



Sicherheitsdatenblatt (SDB): Leitfaden für synthetische Nanomaterialien



November 2016

(Version 3.0)

Der vorliegende Leitfaden stellt eine konsolidierte Fassung dar, welche Ergänzungen, Anregungen und Korrekturen von verschiedenen Personen aus Verbänden, Firmen und Wissenschaft enthält. Rückmeldungen jeglicher Art sind erwünscht und können an die angegebene E-Mail-Adresse gerichtet werden. Ebenfalls kann ein Dokument angefordert werden, welches die Änderungen zur letzten Version als Korrekturen aufzeigt. **Die gesetzlichen Anforderungen an den Inhalt und die Struktur des Sicherheitsdatenblattes sind in der Schweiz gleich wie in der EU.**

Erarbeitet von:

- **SECO:** Staatssekretariat für Wirtschaft, Kaspar Schmid, Marguerite-Anne Sidler und Livia Bergamin Strotz
- **BAFU:** Bundesamt für Umwelt, Varda Furrer
- **BAG:** Bundesamt für Gesundheit, Christoph Studer und Tobias Walser
- **BLW:** Bundesamt für Landwirtschaft, Katja Knauer
- **SUVA:** Schweizerische Unfallversicherungsanstalt, Christoph Bosshard
- **Swissmedic:** Schweizerisches Heilmittelinstitut, Catherine Manigley

Herausgebende Stelle:

Staatssekretariat für Wirtschaft (SECO)

Arbeitsbedingungen / Chemikalien und Arbeit (ABCH)

Holzikofenweg 36

3003 Bern

Rückmeldungen und Auskünfte:

Ressort „Chemikalien und Arbeit“ des Staatssekretariat für Wirtschaft SECO

Dr. Kaspar Schmid, Ressortleiter

Dr. Marguerite-Anne Sidler, Wissenschaftliche Mitarbeiterin

Dr. Livia Bergamin Strotz, Wissenschaftliche Mitarbeiterin

E- Mail:

abch@seco.admin.ch

Internet:

www.infonano.ch

Das Dokument ist auf Deutsch, Französisch, Italienisch und Englisch erhältlich.

Reproduktion mit Quellenangabe gestattet

Titelbild: diverse Nanoprodukte (Foto: L. Bergamin Strotz / SECO)

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Einleitung | 2 |
| 1.1 | Ziel | 2 |
| 1.2 | Gesetzliche Rahmenbedingungen..... | 2 |
| 2 | Definition, Begriffe und Geltungsbereich | 4 |
| 2.1 | Definition und Begriffe..... | 4 |
| 2.2 | Geltungsbereich des Leitfadens und eigene Definition „Nanomaterialien“..... | 4 |
| 3 | Eigenschaften und mögliche Risiken von Nanomaterialien | 7 |
| 3.1 | Spezifische Eigenschaften von Nanomaterialien..... | 7 |
| 3.2 | Mögliche Gesundheits- und Umweltrisiken..... | 7 |
| 4 | Nanomaterialien in Produktionsketten | 9 |
| 4.1 | Beispiel 1: Einfache Produktionskette (Endanwenderprodukt)..... | 9 |
| 4.2 | Beispiel 2: Komplexe Produktionskette (Weiterverarbeitung) | 10 |
| 5 | Erläuterungen zu den SDB-Abschnitten | 12 |
| 5.1 | Notwendige Angaben für Beurteilung und sicheren Umgang mit Nanomaterialien | 14 |
| 5.1.1 | SDB-Abschnitt 1 „Bezeichnung des Stoffs/der Zubereitung und des Unternehmens“ | 14 |
| 5.1.2 | SDB-Abschnitt 2 „Mögliche Gefahren“ | 14 |
| 5.1.3 | SDB-Abschnitt 3 „Zusammensetzung / Angaben zu Bestandteilen“ | 15 |
| 5.1.4 | SDB-Abschnitt 8 „Expositionsbegrenzung und persönliche Schutzausrüstung“ | 16 |
| 5.1.5 | SDB-Abschnitt 9 „Physikalisch-chemische Eigenschaften“ | 17 |
| 5.2 | Wichtige Angaben für die Beurteilung und den sicheren Umgang mit Nanomaterialien..... | 19 |
| 5.2.1 | SDB-Abschnitt 5 „Massnahmen zur Brandbekämpfung“ | 19 |
| 5.2.2 | SDB-Abschnitt 7 „Handhabung und Lagerung“ | 20 |
| 5.2.3 | SDB-Abschnitt 13 „Hinweise zur Entsorgung“ | 21 |
| 6 | Glossar und Abkürzungen | 23 |
| 7 | Weiterführende Links | 26 |

Neben diesem Leitfaden zum Sicherheitsdatenblatt (SDB) für synthetische Nanomaterialien wurden zwei weitere Dokumente, ein Merkblatt und ein Anhang mit zwei Beispielen erstellt. In den zwei hypothetischen Beispielen zu Produkten mit synthetischen Nanomaterialien wurden die gewünschten nanospezifischen Hinweise in den entsprechenden SDB-Abschnitten vermerkt. Die zwei Beispiele dienen der Verdeutlichung und sollten nicht unabhängig von diesem Leitfaden verwendet werden.

1 Einleitung

Synthetische Nanomaterialien haben zunehmend Bedeutung in unserem Alltag. Die Informationen über deren Eigenschaften sind für die Festlegung der jeweils notwendigen Gefahrenhinweise und Schutzmassnahmen von grosser Wichtigkeit.

Dem Sicherheitsdatenblatt (SDB) kommt dabei eine Schlüsselrolle zu. Es muss einerseits die weiterverarbeitende Industrie und das Gewerbe in die Lage versetzen, mögliche Gefährdungen während der Herstellungs- und Verarbeitungsprozesse zu erkennen. Gleichzeitig muss es die notwendigen Grundlagen liefern, um potenzielle Gesundheits- und Umweltgefährdungen der hergestellten Produkte zu beurteilen. Für Nanomaterialien mit ihren spezifischen Eigenschaften gelten nach heutigem Kenntnisstand andere mögliche Risiken für Mensch und Umwelt und das SDB sollte danach ausgerichtet werden.

1.1 Ziel

Der Leitfaden soll

- aufzeigen, welche Informationen notwendig sind, um den sicheren Umgang mit Nanomaterialien und Produkten, die Nanomaterialien enthalten, zu gewährleisten,
- Hilfestellung bieten, wie die relevanten Informationen identifiziert werden können und in welcher Form sowie an welcher Stelle im SDB sie aufzuführen sind,
- dazu beitragen, dass Mitarbeitende von Betrieben, die synthetische Nanomaterialien herstellen oder weiter verarbeiten, bezüglich den besonderen Eigenschaften dieser Materialien sensibilisiert werden (im Bedarfsfall sollen Betriebe entsprechende Informationen von Lieferanten einfordern),
- das Internet-Dokument des Bundesamtes für Gesundheit: „[Das Sicherheitsdatenblatt in der Schweiz](#)“ ergänzen.

Es wird empfohlen, dass:

- ein bestehendes SDB durch nanospezifische Daten gemäss der im vorliegenden Dokument enthaltenen Information ergänzt wird, oder
- ein eigenes SDB für die betrachteten Nanomaterialien erstellt wird, und
- auch für Nanomaterialien, für die gemäss Chemikalienverordnung ([ChemV](#), SR 813.11 Artikel 19) keine Erstellungspflicht besteht, ein SDB gemäss den Empfehlungen des vorliegenden Dokumentes erstellt wird.

Massgebend sind in jedem Fall die gültigen Gesetzes- und Verordnungstexte.

1.2 Gesetzliche Rahmenbedingungen

„Das Sicherheitsdatenblatt (SDB) dient dazu, Personen, die beruflich oder gewerblich mit Stoffen oder Zubereitungen / Gemischen umgehen, in die Lage zu versetzen, die für den

Gesundheitsschutz und die Sicherheit am Arbeitsplatz sowie den Umweltschutz erforderlichen Massnahmen zu treffen“ ([ChemV](#), SR 813.11, Artikel 18). Demnach muss für gefährliche Stoffe und Zubereitungen sowie für Zubereitungen, die gefährliche Stoffe ab einer festgelegten Konzentration enthalten, ein Sicherheitsdatenblatt erstellt werden (ChemV Artikel 19). Da es für die meisten Nanomaterialien ausser der Definition (ChemV SR 813.11 Art 2) und der Angaben bezüglich physikalisch-chemischer Eigenschaften innerhalb der Meldepflicht (ChemV, SR 813.11, Art 48 und 49) und im technischen Dossier (ChemV, SR 813.11 Anhang 4) noch keine spezifischen rechtlichen Vorschriften gibt, gelten für diese Substanzen die gesetzlichen Rahmenbedingungen mit den generellen Schutzziele.

Nanomaterialien, die für den Arbeitnehmerschutz bereits geregelt sind, sind z.B. carbon nanotubes (Kohlenstoff-Nanoröhrchen, CNT):

Dies SUVA empfahl bereits 2011 in der Grenzwertliste für CNT einen Richtwert von 0.01 Fasern/ml. Dieser Wert entspricht dem Grenzwert für Asbestfasern und wird auch in der aktuellen SUVA Grenzwertliste „[Grenzwerte am Arbeitsplatz](#)“ aufgeführt, die jährlich angepasst wird. Derzeit sind aber laut SUVA für Kohlenstoff-Nanoröhrchen weder ein normiertes Messverfahren für die Längenmessung, noch angepasste Zählregeln für die Quantifizierung von Knäueln verfügbar.

