

Nanomaterialien

auva.at

M•plus 310

Sicherheitsinformation
für Führungskräfte



Inhalt

1	Einleitung	4
2	Definitionen und Bezeichnungen	5
3	Eigenschaften	7
4	Regulatorische Ansätze	10
5	Sicherheitsdatenblätter und Nanomaterialien	11
6	Potenzielle gesundheitliche Auswirkungen	12
7	Exposition am Arbeitsplatz und Messmethoden	15
8	Risikobewertung von Nanomaterialien	17
9	Empfehlungen zum Schutz der Arbeitnehmer:innen	20
10	Literatur	22

Autor:innen (in alphabetischer Reihenfolge):

Dipl.-Ing. Dr. Thomas Falta, AUVA HS

Dr. René Fries, ÖAW ITA

MMag Dr. André Gzásó, ÖAW ITA

Dipl.-Ing. Alexander Graff, ÖSBS

Mag.^a Sabine Lehr, ZAI

Dr. Gerhard Orsolits, AUVA HS

Dipl.-Ing. Dr. Florian Part, BOKU

Anna Pavlicek, MSc MSc, ÖAW ITA/BOKU

Gloria Rose, MSc BA, ÖAW ITA

Redaktionsschluss 03.06.2022



1 Einleitung

Durch technische Verkleinerungen oder synthetische Herstellung werden Nanopartikel erzeugt, die im Vergleich zu den Ausgangsmaterialien völlig andere, zum Teil neuartige Eigenschaften haben können. Dadurch eröffnen sich neue Möglichkeiten, Produkte wesentlich zu verbessern. Nanomaterialien, die eine wichtige Gruppe der Advanced Materials darstellen, werden von der Europäischen Kommission zu den Schlüsseltechnologien gezählt, die für viele Zwecke und Anwendungen eingesetzt werden können. Die in diesen Prozessen hergestellten und eingesetzten Nanomaterialien finden immer größere Verbreitung und stellen eine besondere Herausforderung für den Arbeits- und Gesundheitsschutz dar.

Jedoch, was auf der einen Seite einen gewünschten Effekt darstellt, kann im menschlichen Körper unerwünschte Wirkungen hervorrufen. Einige Eigenschaften der Nanopartikel sind besonders besorgniserregend, z. B. die sehr hohe Reaktivität, die Fähigkeit, die Körper- und Zellbarrieren zu durchdringen und die lange Verweildauer sowie Anreicherung im Körper (Biosistenz).

Derzeit sind die spezifischen toxikologischen Daten unzureichend, um eine umfassende Risikoeinschätzung durchführen zu können. Gründe dafür sind die sehr kurzen Expositionszeiten, die keine Rückschlüsse auf mögliche chronische Effekte zulassen, sowie Applikationswege in Tierversuchen, die nicht den realen Bedingungen in der Arbeitswelt entsprechen.

Nanomaterialien, ihre Herstellung und Anwendung sowie ihre toxikologischen Auswirkungen stellen derzeit eines der größten Forschungsgebiete weltweit dar. Dem Thema Nanosicherheit wurden sowohl auf europäischer Ebene als auch weltweit große Forschungsprojekte gewidmet (EU-NANoREG 1 & 2, EU-Nanosafety-Cluster, OECD-WPMN etc.). In Österreich

gibt es seit 2011 ein eigenes Forschungsprogramm zur Nanosicherheit (Nano-EHS), das jährlich ausgeschrieben wird.

Auch die internationalen Standardisierungsbehörden beschäftigen sich seit 2005 mit der sicheren Entwicklung von Nanomaterialien (ISO/TC 229, CEN/TC 352). In Österreich beschäftigt sich das Komitee 052 (Arbeitsschutz, Ergonomie, Sicherheitstechnik) in einer eigenen Arbeitsgruppe (ON-AG 052.73) mit Sicherheitsfragen im Zusammenhang mit der Nanotechnologie.

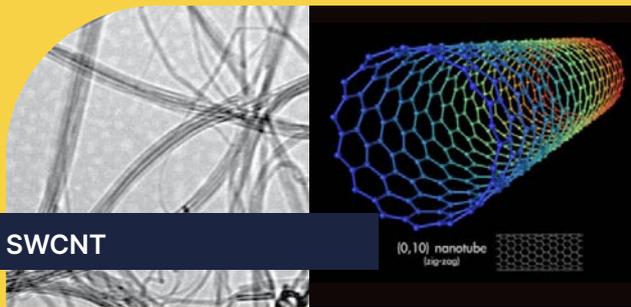
2 Definitionen und Bezeichnungen

Unter Nanomaterialien werden im Allgemeinen solche verstanden, die Partikel enthalten, deren Maße in mindestens einer Dimension zwischen 1 nm und 100 nm liegen. Spezifische Definitionen von Nanopartikeln und ultrafeinen Partikeln finden sich z. B. in der ISO/TS 80004-2:2015 (1). Im Folgenden werden einige Begriffe erläutert.

