicherheit und Leistungsvermögen; Deutsche Fassung EN 14175-2:2003
www.beuth.de/langanzeige/DIN-EN-14175-2/de/59423196.html

[European Commission 2011]

Empfehlung der Kommission vom 18. Oktober 2011 zur Definition von Nanomaterialien, Amtsblatt L 275/38 vom 20.10.2011
<http://eur-lex.europa.eu/JOHtmL.do?uri=OJ:L:2011:275:SOM:de:HTML>

[FCI 2011]

FCI, Fonds der Chemischen Industrie: Informationsserie „Wunderwelt der Nanomaterialien“, Produktion 5 Werkstatt für Winzlinge 5-1 Zwei Wege führen zu Nanostrukturen
http://fonds.vci.de/Folien_Service/default2~cmd~shf~docnr~129899~mode~19~ond~sn d~f~nd~.htm

[GefStoffV 2010]

Gefahrstoffverordnung vom 26. November 2010 (BGBl. I S. 1643, 1644), geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 28. Juli 2011 (BGBl. I S 1622)
www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/Rechtstexte/Gefahrstoffverordnung.html

[ICCA 2010]

ICCA Core Elements of a Regulatory Definition of Manufactured Nanomaterials, November 2010
www.icca-chem.org/ICCADocs/Oct-2010_ICCA-Core-Elements-of-a-Regulatory-Definition-of-Manufactured-Nanomaterials.pdf

[IFA_a]

Institut für Arbeitsschutz der deutschen gesetzlichen Unfallversicherung (IFA, früher: BGIA): Ultrafeine Aerosole und Nanopartikel am Arbeitsplatz
www.dguv.de/ifa/de/fac/nanopartikel/index.jsp
www.dguv.de/ifa/de/fac/nanopartikel/schutzmassnahmen/index.jsp

[IFA_b]

Institut für Arbeitsschutz der deutschen gesetzlichen Unfallversicherung (IFA, früher: BGIA): Messtechnische Empfehlungen
www.dguv.de/ifa/de/fac/nanopartikel/messtechnik/index.jsp

[ISO/TS 80004-1:2010]

Nanotechnologies -- Vocabulary -- Part 1: Core terms
www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=51240

[ISO/TS 27687:2008]

TECHNICAL SPECIFICATION ISO/TS 27687, First edition 2008-08-15, Corrected version 2009-02-01
www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_tc_browse.htm?commid=381983

[JRC 2010]

Joint Research Centre (JRC) of the European Commission: Considerations on a Definition of Nanomaterial for Regulatory Purposes, 2010, EUR 24403 EN
http://ec.europa.eu/dgs/jrc/downloads/jrc_reference_report_201007_nanomaterials.pdf

[Krug et al., 2009]

Krug, H.; Kuhlbusch, T.; Nau, K.; Steinbach, C.; Förster, A.: NanoCare - Gesundheitsrelevante Aspekte synthetischer Nanomaterialien. Informationsschrift zu NanoCare, Juni 2009

[Mittmann-Frank et al., 2009]

Mittmann-Frank, M.; Berger, H.; Buchter, A.: Arbeitsmedizinisches und präventivmedizinisches Untersuchungsprogramm bei Exposition mit Nanopartikeln und speziellen oder neuen Materialien, Zbl Arbeitsmed 59 (2009) 336–343

[Mittmann-Frank et al., 2010]

Mittmann-Frank, M.; Berger, H.; Pföhler, C.; Bücker, A.; Wilkens, H.; Arzt, E.; Schmitts, K.-P.; Wennemuth, G.; Hannig, M.; Buchter, A.: Klinische und diagnostische Befunde bei Exposition gegenüber Nanopartikeln und neuen Materialien, Zbl Arbeitsmed 60 (2010) 328–348

[nanocare]

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) - Forschungsprojekt „NanoCare - verantwortungsvoller Umgang mit der Nanotechnologie“
www.nanopartikel.info/cms/Projekte

[NanoKommission 2008]

NanoKommission der deutschen Bundesregierung: Verantwortlicher Umgang mit Nanotechnologien, Bericht und Empfehlungen der NanoKommission der deutschen Bundesregierung, 2008

www.bmu.de/chemikalien/nanotechnologie/nanodialog/doc/42655.php

[NanoKommission 2011]

NanoKommission der deutschen Bundesregierung: Verantwortlicher Umgang mit Nanotechnologien, Bericht und Empfehlungen der NanoKommission, 2011

www.bmu.de/chemikalien/nanotechnologie/nanodialog/doc/46552.php

[nanosafe 2008]

Nanosafe, Safe production and use of materials. Are conventional protective devices such as fibrous media, respirator cartridges, protective clothing and gloves also efficient for nanoaerosols? Dissemination report, DR-325/326-200801-1, 2008, p. 3

www.nanosafe.org/home/liblocal/docs/Dissemination%20report/DR1_s.pdf

[NanoTrust 2008]

Raab, C.; Simkó, M.; Fiedeler, U.; Nentwich, M.; Gázsó, A.: Institut für Technikfolgen-Abschätzung (ITA) der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Herstellungsverfahren von Nanopartikeln und Nanomaterialien, NanoTrust-Dossier Nr. 006, November 2008