Die Anforderungen an das SDB werden im [Anhang 2 der ChemV](#), SR 813.11 spezifiziert. Das im Artikel 18 erwähnte SDB-Schutzziel gilt grundsätzlich auch für Nanomaterialien. Ob also von einem Material neue Gefährdungen ausgehen, weil es im Nanomassstab vorliegt und ob spezifische Schutzmassnahmen zu treffen sind, muss von der Herstellerin des entsprechenden Materials beurteilt werden. Die Arbeitgeberin ist gemäss Artikel 6 des Arbeitsgesetzes ([ArG](#), SR 822.11) dazu verpflichtet, für den allgemeinen Gesundheitsschutz der Arbeitnehmenden sowie zur Verhütung von Berufsunfällen und Berufskrankheiten alle Massnahmen zu treffen, die nach der Erfahrung notwendig, nach dem Stand der Technik anwendbar und den gegebenen Verhältnissen angemessen sind. Diese Pflicht gilt auch beim Umgang mit Nanomaterialien.

Gemäss Artikel 30 des Umweltschutzgesetzes ([USG](#), SR 814.01) sind Abfälle soweit wie möglich zu vermeiden sowie umweltverträglich und, soweit möglich und sinnvoll, im Inland zu entsorgen. Dabei steht die Verwertung der Abfälle im Vordergrund. Diese Grundsätze gelten auch für Abfälle mit nanospezifischen Eigenschaften. Sind solche Abfälle als Sonderabfälle einzustufen, gelten ausserdem die Vorschriften der Verordnung vom 22. Juni 2005 über den Verkehr mit Abfällen ([VeVA](#), SR 814.610).

Details zur Erstellung von SDBs wurden in der Wegleitung: „[Das Sicherheitsdatenblatt in der Schweiz](#)“ ausführlich beschrieben; Ergänzungen in Hinblick auf nanospezifische Informationen sind im vorliegenden Leitfaden enthalten.

2 Definition, Begriffe und Geltungsbereich

2.1 Definition und Begriffe

Das Wort „Nanomaterial“ ist ein relativ unspezifischer Sammelbegriff, unter welchem alle Materialien, die nanoskalige Bestandteile enthalten, zusammengefasst werden, unabhängig von ihrer Zusammensetzung.

Nanomaterialien werden in der ChemV Art 2 Buchstabe q (SR 813.11) wie folgt definiert: „*Nanomaterial*: Material, das Partikel in ungebundenem Zustand, als Aggregat oder als Agglomerat enthält, bei denen ein oder mehrere Aussenmasse im Bereich von 1 bis 100 Nanometer liegen, oder ein Material, das ein spezifisches Oberflächen-Volumen-Verhältnis von über $60 \text{ m}^2/\text{cm}^3$ aufweist; ein Material gilt nur dann als Nanomaterial, wenn es gezielt zur Nutzung der Eigenschaften hergestellt wird, die sich aus den genannten Aussenmassen der enthaltenen Partikel oder dem genannten Oberflächen-Volumen-Verhältnis des Materials ergeben; Fullerene, Graphenflocken und einwandige Kohlenstoff-Nanoröhren mit einem oder mehreren Aussenmassen unter 1 Nanometer gelten als Nanomaterialien.“

2.2 Geltungsbereich des Leitfadens und eigene Definition „Nanomaterialien“

Der Geltungsbereich des Leitfadens umfasst **Nanomaterialien** und Zubereitungen, die solche enthalten.

Dieser Leitfaden ist ausser für **Nanomaterialien** gemäss Definition der ChemV auch für gezielt hergestellte Materialien anwendbar, welche Partikel in ungebundenem Zustand, als Aggregate oder Agglomerate enthalten und ein oder mehrere Aussenmasse zwischen 1 und 500 nm aufweisen.

Erläuterungen:

- Zurzeit existieren international verschiedene Definitionen des Begriffs Nanomaterial. Bei den meisten Definitionen spielt die Grösse der Primär-partikel eine entscheidende Rolle, wobei sich hier als Kriterium Aussenmasse von kleiner als 100 nm in mindestens einer Dimension durchgesetzt haben. Die Verwendung der 100 nm-Grenze stellt aber keine wissenschaftlich begründbare Grösse dar. Auch grössere Partikel können durch Organismen aufgenommen werden. Solche Materialien werden nicht nur durch spezialisierte, phagozytierende Zellen, sondern bis ca. 500 nm auch von nicht phagozytierenden Zellen aufgenommen^{1 2 3}. So können nanospezifische Effekte auch bei

¹ Rejman et al.; Size-dependent internalization of particles via the pathways of clathrin- and caveolae-mediated endocytosis; Biochem. J. (2004)377, 159-169.

² SCENIHR: Risk Assessment of Products of Nanotechnologies, 2009, S. 26.

³ A. Bruinink, J. Wang, P. Wick. Arch Toxicol (2015) 89:659–675

Partikeln auftreten, deren Aussenmasse grösser als 100 nm sind. Daher sind die Ausführungen in dieser Anleitung auch auf diese Partikel anwendbar. Die 500 nm Obergrenze stellt sicher, dass alle Partikel(-verteilungen) mit möglichen nanospezifischen Effekten erfasst werden. Nanomaterialien fallen je nach Zusammensetzung unter die Stoffdefinition gemäss ChemV oder unter die Definition von Zubereitungen gemäss ChemG.

- **Oberflächenstrukturen** und **Beschichtungen** mit nur einer nanoskaligen Dimension, die fest mit einem Material verbunden sind, sollen im SDB nicht spezifisch erfasst werden, sofern diese Oberflächenstrukturen keine Nanomaterialien enthalten.
- Dieser Leitfaden beschränkt sich auf **gezielt hergestellte** (=synthetische, manufactured) Partikel. Partikel dieser Grössenordnung die als ungewollte Nebenprodukte entstehenden, wie Schweisssrauch und Dieselschmutz, oder Umweltpartikel (engl. "unintentionally produced or naturally occurring ultrafine particles") sind für das SDB nicht relevant.
- Als Beispiel einer Zubereitung, für welche ebenfalls ein SDB erstellt werden soll, können **Flüssigkeiten** und **Gase** dienen, für welche die Freisetzung von Nanomaterialien nicht ausgeschlossen werden kann. Insbesondere sei hier auf **Nanodispersio-nen** verwiesen (flüssig-partikuläre Gemische) welche Nanomaterialien enthalten und wegen potentieller Sprayanwendungen ein SDB brauchen. Ein anderes Beispiel wäre ein **Nanopolymer als Kunststoffgranulat** welches zur **Weiterverarbeitung** gedacht ist.

Die Anwendung des Nano-SDB-Leitfadens ist nicht zwingend. Firmen, welche die Empfehlungen umsetzen, können jedoch davon ausgehen, dass sie mit seiner Umsetzung ihrer Informationspflicht gemäss ChemG und ChemV nachkommen.

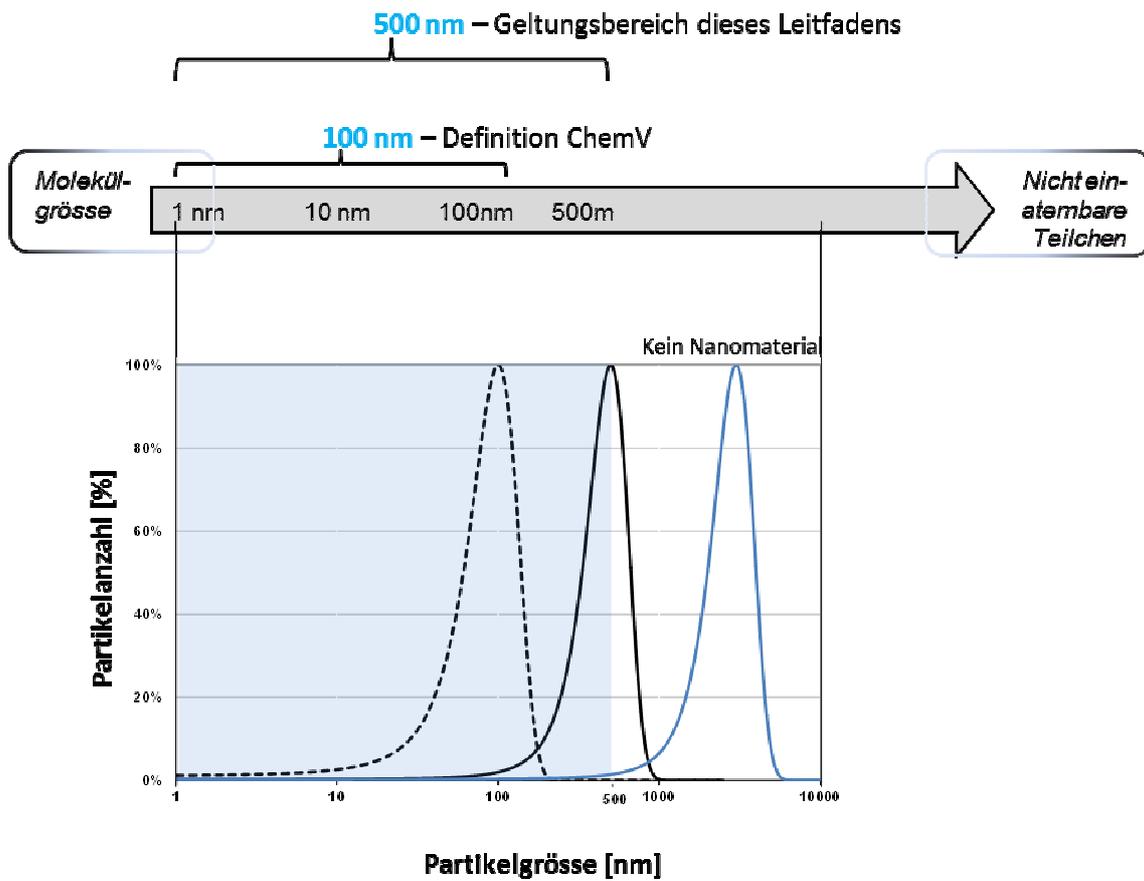


Bild: Relevante Grössenverteilungen der ChemV-Definition „Nanomaterial“ und des Geltungsbereichs des Leitfadens.