- **Advanced Materials** sind Materialien, die für einen bestimmten Zweck hergestellt werden und neuartige oder verbesserte Eigenschaften aufweisen.
- **Agglomerate** sind eine Ansammlung von schwach oder mittel-stark gebundenen Partikeln, deren resultierende externe Oberfläche annähernd der Summe der Oberflächen der Einzelbestandteile entspricht.
- **Aggregate** sind stark gebundene bzw. verschmolzene Partikel, deren resultierende externe Oberfläche signifikant kleiner ist als die Summe der Oberflächen der Einzelbestandteile.
- **Nanometer (nm)** – ein Nanometer entspricht 10^{-9} = 0,000000001 Meter, ein Milliardstel Meter; nanos (griechisch) = Zwerg.
- **Nanomaßstab, Nanobereich** bzw. **nanoskalig** kennzeichnet den Größenbereich von etwa 1 nm bis 100 nm.
- **Nanomaterial** ist ein Stoff, der Partikel mit einer oder mehreren Dimensionen oder inneren Strukturen (Nanoobjekte inkorporiert in einer Matrix oder einem Substrat) im Nanobereich enthält.
 - ◆ technisches Nanomaterial – wurde für eine bestimmte Verwendung oder Funktion entwickelt;
 - ◆ industriell hergestelltes Nanomaterial – wird für wirtschaftliche Zwecke mit bestimmten Eigenschaften oder bestimmter Zusammensetzung hergestellt;
 - ◆ unbeabsichtigtes Nanomaterial – wird als unbeabsichtigtes Nebenprodukt eines Prozesses erzeugt (z. B. Holzstaub, Schweißrauch, Dieselruß).
- **Nanoobjekte** sind gemäß ISO/TS 80004-2:2015 Stoffe mit einer, zwei oder drei Dimensionen im Nanobereich:
 - ◆ **Nanoplättchen** – eine Dimension im Nanobereich
 - ◆ **Nanofaser** – zwei Dimensionen im Nanobereich:
 - **Nanodraht** – elektrisch leitende oder halbleitende Nanofaser
 - **Nanoröhre** – hohle Nanofaser
 - **Nanostäbchen** – feste Nanofaser
 - ◆ **Nanopartikel** – drei Dimensionen im Nanobereich
- **Nanostruktur** ist die Anordnung in Beziehung stehender Komponenten in einem nanoskaligen Bereich.
- **Nanostrukturiertes Material** ist ein Material mit einer inneren Nanostruktur oder Oberflächennanostruktur.
- **Nanotechnologie** ist die Anwendung wissenschaftlicher Erkenntnisse zur Handhabung und Steuerung von Substanzen im Nanobereich, um größen- und strukturabhängige Eigenschaften und Phänomene zu nutzen, die sich von denen unterscheiden, die mit einzelnen Atomen bzw. Molekülen oder mit höher-skaligen Materialien verbunden sind.
- **Nanostäube** sind Stäube, die wissentlich hergestellte Nanomaterialien enthalten.
- **Ultrafeine Stäube** bzw. **ultrafeine Partikel** sind Aerosol-Teilchen mit Partikelgrößen von kleiner 100 nm. Diese Partikel entstehen vorwiegend durch Verbrennungsprozesse oder bei der mechanischen Bearbeitung der Werkstoffe. Ultrafeine Partikel können durch menschliche Tätigkeiten produziert werden (Dieselruß, Schweißrauch etc.), aber auch in der Natur, z. B. durch Waldbrände und Vulkane, entstehen.

Im Folgenden werden einige Beispiele für Nanomaterialien (Abbildung 1) aufgezählt:

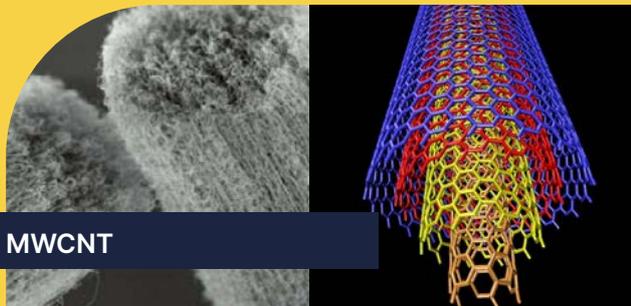
- **Fullerene** – hohle, geschlossene Moleküle aus Kohlenstoffatomen, die sich in Fünf- und Sechsecken anordnen, wobei die häufigste Form das sphärische Buckminster-Fulleren C_{60} ist. Fullerene stellen damit eine Modifikation von Kohlenstoff dar.
- **Carbon Nanotubes (CNT)** – Kohlenstoff Nanoröhrchen
 - ◆ **Single-walled carbon nanotubes (SWCNT)** – einschichtig
 - ◆ **Multi-walled carbon nanotubes (MWCNT)** – mehrschichtig.
- **Organische Nanopartikel** – z. B. Polymer-Nanopartikel (z. B. aus Polystyrol, Poly(Isobutyl-Cyanacrylat), Lipid-Nanopartikel sind abbaubar und werden vorwiegend als Medikamententräger verwendet.
- **Nanokapseln, Nanosphären, Nanomuscheln, Dendrimere** – aus organischen Polymer-Nanopartikel hergestellte Nanoobjekte – können auch aus unlöslichen Polymeren und mit einer modifizierten Oberfläche hergestellt werden. Sie werden als Medikamententräger zu Zielorganen oder Zellen verwendet.
- **Quantenpunkte (engl. Quantum dots)** sind halbleitende Nanokristalle mit besonderen optischen Eigenschaften, die z. B. für biomedizinische Anwendungen sowie in Elektronikgeräten verwendet werden.



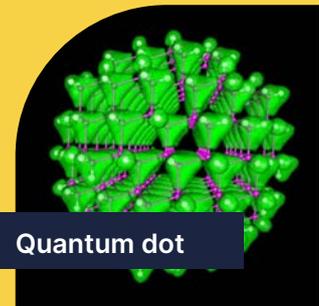
SWCNT



Fullerene



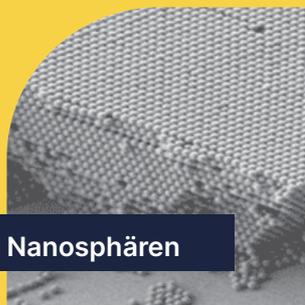
MWCNT



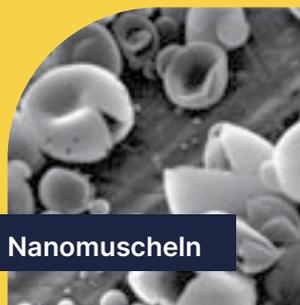
Quantum dot



Nanokapseln



Nanosphären



Nanomuscheln



Dendrimere

Abbildung 1: Einige Nanoobjekte, elektronenmikroskopische Bilder und Modelle.

3 Eigenschaften

Durch Verbrennung erzeugte ultrafeine Partikel und synthetisch hergestellte Nanopartikel weisen auf Grund ihrer Größenordnungen im Prinzip ähnliche Grundeigenschaften auf (Abbildungen 2 und 3). Aus praktischen Gründen werden im weiteren Text nanoskalige Partikel als Nanopartikel bezeichnet.

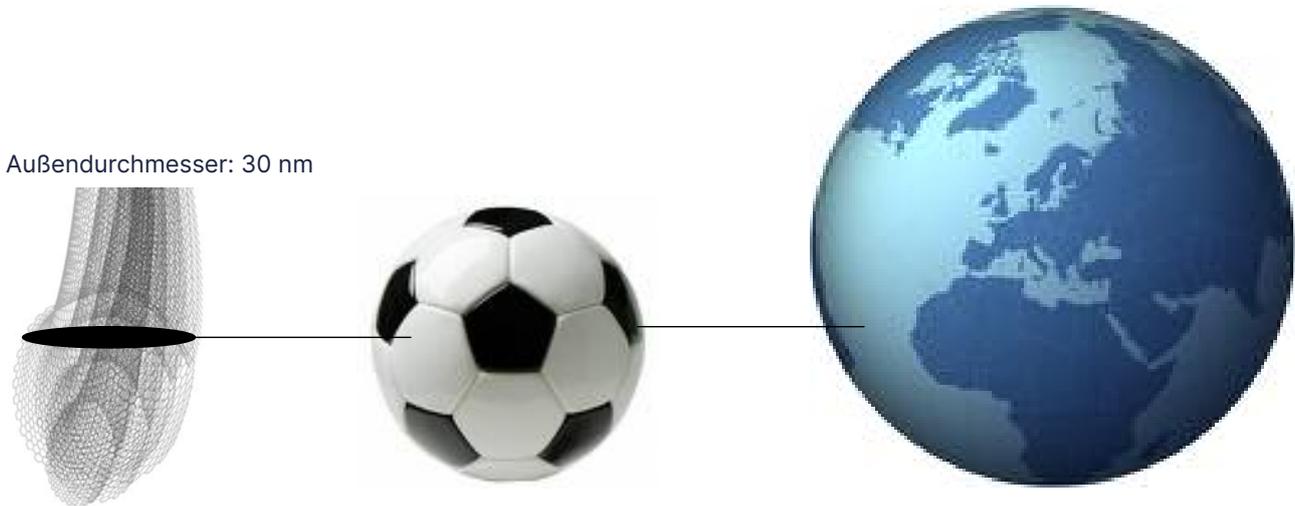


Abbildung 2: Ein Nanopartikel bzw. Nanoobjekt verhält sich in seiner Größe zu einem Fußball, wie der Fußball zur Erde.