<http://epub.oeaw.ac.at/ita/nanotrust-dossiers/dossier006.pdf>

[Nasterlack et al., 2008]

Nasterlack, M.; Zober, A.; Oberlinner, C.: Considerations on occupational medical surveillance in employees handling nanoparticles, *Int Arch Occup Environ Health* (2008) 81:721–726

[Nasterlack und Groneberg, 2011]

Nasterlack M.; Groneberg D. (2011): Nanopartikel, Ultrafeine Stäube. In: Triebig, G.; Kentner, M.; Schiele, R. (Hrsg.): *Arbeitsmedizin – Handbuch für Theorie und Praxis*, 2. Auflage, Kap. 28, 602-613. Gentner, Stuttgart

[NIOSH 2009a]

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH): Approaches to Safe Nanotechnology: Managing the Health and Safety Concerns Associated with Engineered Nanomaterials, DHHS (NIOSH) Publication 2009-125, March 2009

www.cdc.gov/niosh/docs/2009-125

[NIOSH 2009b]

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH): Interim Guidance for Medical Screening and Hazard Surveillance for Workers Potentially Exposed to Engineered Nanoparticles, DHHS (NIOSH) Publication 2009-116, February 2009

www.cdc.gov/niosh/docs/2009-116

[NIOSH 2010]

Methner, M.; Hodson, L.; Geraci, C.: Nanoparticle Emission Assessment Technique (NEAT) for the Identification and Measurement of Potential Inhalation Exposure to Engineered Nanomaterials, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 7 (2010) S 127 - 132

[OECD 2009]

Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD): Preliminary Analysis of Exposure Measurement and Exposure Mitigation in Occupational Settings: Manufactured Nanomaterials, ENV/JM/MONO(2009)6, Series on the safety of manufactured nanomaterials, Number 8, April 2009
www.oecd.org/dataoecd/36/36/42594202.pdf

[OECD-WPMN]

OECD: Working Party on Manufactured Nanomaterials
www.oecd.org/department/0,3355,en_2649_37015404_1_1_1_1_1,00.html

[Pelzer et al., 2010]

Pelzer, J.; Bischof, O.; van den Brink, W.; Fierz, M.; Gnewuch, H.; Isherwood, H.; Kasper, M.; Knecht, A.; Krinke, T.; Zerrath, A.: Geräte zur Messung der Anzahlkonzentration von Nanopartikeln, Aktueller Überblick über die Messtechnik, Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft, 70 (2010) Nr. 11/12 – Nov./Dez., S. 469 - 477)

[TRGS]

Technische Regeln für Gefahrstoffe (TRGS)
www.baua.de/trgs

[VCI]

Verband der chemischen Industrie (VCI)
www.vci.de

[VCI 2005]

Nanomaterialien am Arbeitsplatz, Stakeholder-Dialog zum Arbeitsschutz, Frankfurt a. M. 26.09.2005
www.vci.de/Themen/Chemikaliensicherheit/Nanomaterialien/Seiten/Workshop-Nanomaterialien-am-Arbeitsplatz-I-September-2005.aspx

[VCI 2007]

Nanomaterialien am Arbeitsplatz, Stakeholder-Dialog zum Arbeitsschutz, Frankfurt a. M. 19.04.2007, Dialogdokumentation S. 2
www.vci.de/Themen/Chemikaliensicherheit/Nanomaterialien/Seiten/Workshop-Nanomaterialien-am-Arbeitsplatz-II-April-2007.aspx

[WHO 1985]

World Health Organization: Reference methods for measuring airborne man-made mineral fibres (MMMMF), (1985)

Impressum

Empfehlung für die Gefährdungsbeurteilung bei Tätigkeiten mit Nanomaterialien am Arbeitsplatz

Herausgeber: Bundesanstalt für Arbeitsschutz
und Arbeitsmedizin
Friedrich-Henkel-Weg 1-25
44149 Dortmund
Telefon 0231 9071-2071
Fax 0231 9071-2070
info-zentrum@baua.bund.de
www.baua.de

Verband der Chemischen Industrie e.V.
Wissenschaft, Technik und Umwelt
Bereich Produktsicherheit
Mainzer Landstraße 55
60329 Frankfurt/Main
Telefon 069 2556-1536
Fax 069 2556-1607
E-Mail schaefer@vci.de
www.vci.de

Gestaltung: Martina Brandau-Pollack,
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

Fotos: Fotoagentur FOX, Uwe Völkner, Köln

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit vorheriger Zustimmung der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Haftungsansprüche materieller oder ideeller Art gegen die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, die durch die Nutzung oder Nichtnutzung der angebotenen Informationen beziehungsweise durch die Nutzung fehlerhafter und unvollständiger Informationen verursacht werden, sind grundsätzlich ausgeschlossen, es sei denn, sie sind nachweislich auf vorsätzliches oder grob fahrlässiges Verschulden unseres Hauses zurückzuführen.

1. Auflage, Mai 2012