3 Eigenschaften und mögliche Risiken von Nanomaterialien

3.1 Spezifische Eigenschaften von Nanomaterialien

Stoffe im nanoskaligen Bereich weisen im Vergleich zu den analogen Nicht-Nanomaterialien oft „**veränderte**“ **physikalisch-chemische Eigenschaften** auf.

Ein wichtiges Merkmal von Nanomaterialien ist ihre, im Vergleich zum Volumen, grosse Oberfläche (= **grosses Oberflächen-Volumen-Verhältnis**). Daraus resultieren oft eine höhere **Reaktionsfähigkeit** sowie eine verbesserte **Bindungsfähigkeit**.

Viele Nanopartikel haben eine sehr starke Tendenz zu **agglomerieren bzw. aggregieren**, wodurch sich ihre Eigenschaften ändern können. Die relativ zum Volumen grosse Oberfläche kann aber bestehen bleiben.

Nanomaterialien können neben ihren äusseren Strukturmerkmalen auch chemisch weiter unterschieden werden. Während manche Nanomaterialien aus chemisch einheitlichen Substanzen oder Verbindungen bestehen, werden andere bewusst **modifiziert** bzw. **funktionalisiert**⁴ (z.B. durch Oberflächenbeschichtungen, engl. **coatings**).

Bedingt durch den Herstellungsprozess können sich auch Reste von Hilfsstoffen als **Verunreinigungen** an der Oberfläche der Nanomaterialien oder in deren Inneren befinden und deren Eigenschaften beeinflussen.

Nanospezifische Risiken können vor allem dann auftreten, wenn Nanomaterialien freigesetzt und von Lebewesen bzw. der Umwelt aufgenommen werden.

Mögliche Gesundheits- und Umweltrisiken können im Speziellen von freien partikel- und faserförmigen Nanomaterialien ausgehen. Diese können als Staub, Pulver oder in Dispersionen oder in Form von Aerosol vorhanden sein oder können aus gebundenen Formen freigesetzt werden. Die Möglichkeit der Freisetzung ist deshalb entlang des gesamten Lebenszyklus des Nanomaterials oder Nanoprodukts zu beachten.

3.2 Mögliche Gesundheits- und Umweltrisiken

Für eine Mehrzahl der vorhandenen Nanomaterialien wurde bis heute noch keine umfassende Prüfung gemacht, da derzeit nur nicht-standardisierte Einzelfallbeurteilungen möglich sind und die Daten desselben Materials mit grösseren Partikeln sich nicht unbedingt auf die Nanopartikel übertragen lassen. Die heute üblichen toxikologischen Testverfahren können laut OECD mit wenigen Anpassungen und Neuentwicklungen grösstenteils auf nanoskalige Materialien angewandt werden (Guidance Manual for the Testing of Manufactured Nanomaterials: OECD Sponsorship Programme: First Revision).

⁴ Zur Begriffserklärung siehe Glossar Kapitel 6.

Basierend auf Humandaten, Resultaten aus tierexperimentellen Studien und aus *in vitro* Studien kann gegenwärtig für nanoskalige Materialien ein Gesundheitsschädigungs-Potenzial nicht generell ausgeschlossen werden. Bei Nanopartikeln bestimmter Materialien (z.B. brennbare oder katalytisch wirksame Stoffe) ist auch ein potenziell erhöhtes Risiko durch Feuer, Explosionen oder durch unerwartete chemische Reaktionen denkbar.

Es sei darauf hingewiesen, dass das Wissen im Bereich der Nanotoxikologie stetig wächst, d.h. es werden fortlaufend neue Erkenntnisse zu bestimmten Nanomaterialien verfügbar.

Mit zunehmendem Einsatz von synthetischen Nanomaterialien ist zukünftig auch mit einer erhöhten Exposition der Bevölkerung und einem vermehrten Eintrag in die Umwelt (Boden, Wasser, Luft) zu rechnen. Forschungsergebnisse zum Verhalten und zur Wirkung von Ultrafeinstaub (nanoskalige Fraktion von Feinstaub) lassen sich nur eingeschränkt auf künstlich erzeugte Nanopartikel übertragen, da sich Umweltpartikel häufig grundlegend von Industriepartikeln unterscheiden. Zum Verhalten von Nanomaterialien in der Umwelt gibt es gegenwärtig erst wenige Studien. Die bis anhin insbesondere an aquatischen Organismen durchgeführten ökotoxikologischen Tests zeigen, dass bei einigen Nanomaterialien mit toxischen Effekten gerechnet werden muss.

4 Nanomaterialien in Produktionsketten

Produktionsketten sind heute vielfach komplex und werden laufend optimiert. Dadurch ergibt sich ein Bedarf an einer flexiblen, möglichst transparenten Handhabung von Sicherheitsinformationen. Um einen sicheren Umgang mit Nanomaterialien in der Produktionskette zu gewährleisten, ist es notwendig, dass Sicherheitsinformationen weitergereicht werden. Die Notwendigkeit für diese Vorgehensweise soll anhand zweier Beispiele aufgezeigt werden.

- **Beispiel 1:** Lebenszyklus-Betrachtung *eines* Nanomaterials in *einem gegebenen* Produkt (siehe 4.1). Sprayverfahren mit amorpher Kieselsäure.
- **Beispiel 2:** Betrachtung *verschiedener* Lebenszyklen *eines* Nanomaterials als Ausgangsstoff für *mehrere unterschiedliche* Produkte (siehe 4.2). Sol-Gel-Verfahren mit Dispersion von partikelförmigem Nano-Titandioxid.

Da die Gefährdung von Gesundheit und Umwelt durch Produkte, die Nanomaterialien enthalten, nicht ausgeschlossen werden kann, ist es notwendig, die vorhandenen nanospezifischen Informationen (und den Begriff „Nano“) im SDB zu verankern.

Informationen zur Charakterisierung und zu nanospezifischen Eigenschaften von Nanomaterialien sollen im SDB aufgeführt werden. Damit wird ermöglicht, dass bei der Anwendung und Weiterverarbeitung von Nanomaterialien mit der nötigen Vorsicht vorgegangen werden kann.

4.1 Beispiel 1: Einfache Produktionskette (Endanwenderprodukt)

- **Unternehmen 1 / Rohstoffproduktion:** Für die Herstellung des Sprays wird als Grundmaterial nanoskalige amorphe Kieselsäure (SiO_2) in Form von agglomeriertem Pulver vom Lieferanten benötigt. Amorphe Kieselsäure hat einen SUVA-Arbeitsplatz-Grenzwert⁵ (SUVA Grenzwertliste „[Grenzwerte am Arbeitsplatz](#)“) von $3\text{mg}/\text{m}^3$ (e) =Staubgrenzwert (eintembar) und muss daher mit einem Sicherheitsdatenblatt geliefert werden.
- **Unternehmen 2 / Produktformulierung:** Dieses Grundmaterial wird von einem Unternehmen weiter bearbeitet und in Flüssigkeit eingetragen. Dazu wird das Pulver im Betrieb zuerst deagglomeriert und die entstandenen freien Nanopartikel werden an der Oberfläche chemisch modifiziert (bzw. funktionalisiert). Anschliessend wird eine stabile Dispersion mit den Nanopartikeln in einem brennbaren Lösungsmittel (Ethanol) hergestellt. Im Sicherheitsdatenblatt muss gemäss aktueller Gesetzgebung ([ChemV](#), SR 813.11 Artikel 19) nur noch das brennbare Ethanol als gefährlicher Inhaltsstoff deklariert werden. Die (Nano-)Kieselsäure ist jetzt dispergiert und $< 1\%$,

⁵ Zur Begriffserklärung siehe Glossar Kapitel 6.

deshalb muss die Firma die (Nano-) Kieselsäure und deren Staubgrenzwert nicht mehr im SDB aufführen.

- **Unternehmen 3 / Abfüllung:** Das Abfüllen des Produkts in Treibgas-Spraydosen erfolgt durch einen weiteren Betrieb, der dem beigefügten SDB nur Informationen zu gefährlichen Eigenschaften von Ethanol entnehmen kann. Der formulierte Spray wird wegen des hohen Ethanol-Anteils lediglich als leichtentzündlich deklariert.
- **Unternehmen 4 / Anwendung:** Bei der Anwendung des Sprays am Ende der Produktionskette können nun in beträchtlichem Ausmass Aerosole entstehen, welche zudem Nano-Kieselsäurepartikel enthalten. Eine mögliche Gefährdung durch Einatmen dieser nanopartikelhaltigen Aerosole ist für Anwendende auf der Basis der bereitgestellten Produkte-Information nicht (mehr) erkennbar.
- **Unternehmen 5 / Entsorgung:** Auch Entsorgungsbetriebe erhalten nur einige wenige (wenn überhaupt) Informationen über die Existenz von Nanomaterialien, im vorliegenden Beispiel Nano-Kieselsäurepartikel im Produktionsabfall.

4.2 Beispiel 2: Komplexe Produktionskette (Weiterverarbeitung)

Hinweis: In den verschiedenen Branchen gibt es unterschiedlichste Produktionsketten, in welche Titandioxid-Nanopartikel eingespeist werden. Um die Darstellung überschaubar zu halten, wird nachfolgend nicht (wie im vorherigen Beispiel) jede Kette ausführlich dargestellt.

Materialherstellung

- **Rohstoffproduktion:** Die Flüssigkeit Titan-tetra-ethanolat wird in einem Sol-Gel-Verfahren zu feinen Titandioxidpartikeln hydrolysiert. Dabei können je nach Art der späteren Weiterverwendung sowohl Kolloide mit hoher als auch mit niedriger photokatalytischer Reaktivität erzeugt werden. Die durchschnittliche Primär-Partikelgrösse liegt bei etwa 30nm. Durch Verarbeitungsschritte wie Abtrennen, Trocknen und Abfüllen können inhalierbare Stäube entstehen, auf die zum Schutz der Mitarbeitenden in einem Sicherheitsdatenblatt hingewiesen werden muss ([ChemV](#), SR 813.11 Artikel 19 f). Für die Beurteilung von Gefährdungspotenzialen, die auf der Nanoskaligkeit der jeweils unterschiedlichen Titandioxid-Partikel beruhen, fehlen die notwendigen Daten im Sicherheitsdatenblatt.

Branchenspezifische Weiterverarbeitung

(z.B. in Produktionsketten der Branchen "Farben und Lacke", "Kunststoffe", "Papier")

- **Funktionalisieren / Beschichten (Coating):** Der eingekaufte Lackrohstoff Titandioxid wird nun je nach gewünschter Eigenschaft und Anwendung entsprechend funktionalisiert, um z.B. Licht-, Wetter- und Hitzebeständigkeit der auszurüstenden Materialien (Lacke, Farben, Kunststoffe, Papier...) zu erhöhen. Beispielsweise werden die

Partikel für Drucker-Toner mit Silanen, für Autolacke mit Aluminium- und Zirkon-Oxyd und für kosmetische Anwendungen mit Silikon beschichtet. Mit jeder Funktionalisierung kann unter Umständen ein neuer Stoff entstehen, der sich in seinen Eigenschaften grundlegend vom Ausgangsmaterial unterscheidet. Bei veränderten sicherheitsrelevanten Eigenschaften kann es für funktionalisierte Partikel erforderlich sein, neue Sicherheitsdatenblätter zu erstellen.

- **Dispergieren:** In einem weiteren Schritt werden die funktionalisierten Nano-Titandioxidpartikel zusammen mit Bindemitteln, Additiven und Lösemitteln dispergiert und in Lacke, Farben, Kunststoffe, Papier usw. eingebracht. Da der funktionalisierte Rohstoff in Form von Agglomeraten vorliegt, wird er durch einen speziellen chemomechanischen Prozess unter definierten Bedingungen weiter funktionalisiert und gleichzeitig in eine stabile Nanodispersion überführt. Auch hier können für diese Zubereitungen neue Sicherheitsdatenblätter erforderlich werden, abhängig davon ob sicherheitsrelevante Inhaltsstoffe enthalten sind. Die Staubgefahr ist nicht mehr relevant für diese Stoffe, die Angaben zu den nanoskaligen Inhaltsstoffen sind aber dennoch notwendig, weil die Möglichkeit einer Anwendung mit Hochdrucksprays auf der Hand liegt, und daher auf ein Vermeiden von Aerosolbildung aufgrund der Nanomaterialien explizit verwiesen werden sollte.
- **Industrieller Einsatz der Formulierungen:** Formulierungen mit Titandioxidpartikel werden in den unterschiedlichsten Einsatzgebieten verarbeitet. Als Beispiele seien hier Photokatalysatoren in Solarzellen, Additive für Toner und Kunststoffe, Farben für den Innen- und Aussenbereich sowie Harze und Papier genannt. In all diesen Anwendungen sind die Besonderheiten der nanoskaligen Titandioxidpartikel in den Sicherheitsdatenblättern nicht mehr ersichtlich. Eine mögliche Freisetzung der Partikel muss daher in den Expositionsszenarien im erweiterten SDB überprüft und allenfalls erwähnt werden.
- **Entsorgung:** Entsorgungsbetriebe erhalten wenn überhaupt meist nur spärliche Informationen über die Existenz von Nanomaterialien im Produktionsabfall bzw. in den zu entsorgenden Produkten. Eine mögliche Freisetzung der Partikel muss in den Expositionsszenarien überprüft und allenfalls erwähnt werden.

5 Erläuterungen zu den SDB-Abschnitten

Nachfolgend finden sich Erläuterungen und konkrete Empfehlungen zur Integration nanospezifischer Information in die verschiedenen Abschnitte des SDB. Dabei ist zu beachten, dass der Fokus dieses Textes auf die nanospezifischen Zusatzinformationen gerichtet ist. Die Angabe von **nicht-nanospezifischen Daten** zum betreffenden Produkt und dessen Handhabung muss in jedem Fall nach den Vorgaben der Chemikalien-Verordnung ([ChemV SR 813.11](#)) erfolgen, welche in der Wegleitung: „Das Sicherheitsdatenblatt in der Schweiz“ erläutert werden.

Die Notwendigkeit zur Angabe von nanospezifischen Eigenschaften im SDB soll speziell auch für jene Stoffgruppen erwähnt sein, die bereits in langer Tradition und in grossen Mengen eingesetzt werden. Folgende Stoffe und Stoff-Gruppen werden häufig und in grösseren Mengen nanoskalig eingesetzt:

- Industrie-Russ (Carbon Black)
- Farben (Farbstoffe, Farbpigmente, Füllstoffe)
- Metalloxide (z.B. die Oxide von Zink, Titan, Aluminium und Eisen etc.), Oxide von Halbmetallen (wie Silizium) oder auch von Metallen der seltenen Erden (wie Cerium).

Arbeitet ein Betrieb mit solchen Stoffgruppen, sollten die verantwortlichen Personen besonderes Augenmerk auf das Vorhandensein von nanospezifischen Informationen im Sicherheitsdatenblatt legen. Dabei sollten sie auch das zentrale Ziel des SDBs vor Augen haben, nämlich: wichtige Informationen und Handlungsempfehlungen zum sicheren Umgang mit chemischen Produkten zu vermitteln und umzusetzen. Das heisst in erster Linie die Belegschaft entsprechend zu schulen.

Nachfolgend werden konkrete Empfehlungen zu jenen SDB-Abschnitten formuliert, die in der nachfolgenden Tabelle als **notwendig** oder **wichtig** für die Risikobeurteilung und den sicheren Umgang mit Nanomaterialien bezeichnet wurden. Bei der Gruppe **erwünscht** wird auf Beispiele verzichtet, da für die wenigsten Nanomaterialien heute Angaben zu diesen Abschnitten vorliegen.

Die Textbeispiele für das Verankern von nanospezifischen Eigenschaften in den verschiedenen Abschnitten des SDB sind spezifisch als solche und in blau markiert.

Vorläufige Priorisierung der nanospezifischen Information in den SDB-Abschnitten

| Nr. | SDB-Abschnitts-Bezeichnung | Prioritäten für die Angabe von nanospezifischen Informationen/Daten |
|-----|--|---|
| 1 | Stoff / Zubereitungs- und Firmenbezeichnung | notwendig |
| 2 | Mögliche Gefahren | notwendig |
| 3 | Zusammensetzung / Angaben zu Bestandteilen | notwendig (auch Vorsorgeraster) |
| 4 | Erste-Hilfe-Massnahmen | erwünscht |
| 5 | Massnahmen zur Brandbekämpfung | wichtig |
| 6 | Massnahmen bei unbeabsichtigter Freisetzung | erwünscht |
| 7 | Handhabung und Lagerung | wichtig |
| 8 | Expositionsbegrenzung und pers. Schutzausrüstung | notwendig |
| 9 | Physikalisch-chemische Eigenschaften | notwendig (auch Vorsorgeraster) |
| 10 | Stabilität und Reaktivität | erwünscht |
| 11 | Angaben zur Toxikologie | erwünscht |
| 12 | Angaben zur Ökologie | erwünscht |
| 13 | Hinweise zur Entsorgung | wichtig |
| 14 | Angaben zum Transport | erwünscht |
| 15 | Vorschriften | erwünscht |
| 16 | Sonstige Angaben | erwünscht |

Legende: Angaben zur Risikobeurteilung und dem sicheren Umgang mit Nanomaterialien

| | |
|------------------|---|
| notwendig | <p>Nötige Angaben für die Beurteilung und den sicheren Umgang: In den entsprechenden fünf Abschnitten sind minimale Angaben zu den Nanomaterialien notwendig. Testmethoden sind anzugeben und insbesondere ob Tests mit nanoskaligem oder mit Bulk-Material (homologe makroskopische Substanz) durchgeführt wurden. Einsatz des Vorsorgerasters = Angaben sind auch für das Ausfüllen des Vorsorgerasters notwendig. Hinweise zur Verwendung und zum Einsatzbereich des Vorsorgerasters befinden sich im Abschnitt 7 dieses Leitfadens.</p> |
| wichtig | <p>Wichtige Angaben für die Beurteilung und den sicheren Umgang: Wenn immer möglich, sollten in den entsprechenden drei SDB-Abschnitten nanospezifische Informationen eingetragen und Empfehlungen für den sicheren Umgang gemacht werden.</p> |
| erwünscht | <p>Erwünschte Angaben für die Beurteilung und den sicheren Umgang: Für die wenigsten Nanomaterialien liegen heute Angaben zu diesen SDB-Abschnitten vor. Sollten aber eigene Daten oder Daten aus der wissenschaftlichen Forschung oder Daten aus der Literatur vorliegen, sind diese aufzuführen. Zudem wird fortwährend weiteres Wissen verfügbar, dies vor allem durch die beginnende Weiterleitung von Daten in der Lieferkette im Rahmen von REACH⁶, durch die Arbeiten der OECD⁷ sowie durch rasch zunehmende neue Erkenntnisse aus der wissenschaftlichen Forschung.</p> |

⁶ Zur Begriffserklärung siehe Glossar Kapitel 6.

⁷ Zur Begriffserklärung siehe Glossar Kapitel 6.

5.1 **Notwendige Angaben für Beurteilung und sicheren Umgang mit Nanomaterialien**

Folgende minimalen spezifischen Informationen zu den im Produkt enthaltenen Nanomaterialien werden für die fünf mit **notwendig** markierten Abschnitte des SDBs als sehr wichtig erachtet.

5.1.1 **SDB-Abschnitt 1 „Bezeichnung des Stoffs/der Zubereitung und des Unternehmens“**

Beim Verwendungszweck (soweit bekannt) sollten Angaben zu den spezifischen Eigenschaften der nanoskaligen Bestandteile gemacht werden.

Textbeispiele zu SDB-Abschnitt 1 (Bezeichnung des Stoffs/der Zubereitung und des Unternehmens):

1. Die enthaltenen Nanomaterialien erhöhen die antibakterielle Wirkung des Farbansstrichs.
2. Die Nanomaterialien verändern die Oberflächenstruktur und erleichtern die Reinigung.
3. Enthält Nanomaterialien; diese erhöhen den Schutz (der Fassade / der Oberfläche) vor Schädigungen durch UV-Strahlen.

5.1.2 **SDB-Abschnitt 2 „Mögliche Gefahren“**

Die spezifischen Eigenschaften von Nanomaterialien bergen (neben den Chancen für neue Anwendungen und Produkte) möglicherweise auch Risiken für Mensch und Umwelt. Humandaten, tierexperimentelle Studien und *in vitro* Studien mit Nanomaterialien geben Hinweise auf mögliche Gefährdungen für Mensch und Umwelt. Aufgrund heutiger Informationen lassen sich keine generellen Schlussfolgerungen über das Risikopotential von Nanomaterialien ableiten. Zur allgemeinen Abschätzung möglicher Risikoquellen sollten deshalb in diesem Abschnitt potenzielle Gefahren formuliert werden, denn spezifische Angaben zur Schädigung von Mensch und Umwelt sind zum heutigen Zeitpunkt erst in Einzelfällen möglich. Sind solche bekannt, sollen sie angegeben werden. Als Hilfsmittel zur Beurteilung kann z.B. der Vorsorgeraster (siehe Abschnitt 7) verwendet werden.

Folgende Fragen sollen helfen, mögliche Risiken / Gefahrenhinweise zu formulieren:

1. Ist Staubbildung bzw. Freisetzung von Nanopartikeln oder Nanofasern bei vorschriftsgemäßer Handhabung zu erwarten?
2. Sind persistente Nanofasern oder faserartige Gebilde enthalten oder können sie entstehen (durch Agglomeration oder Aggregation)?
3. Welches sind die wichtigsten Expositionswege (produktspezifisch)?
4. Für welche Prozesse sind Einträge in die Umwelt (Wasser, Boden, Luft) zu erwarten?

5. Wie verhält sich die Substanz in Organismen (Aufnahme, Stabilität etc.)?
6. Sind unterschiedliche oder stärker ausgeprägte Eigenschaften im Vergleich zum nicht-nanoskaligen Produkt möglich (z.B. durch Bildung von freien Radikalen)?

Textbeispiele zu SDB-Abschnitt 2 (Mögliche Gefahren):

Es können mehrere zutreffende Beschreibungen von möglichen Gefahren angegeben werden. Die Daten, auf welche sich diese Aussagen beziehen, sollten nach Möglichkeit in den SDB-Abschnitten 8 oder 11 oder 12 konkretisiert werden (z.B. Zitieren von Studien).

1. Bei staubenden Arbeiten mit dem Produkt können Nanomaterialien freigesetzt werden.
2. Versprühen des Produkts mit Treibmitteln führt zu nanopartikelhaltigen Aerosolen.
3. Die nanoskaligen Bestandteile dieses Produkts können Radikalbildung in Organismen begünstigen.
4. Die verwendeten Nanomaterialien können möglicherweise Zell-Membranen und die Blut-Hirn-Schranke überwinden.
5. Die verwendeten Nanomaterialien können sich möglicherweise in Organismen und / oder in der Umwelt anreichern.

5.1.3 SDB-Abschnitt 3 „Zusammensetzung / Angaben zu Bestandteilen“

Es wird dringend empfohlen, in diesem Abschnitt (zusätzlich zu den nötigen Angaben zur Zusammensetzung) auch Art und Menge der im Produkt vorhandenen Nanomaterialien, unter Angabe des Begriffes "Nano", anzugeben. Wichtig sind auch Informationen zur allfälligen Beschichtung (Coating) bzw. zur Funktionalisierung der Nanopartikel.

Es sollen in diesem Abschnitt möglichst genaue Angaben über die Zusammensetzung gemacht werden. Insbesondere auch über folgende nanospezifische Eigenschaften:

- Chemische Bezeichnung und elementare Zusammensetzung (z.B. Nano-TiO₂)
- Chemische Struktur und Kristallstruktur der Nanopartikel (z.B. Rutil- bzw. Anatasform)
- Form der Nanopartikel (z.B. partikelförmig oder faserförmig)
- Massen-Anteile Nanopartikel (z.B. 1% Nanopartikel, Gewichts-Prozent)
- Nanoskalige Verunreinigungen (z.B. Metalloxide)
- Funktionalisierung und / oder Coating (Ja, welche / Nein)

Textbeispiele zu SDB-Abschnitt 3 (Zusammensetzung / Angaben zu Bestandteilen):

1. Die gebrauchsfertige Lösung enthält Ceroxid-Nanopartikel; Versprühen mit Treibmittel erzeugt Aerosole mit Tröpfchendurchmesser kleiner als 10 Mikrometer (<10µm).
2. Silikabeschichtete Titandioxid-(rutil)-Nanopartikel.

3. Enthält (elementares) Silber in Form von Nanopartikeln.
4. Enthält dispergierte nanoskalige Bestandteile aus (elementarem) Silber.
5. Enthält Kohlenstoff in Form von MWCNT⁸.

5.1.4 SDB-Abschnitt 8 „Expositionsbegrenzung und persönliche Schutzausrüstung“

Bisher wurden keine Arbeitsplatzgrenzwerte⁹ (MAK-Werte, Kurzzeitgrenzwerte) für synthetischen Nanomaterialien erlassen. Da die Wirkung von Nanomaterialien auf die menschliche Gesundheit noch unklar ist, ist die Exposition grundsätzlich auf ein Minimum zu beschränken.

Textbeispiele zu SDB-Abschnitt 8 (allgemein):

1. Aus toxikologisch-arbeitsmedizinischer Sicht lässt sich gegenwärtig (noch) kein spezifischer Grenzwert zu den enthaltenen Nanopartikeln festlegen.
2. Für biobeständige granuläre Nanomaterialien mit einer Dichte unter 6'000kg/m³ soll eine Teilchenzahlkonzentration von 40'000 Partikel/cm³ im Grössenbereich von 1 bis 100nm nicht überschritten werden (Empfehlung vom Nano-Portal des deutschen BGIA-DGUV 30.6.2009).

Expositionsbegrenzung

Zur Begrenzung der Exposition soll grundsätzlich gemäss dem im Kapitel 5.2.2 dieses Leitfadens dargestellten TOP-Prinzip vorgegangen werden. In erster Linie soll in besonders geschützten Räumen (z.B. mit Unterdruck) oder in einer kleinen geschlossenen Kammer (z.B. Glove-Box) gearbeitet werden.

Textbeispiele zu SDB-Abschnitt 8 (Expositionsbegrenzung):

1. Die Emission nanopartikelhaltiger Aerosole ist durch Quellabsaugung zu reduzieren.
2. Die Gefahrenbereiche sind abzugrenzen (getrennte Räume, in Glove-Box arbeiten).
3. Der Zugang zu Arbeitsräumen, in denen mit Nanomaterialien gearbeitet wird, ist nur für befugte und instruierte Personen zu erlauben.
4. Die Expositions-Häufigkeit, -Dauer und die Anzahl exponierter Personen sind zu minimieren.
5. Quellabsaugung mit Partikel-Filter (HEPA H14) verwenden.
6. Luft-Rückführung in den Arbeitsbereich nur nach ausreichender Reinigung.
7. Beseitigung nanopartikelhaltiger Staubablagerungen im Feucht-/Nassverfahren und nur in zweiter Priorität mit geeignetem Staubsauger (niemals mit Druckluft abblasen).
8. Mit Nano-Produkt verschmutzte Putzlappen nicht in Kleidertaschen aufbewahren.

⁸ Zur Begriffserklärung siehe Glossar Kapitel 6.

⁹ Zur Begriffserklärung siehe Glossar Kapitel 6.

Persönliche Schutz-Ausrüstung / PSA

Bezüglich Schutzausrüstung gibt es mittlerweile gute Erkenntnisse darüber, welche Typen und Systeme sich für den Schutz vor synthetischen Nanomaterialien eignen (siehe „NanoSafe“: Safe production and use of nanomaterials und „Nano to go!“: Safe handling of nano materials and other advanced materials at workplaces). Diese Erkenntnisse sind beim Abfassen des SDB zu berücksichtigen. Besonders ist hier darauf hinzuweisen, dass der dermale Expositions-Schutz vor eingetrockneten und ev. staubenden Produktresten nur durch das Übereinander tragen von 2 Paar Handschuhen gewährleistet ist.

Textbeispiele zu SDB-Abschnitt 8 (Persönliche Schutzausrüstung / PSA):

1. Atemschutz

Wenn beim Arbeiten die Freisetzung von Nanopartikeln (als Staub oder Aerosol) nicht verhindert werden kann, soll zusätzlich zu den technischen Schutzmassnahmen ein Partikel-filtrierender Atemschutz (Filterklasse P-3) getragen werden.

2. Handschuhe

Ist direkter Kontakt mit Nanopartikeln (flüssig, fest oder staubförmig) nicht zu vermeiden, sind möglichst zwei Handschuhschichten übereinander zu tragen (je nach Situation z.B. Latex- und Chemie-Handschuhe oder doppelte Einweghandschuhe etc.). Sorgfältiges An- und Ausziehen der Handschuhe und die Überlappung mit dem Schutzanzug sind für einen guten Schutz von grosser Bedeutung. Das Handschuhmaterial muss entsprechend der Chemikalie gewählt werden; für partikelhaltige Stoffe ist die richtige Handhabung der PSA dabei wichtiger als die Durchdringungszeit. Zwei Paar übereinander getragene Handschuhe bieten besseren Schutz beim Ausziehen.

3. Schutzanzug

Der langärmelige Schutzanzug soll aus Membranmaterial (non-woven oder Vlies) bestehen; gewobene Stoffe sind zu vermeiden.

4. Augenschutz

Zum Schutz der Augen ist mindestens eine dichtschiessende Schutzbrille zu verwenden. Einen besseren Schutz bietet jedoch eine Vollmaske.

5.1.5 SDB-Abschnitt 9 „Physikalisch-chemische Eigenschaften“

Nach ChemV Art.49 müssen für meldepflichtige Nanomaterialien und deren Zubereitungen die Zusammensetzung, Teilchenform mit mittlerer Korngrösse, sowie, soweit vorhanden, das spezifische Oberflächen-Volumen-Verhältnis, die Kristallstruktur, der Aggregationsstatus, die Oberflächenbeschichtung und die Oberflächenfunktionalisierung bekannt gegeben werden. Diese Angaben sollten auch im Sicherheitsdatenblatt vorhanden sein, wenn das Nanomate-

rial nicht meldepflichtig ist. **Zusätzlich sind Angaben zu folgenden Parametern wünschenswert:**

- a) Angaben zur **Grössenverteilung**¹⁰ der im Produkt enthaltenen Partikel. Diese Angaben sind immer dann zu empfehlen, wenn die Existenz nanoskaliger Partikel im Produkt bekannt ist. Sollte die Grössenverteilung nicht bekannt sein, ist auch die Angabe der bekannten Partikelgrössen hilfreich (z.B. "enthält Nanopartikel im Bereich 10nm"). Dabei ist zu beachten, dass sich z.B. bei einer Grössenverteilung mit einem Maximum von 200nm ein Anteil der Partikel im Nanobereich (Partikel kleiner als 100nm) befinden kann (Definition Nanomaterialien). Bei grösseren Produktmengen kann ein Anteil von wenigen Prozenten wichtig bzw. gesundheitsrelevant werden.
- b) Angaben zur **Wasserlöslichkeit** des Nanomaterials als ein Hinweis auf seine Stabilität. Dabei ist zu beachten, dass beim Eintrag von Nanomaterialien in ein Lösemittel zwei Effekte auftreten können: Auflösung des Materials in seine molekularen oder ionischen Bestandteile, bzw. Suspension der Nanomaterialien als ganze Einheiten. Bei Angaben zur Wasserlöslichkeit sollten diese beiden Effekte unterschieden werden.
- c) Angaben zur **Stabilität von Agglomeraten bzw. Aggregaten**: Agglomerate/Aggregate können unter gewissen Bedingungen deagglomerieren/deaggregieren. Vermeintlich sichere grosse Agglomerate/Aggregate können deshalb in bestimmten Umgebungen (im Körper oder in der Umwelt) eine Gefahr darstellen, wenn sie wieder in ihre Primär-Partikel zerfallen.
- d) Angaben zur **Oxidations- bzw. Reduktionsfähigkeit** I¹¹ der Nanomaterialien. Die Oxidations- bzw. Reduktionsfähigkeit lässt sich mit dem Redoxpotential quantitativ erfassen. Die Messung des Redoxpotentials von Nanomaterialien ist sinnvoll, wenn diese an Elektronentransferprozessen teilnehmen. Zu beachten ist, dass eine Beschichtung von Nanopartikeln deren Redoxpotential verändern kann.
- e) Informationen über das **Radikalbildungspotenzial**¹² sind ein wichtiges Kriterium für Risikobetrachtungen von Nanomaterialien. Alle Angaben, die zur Einschätzung von Wahrscheinlichkeit und Art einer Radikalbildung beitragen können, sind von Vorteil. Z.B. Angaben zur **photokatalytischen Aktivität**¹³ der Nanomaterialien. Photokatalytisch aktive Materialien sind Halbleiter, die durch den Einfluss von Licht hochreaktive freie Radikale bilden können. Die photokatalytische Aktivität ist in hohem Masse abhängig von der Art des Materials, der Grösse der Nanopartikel, der Oberflächenmodifikationen oder von einem gezielten Dotieren des Materials. Die Photokatalytische Aktivität muss von Fall zu Fall geklärt werden.

¹⁰ Zur Begriffserklärung siehe Glossar Kapitel 6.

¹¹ Zur Begriffserklärung siehe Glossar Kapitel 6.

¹² Zur Begriffserklärung siehe Glossar Kapitel 6.

¹³ Zur Begriffserklärung siehe Glossar Kapitel 6.

Vorsorgeraster:

Die oben aufgeführten Informationen zu SDB-Abschnitt 9 werden auch für das Ausfüllen eines Vorsorgeraster-Formulars¹⁴ benötigt. Je mehr Details in den SDB-Abschnitten zu finden sind, desto besser wird die Aussagekraft des daraus erstellten Vorsorgerasters.

Textbeispiele zu SDB-Abschnitt 9 (Physikalisch- Chemische Eigenschaften):

1. Anteil an nanoskaligem CeO₂ im Produkt: 90%. Spezifische Oberfläche: 20 - 85m² *pro Gramm Substanz nach BET (Specific Surface Area, SSA_{BET}). Durchmesser der Primär-Nanopartikel: 10 - 40nm (d_{BET}).*
2. Das Produkt enthält unbeschichtete Nanopartikel im Grössenbereich von 50 - 200nm.
3. Maximum der Partikelgrössenverteilung um 50nm. Die Beschichtung der Nanopartikel verhindert Agglomeratbildung.
4. Agglomerate (200nm) können im Körper / in der Umwelt deagglomerieren.
5. Durch Funktionalisierung (Beschichtung) der enthaltenen Titandioxid-Nanopartikel ist die photokatalytische Wirkung reduziert im Vergleich zur nicht-beschichteten Form.
6. Deutlich erhöhte Reaktivität gegenüber der nicht-nano-Form des gleichen Materials.
7. Begünstigt die Bildung von Sauerstoffradikalen.
8. Das Produkt wirkt katalytisch oder redoxaktiv.
9. Die enthaltenen Titandioxid-Nanopartikel sind stabil (nicht abbaubar und nicht löslich im Körper / in der Umwelt).
10. Die enthaltenen MWCNT haben einen Durchmesser von 20-40nm und ihre Länge beträgt mindestens 500nm. Das Verhältnis Länge zu Durchmesser beträgt etwa 10:1.

5.2 Wichtige Angaben für die Beurteilung und den sicheren Umgang mit Nanomaterialien

In weiteren drei SDB-Abschnitten sollen spezifische Informationen zu den im Produkt enthaltenen Nanomaterialien angegeben werden (falls vorhanden und/oder mit verhältnismässigem Aufwand ermittelbar).

5.2.1 SDB-Abschnitt 5 „Massnahmen zur Brandbekämpfung“

Nanomaterialien können eine höhere Reaktivität aufweisen als die analogen nicht-nanoskaligen Substanzen. Metallische Nano-Eisenpartikel oxidieren z.B. blitzschnell unter Flammenbildung an der Luft. Unter Umständen ist deshalb bei Nanomaterialien eine andere Vorgehensweise bei der Brandbekämpfung erforderlich. Angaben zu erhöhter Brand- oder Explosionsgefahr sollen in jedem Fall stoffspezifisch gemacht und - wenn möglich - mit Daten belegt werden.

¹⁴ Zur Begriffserklärung siehe Glossar Kapitel 6.

Textbeispiele zu SDB-Abschnitt 5 (Brandbekämpfung):

1. Die enthaltenen Eisen-Nanopartikel besitzen hohe Brennbarkeit / Entflammbarkeit.
2. Die enthaltenen Eisen-Nanopartikel sind pyrophor.

5.2.2 SDB-Abschnitt 7 „Handhabung und Lagerung“

Allgemeines Vorgehen

Bei der Handhabung und Lagerung von Nanomaterialien (auch in Zubereitungen) mit unbekanntem Wirkungspotential sollen aus vorsorglichen Erwägungen Expositionen grundsätzlich vermieden oder zumindest auf ein Minimum beschränkt werden. Zur systematischen Minimierung eignen sich verschiedene Massnahmen, die unter Berücksichtigung ihrer jeweiligen Schutzwirkung nach dem sogenannten „**TOP-Vorgehens-Prinzip**“ zu priorisieren sind. Dieses Priorisieren der Schutzmassnahmen soll auch im SDB abgebildet werden:

1. **T = Technische Schutzmassnahmen**
Verwenden von geschlossenen Apparaturen (Glove-Box usw.)
Entstehung von Stäuben oder Aerosolen vermeiden
Absaugen von Stäuben oder Aerosolen direkt an der Quelle
Reinigen der abgesaugten Luft vorsehen (geeigneter Filter)
Arbeitsraum abtrennen und Raumlüftung anpassen (leichter Unterdruck)
Feucht-/Nassreinigung. Staubsauger nur in zweiter Priorität. Staub nie abblasen.
2. **O = Organisatorische Schutzmassnahmen**
Minimierung der Expositionszeit
Minimierung der Anzahl exponierter Personen
Beschränkung des Zugangs
Unterweisung des Personals über Gefahren und Schutzmassnahmen (Betriebsanweisungen)
3. **P = Persönliche Schutzmassnahmen**
Auf die persönliche Schutzausrüstung (PSA) ist erst zurückzugreifen, wenn die obigen technischen und organisatorischen Massnahmen zu wenig Schutz gewährleisten. Spezifischen Anforderungen an PSA sind im SDB-Abschnitt 8 aufzuführen.

Handhabung

Beim Umgang mit brennbaren Nanopartikeln müssen zusätzlich **Massnahmen zum Explosionsschutz** ergriffen werden, wenn sich eine gefahrbringende Staubmenge entwickeln kann. → Explosionsschutzzonen (Ex-Schutzzonen) festlegen.

Beim Umgang mit reaktiven oder katalytisch wirksamen Nanopartikeln ist ein Kontakt mit der Substanz möglichst ganz auszuschliessen.

Textbeispiele zu SDB-Abschnitt 7 (Handhabung):

1. Quellenabsaugung mit Partikel-Filter (HEPA Filter H14) verwenden.
2. Feucht- oder Nassreinigung anwenden. Staubsauger nur in zweiter Priorität benutzen, dann aber Partikel-Filter (z.B. HEPA H14) einsetzen. Auf mögliche Exposition bei Unterhalt und Entsorgung achten und diese vermeiden.
3. Aerosolbildung vermeiden und Zündquellen eliminieren
4. Beim Füllen und Entleeren von Behältnissen mit pulverförmigen Nanopartikel, Schutzmaske (Filterklasse P-3), Schutzanzug (Non-Woven) und Nitril-Handschuhe (Zwei Paar übereinander) tragen und in besonders geschütztem Raum (z.B. Unterdruck) oder kleiner geschlossenen Kammer arbeiten (z.B. Glove-Box).

Lagerung

Bei der Lagerung von Nanomaterialien gelten grundsätzlich die Vorschriften für die Substanzen in nicht-nano-Form. Liegen Nanopartikel in Pulverform vor, soll primär auf deren Inhalationspotenzial und auf die Gefahren von allfälligen Staubexplosionen aufmerksam gemacht werden; Zündquellen müssen gegebenenfalls eliminiert werden.

Textbeispiele zu SDB-Abschnitt 7 (Lagerung):

1. Pulverförmige Nanomaterialien in Antistatik-Beuteln (mit Argon oder Stickstoff gefüllt oder luftdicht und vakuumverpackt) lagern.
2. Metallische Nano-Pulver im Antistatik-Beutel unter Luftabschluss verschweisst, in Metallbehältern lagern.

5.2.3 SDB-Abschnitt 13 „Hinweise zur Entsorgung“

Dieser Abschnitt soll Hinweise auf mögliche nanospezifische Eigenschaften enthalten, die während des Entsorgungsprozesses von nanomaterialhaltigem Abfall zur Freisetzung von Nanomaterialien, zur Exposition der Arbeitnehmenden und zu Emissionen in die Umwelt führen können.

Der Inhaber / die Inhaberin des Abfalls soll beurteilen können, ob ein Nanoabfall in eine nanospezifische Entsorgung gegeben werden muss. Abfälle, welche freie oder leicht freisetzbare synthetische Nanomaterialien enthalten, sollen als Sonderabfall entsorgt werden, wenn aufgrund ihrer nanospezifischen Eigenschaften Auswirkungen auf Gesundheit, Sicherheit oder Umwelt nicht auszuschliessen sind. Als Hilfsmittel zur Beurteilung eines möglichen Handlungsbedarfs kann z.B. der [„Vorsorgeraster synthetische Nanomaterialien“](#)¹⁵ oder die Vollzugshilfe [„Entsorgung von Abfällen aus Herstellung sowie industrieller und gewerblicher Verarbeitung von synthetischen Nanomaterialien“](#) verwendet werden.

¹⁵ Zur Begriffserklärung siehe Glossar Kapitel 6.

Welche Anforderungen für die Entsorgung gelten, hängt insbesondere davon ab, ob die zu entsorgenden Abfälle Sonderabfälle sind oder nicht. Sonderabfälle sind gemäss Verordnung über den Verkehr mit Sonderabfällen ([VeVA](#) Artikel 2 Absatz 2 Buchstabe a / SR 814.610) Abfälle, deren umweltverträgliche Entsorgung auf Grund ihrer Zusammensetzung, ihrer chemisch-physikalischen oder ihrer biologischen Eigenschaften auch im Inlandverkehr umfassende besondere technische und organisatorische Massnahmen erfordert. Sonderabfälle sind im Abfallverzeichnis (Anhang 1 der „Verordnung des UVEK¹⁶ über Listen zum Verkehr mit Abfällen“ [„Verordnung des UVEK über Listen zum Verkehr mit Abfällen“](#), SR 814.610.1) aufgelistet; jeder Sonderabfall hat einen spezifischen Abfallcode. Für Nano-Sonderabfälle, ohne bestimmten Abfallcode aufgrund ihrer Materialeigenschaften, ist der entsprechende Sammelcode für Sonderabfälle zu verwenden:

16 03 03 S Anorganische Abfälle, die gefährliche Stoffe enthalten

16 03 05 S Organische Abfälle, die gefährliche Stoffe enthalten

Textbeispiele zu SDB-Abschnitt 13 (Entsorgung):

1. Sonderabfall 16 03 05 S; enthält in Kunststoff integrierte freisetzbare Silber-Nanopartikel (max. 0.05%).
2. Pulverförmige Nanopartikel enthaltende Abfälle in Antistatikbeuteln stabilisiert.
3. CNT-haltige Abfälle: Hochtemperaturverbrennung für Entsorgung empfohlen.

¹⁶ Zur Begriffserklärung siehe Glossar Kapitel 6.

6 Glossar und Abkürzungen

| Begriff | Erklärung / Definition | Bemerkung |
|---|---|--|
| Abfallcode | Gemäss der CH-Abfallliste werden problematischen Abfällen Nummern (Codes) zugewiesen, damit sie gezielt entsorgt werden können. | Es wird gegenwärtig diskutiert, ob nanomaterialhaltigen Abfällen ein neuer Code zugewiesen werden soll. Die Zuteilung erfolgt gemäss dem Vorsorgeprinzip und die Kennzeichnung erfolgt aus Sicherheitsgründen. |
| Agglomerat | Ansammlung schwach gebundener Partikel oder Aggregate bzw. Gemische der beiden, in der die resultierende Oberfläche ähnlich der Summe der Oberflächen der einzelnen Bestandteile ist. Die Kräfte, welche ein Agglomerat zusammenhalten sind schwach; zum Beispiel Van-der-Waals-Kräfte oder einfache physikalische Verhakungen. | Im Gegensatz zu ultrafeinen Partikeln der Umwelt werden synthetische Nanopartikel oft spezifisch funktionalisiert bzw. chemisch beschichtet (\rightarrow Coating), um ihre Neigung zur Agglomeration herabzusetzen. |
| Aggregat | Partikel aus fest gebundenen oder verschmolzenen Partikeln, bei dem die resultierende Oberfläche wesentlich kleiner als die Summe der berechneten Oberflächen der einzelnen Bestandteile sein kann. Die Kräfte, welche ein Aggregat zusammenhalten sind stark; zum Beispiel kovalente Bindungen oder solche, die auf Sintern oder komplexen physikalischen Verhakungen beruhen. | |
| BET-Oberfläche (BET = Brunnauer-Emmett-Teller) | Angabe der spezifischen Oberfläche eines Materials, welche mit dem BET-Verfahren gemessen wurde. Die spezifische Oberfläche von Feststoffen oder Pulvern wird durch Gasadsorption bestimmt. | Beispiel: Ein Gramm TiO_2 (Rutil) mit einem Partikeldurchmesser von 50nm hat eine spezifische Oberfläche von 30m^2 . |
| CNT = carbon nanotubes | Kohlenstoff-Nano-Röhrchen; Sie können aus einer oder mehreren Wandschichten bestehen. MWCNT= Multi-Walled CNT SWCNT= Single-Walled CNT | Beispiel für MWCNT (im Handel erhältlich): Durchmesser = 20-40nm Länge = 500-40'000nm |
| Bulk | Hier: homologe Substanz in makro- oder mikroskopischer Form. | In Abgrenzung zur nanoskaligen Form der Substanz. |
| Coating | Modifikationen der Oberfläche von Nanopartikeln durch Beschichtungen (z.B. mit Polymeren oder mit positiven / negativen Gruppen / Molekülen). Es wird auch als Funktionalisierung bezeichnet. | Nanopartikel werden oft beschichtet, um Agglomerieren und / oder Aggregieren zu verhindern und um die Reaktivität der Einzelpartikel zu vermindern. |

| | | |
|--------------------------|--|--|
| Dotieren | Gezieltes Hinzufügen von Fremdatomen zu einem (meist kristallinen) Material zur Änderung von dessen (meist elektrischen) Eigenschaften. (Englisch: doping). | Die photokatalytische Aktivität eines Materials kann durch Dotieren massiv verstärkt werden und verlangt spezielle Aufmerksamkeit. |
| HEPA | High Efficiency Particulate Air. Schwebstofffilter, die über 99.9% aller Staubpartikel grösser als 0.1–0.3µm aus der Luft filtern. Die Europäische Norm EN 1822 definiert Filterklassen H10–H14 (HEPA) und U15–U17 (ULPA). | HEPA-Filterkassetten in Staubsaugern entsprechen nicht unbedingt der EN 1822. |
| Fasern (lungengängig) | Fasern, die eine Länge von mehr als 5µm, einen Durchmesser von weniger als 3µm und ein Länge-Durchmesser-Verhältnis von mehr als 3:1 haben (WHO-Definition). Solche Fasern werden als lungengängige Fasern bezeichnet. | Einige Faserstäube gelten als Risikofaktoren für Krebs (z.B. Asbest). Gewisse CNT stehen unter dem Verdacht, sich asbestähnlich zu verhalten. |
| Funktionalisierung | Siehe Coating. | |
| Grössenverteilung | Nanomaterialien bestehen typischerweise aus Partikeln unterschiedlicher Grösse. Ein reines Produkt hat in der Grössenverteilung oft eine klar definierte häufigste Grösse, ein Gemisch kann davon aber stark abweichen. | Unterschiedliche Messverfahren zu Grösse und Grössenverteilungen in Nanomaterialien sind oft nicht miteinander vergleichbar. |
| Kurzzeitgrenzwert | Maximaler Kurzzeit-Arbeitsplatz-Konzentrations-Wert (MAK-Wert). Die maximalen Arbeitsplatz-Konzentrations-Werte sind 15 Minuten-Mittelwerte. | Weitere Informationen finden Sie in der SUVA Grenzwertliste „ Grenzwerte am Arbeitsplatz “. |
| MAK-Wert | Maximaler Arbeitsplatz-Konzentrations-Wert (MAK-Wert). Die maximalen Arbeitsplatz-Konzentrations-Werte sind 8-Stunden-Mittelwerte. | Maximale Arbeitsplatz-Konzentrationswerte (MAK-Werte) und biologische Arbeitsstoff-Toleranzwerte (BAT-Werte) und Grenzwerte für physikalische Einwirkungen werden periodisch publiziert durch die SUVA (Grenzwerte am Arbeitsplatz). |
| Nanofasern | Objekte mit zwei nanoskaligen Ausmassen. | ISO-Begriffe (Kapitel 2.1) |
| Nanomaterialien | Im vorliegenden Leitfaden sind unter diesem Begriff bewusst hergestellte (synthetische) Nanomaterialien gemeint. | Das Wort „Nanomaterial“ ist ein relativ unspezifischer Sammelbegriff unter welchem alle Materialien, die nanoskalige Bestandteile enthalten, subsummiert werden können. |
| Nanopartikel | Objekte, die in ein, zwei oder drei Aus- | ISO-Begriffe (Kapitel 2.1) |

| Begriff | Erklärung / Definition | Bemerkung |
|---------------------------|---|--|
| | senmassen nanoskalig sind. | |
| NanoSafe | EU-Förderprojekt zur sicheren Handhabung von Nanomaterialien. | Dissemination-Reports, auf dem Internet verfügbar. |
| Nanoskalig | Umfasst im Sinne der ISO-Definition den Grössenbereich von 1-100nm. Neueste Erkenntnisse deuten darauf hin, dass auch bei Partikeln mit einer Grösse bis ca. 300nm eine nanospezifische Wechselwirkung mit der biologischen Umgebung möglich ist. | Im Rahmen des Vorsorge-rasters wird deshalb empfohlen, Systeme die kleiner als 500nm sind, getrennt von den Bulk-Materialien, als potentiell nanoskalig zu betrachten. |
| P-3 (Filterklasse P-3) | Die Europäische Norm EN 149 definiert die Klassen 1 bis 3 für Schwebstofffilter für Masken. Sie eignen sich für die Arbeit an Plätzen mit 4, 10 und 30-facher Arbeitsplatzgrenzwertüberschreitung. P-3 steht hier kurz für FFP3: Typ der Gesichtsmaske mit Mundschutz (F iltering F ace P iece). | Im Vergleich zu HEPA dient zur Beurteilung hier die Gesamtleckage einer Maske, welche sich aus Undichtigkeitsstellen am Gesicht, der Leckage am Ausatemventil (wenn vorhanden) sowie aus dem eigentlichen Filterdurchlass zusammensetzt. |
| Photokatalyse | Eine durch Licht ausgelöste chemische Reaktion, die zur Bildung von hochreaktiven freien Radikalen führen kann. | Die photokatalytische Aktivität muss von Fall zu Fall geklärt werden. |
| Redoxaktivität | Wechselwirkung mit der Umgebung durch Austausch von Elektronen (Reduktion oder Oxidation). Die Redoxaktivität lässt sich mit dem Redoxpotenzial ausdrücken. | Die Messung des Redoxpotenzials von Nanomaterialien ist sinnvoll, wenn diese an Elektronentransfer-Prozessen teilnehmen. Beschichtung von Nanopartikeln kann deren Redoxaktivität verändern. |
| Synthetische Nanopartikel | Gezielt hergestellte Nanopartikel (z.B. Nanotubes, Fullerene, Metalloxide, quantum dots etc.). | Umweltpartikel und Arbeits-Nebenprodukte (z.B. Schweissrauche) gehören nicht dazu. |
| UVEK | Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation | www.uvek.admin.ch |
| Zeta-Potential | Elektrisches Potential an der Abscherschicht eines bewegten Partikels in einer Suspension. Es beschreibt die Fähigkeit, Kraft auf eine Ladung in der Umgebung auszuüben. | Das Zeta-Potential ist ein Mass für die interpartikulären Abstossungskräfte, und ist damit im Zusammenhang mit Agglomeration von Interesse. |

Für weitergehende Erklärungen und Begriffsdefinitionen wird auf das Glossar der zentralen Informationsplattform des Bundes zum Thema Nanotechnologie verwiesen, auf www.infonano.ch

7 Weiterführende Links

InfoNano: Zentrale Informationsstelle des Bundes zum Thema Nanotechnologie basierend auf dem Aktionsplan "Synthetische Nanomaterialien", fasst aktuelle Diskussion um Nutzen und Risiken der Nanotechnologie zusammen. www.infonano.ch

Selbstkontrolle von synthetischen Nanomaterialien: Diese Publikation der Bundesbehörden BAFU, BAG, SECO und BLW richtet sich an Hersteller und Importeure von synthetischen Nanomaterialien sowie von Zubereitungen und Gegenständen, die synthetische Nanomaterialien enthalten. Mit dieser Anleitung zur Selbstkontrolle werden rechtliche Anforderungen von Gesetzen und Verordnungen konkretisiert, um eine einheitliche Durchführung der Selbstkontrolle zu fördern. Berücksichtigen die Hersteller und Importeure diese Anleitung, so können sie davon ausgehen, dass sie das Bundesrecht rechtskonform anwenden. Kontakt: Bundesamt für Umwelt BAFU Abteilung Luftreinhaltung und Chemikalien 3003 Bern. www.infonano.ch

Vorsorgeraster für synthetische Nanomaterialien: Die Verantwortung für den sicheren Umgang mit synthetischen Nanomaterialien zum Schutz von Gesundheit und Umwelt liegt bei Industrie und Gewerbe. Der Vorsorgeraster ist ein Hilfsmittel, um abzuklären, in welchem Masse das Durchführen von Vorsorgemassnahmen bei der Entwicklung und Handhabung von Nanomaterialien angezeigt erscheint. Eine Risikobewertung im eigentlichen Sinne kann und soll mit diesem Instrument nicht durchgeführt werden; es ersetzt in keiner Weise eine Risikoanalyse. www.infonano.ch

SUVA: Der Beitrag „Nanopartikel an Arbeitsplätzen“ der Schweizerischen Unfallversicherungsanstalt zeigt konkrete Schutzmassnahmen auf, die es beim Umgang mit Nanopartikeln an Arbeitsplätzen zu beachten gilt. www.suva.ch/startseite-suva/praevention-suva/arbeit-suva/branchen-und-themen-filter-suva/nanopartikel-arbeitsplaetzen-suva.htm

BAuA: Handlungshilfen für den Umgang mit Nanomaterialien. Auf dieser Seite der Deutschen Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin finden Sie Empfehlungen aus aller Welt zum Umgang mit Nanomaterialien. www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/Nanotechnologie/Links-Beispiele.html

BAuA/VCI: Der Leitfaden für Tätigkeiten mit Nanomaterialien am Arbeitsplatz der Deutschen Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin und dem Verband der Chemischen Industrie bietet eine Orientierung über Massnahmen bei der Herstellung und Verwendung von Nanomaterialien am Arbeitsplatz (2012). www.baua.de/de/Publikationen/Fachbeitraege/Gd4.html

DGUV: Auf der Seite des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung finden sich ergänzend zu den Empfehlungen von SUVA und BAuA, konkrete Arbeits- und PSA-Empfehlungen. Es werden auch Hinweise gemacht zu den Erkenntnissen aus den NanoSafe-Projekten. www.dguv.de/fb-rci/sachgebiete/gefahstoffe/nanotechnologie/index.jsp

NanoSafe: Die „Dissemination reports“ dieses EU-Projekts „safe production and use of nanomaterials“ zeigen auf einfache und verständliche Weise auf, wie sicheres Arbeiten in verschiedenen Nano-Bereichen möglich ist. Diese Berichte sind nur auf Englisch verfügbar und behandeln folgende Themen:

1. Effizienz von Filtern für Nanomaterialien (2008)
2. Explosionsgefahr von Nanopulvern (2008)
3. Arbeitsplatzmessungen von Nanopartikelexposition (2008)
4. Risikoabschätzung für Nanoaerosol-Explosionen (2008)
5. Nanotoxikologie (2008)
6. Sichere Handhabung von Nanopartikel (2008)
7. Stand der Regulierung von Nanomaterialien, Wichtigkeit von Standards (2009)

www.nanosafe.org/scripts/home/publigen/content/templates/show.asp?P=63&L=EN&ITEMID=13

NanoValid (www.nanovalid.eu/)

“Nano to go!” (www.nanovalid.eu/index.php/nanovalid-publications/306-nanotogo) und “Safe handling of nano materials and other advanced materials at workplaces” (Leitfaden der Deutschen Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) im Rahmen des NanoValid-Projektes)

ENRHES: Der Endreport des EU-Projekts „Engineered Nanoparticles - Review of Health and Environmental Safety“ ist eine umfassende und kritische wissenschaftliche Überprüfung der Gesundheits- und Umweltsicherheit von Fullerenen, carbon nanotubes (CNT), metallischen und oxidischen Nanomaterialien. Auf dieser Grundlage wurden priorisierte Empfehlungen entwickelt und in den Kontext der Entwicklung von angemessenen Regulationen gesetzt.
http://cordis.europa.eu/result/rcn/45841_en.html

OECD: Safety of manufactured Nanomaterials: 11 Nanomaterialien wurden von der OECD getestet. Monographien sind publiziert unter:
www.oecd.org/env/ehs/nanosafety/publications-series-safety-manufactured-nanomaterials.htm