Durch Verkleinerungen beziehungsweise synthetische Herstellung können Nanopartikel im Vergleich zu den Ursprungsmaterialien völlig andere physikalische und chemische Eigenschaften (z. B. Löslichkeit, Reaktivität, Leitfähigkeit, optische und katalytische Eigenschaften) haben.

Für die biologische Aktivität der Nanopartikel spielt deren enorm große und chemisch sehr spezifische und sehr aktive Oberfläche eine wichtige Rolle (Abbildung 4). Im Gegensatz zu größeren Stäuben (z. B. Schweißrauch, Holzstaub, PM₁₀ etc.) spielt die Masse eine untergeordnete Rolle.

Dadurch ist auch die Anwendung der Staubgrenzwerte, die alle auf der Masse des Staubes basieren, in den genannten Dimensionen nicht mehr sinnvoll.

Am Arbeitsplatz oder in der Umwelt trägt die Fraktion <100 nm des Staubes in der Gesamtstaubmasse nur einige Procente bei, stellt jedoch mehr als 80 % der gesamten Partikelzahl und Partikeloberfläche dar. Daher ist die Partikelanzahlkonzentration die maßgebliche Größe, um ein solches Teilchenkollektiv beschreiben zu können. Aus diesem Grunde sollten spezifisch für Nanomaterialien geltende Arbeitsplatzgrenzwerte definiert werden, die auf dieser Kenngröße basieren.

Bei Nanopartikeln kann ihre Reaktivität und somit ihre Wirkung aber auch ihre Toxizität durch gezielte chemische Manipulation der Oberfläche geändert werden. So kann z. B. die Reaktivität der Oberfläche durch eine Beschichtung mit reaktiven Sauerstoffradikalen, Metallen, Endotoxinen, polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen etc. erhöht werden.

Größenverteilung [µm]

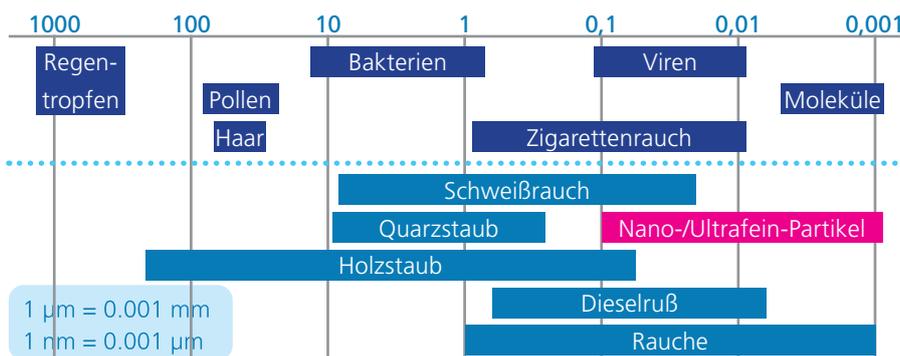


Abbildung 3: Nano-/Ultrafein-Partikel im Größenvergleich.

Zusammenhang: Partikelmasse, Partikelzahl und Oberfläche

Bei gleicher Masse → enorme Vergrößerung der Oberfläche durch Verkleinerung der Partikel

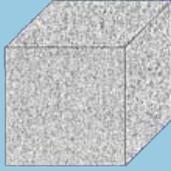
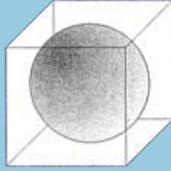
Gesamtmasse	1	1	1
Partikelgröße	0,01 μm	0,1 μm	1 μm
Partikelzahl	1.000.000	1.000	1
			
Oberfläche eines Partikels	0,0001	0,01	1
Gesamtoberfläche	100	10	1

Abbildung 4: zeigt den Zusammenhang zwischen Partikelmasse, Partikelzahl und Oberfläche. Bei gleicher Masse der Partikel kommt es durch die Verkleinerung der Partikel zu einer enormen Vergrößerung der Oberfläche und somit der Reaktivität.

Nanopartikel sind aufgrund ihrer ausgeprägten Diffusionsfähigkeit und der Brown'schen Molekularbewegung sehr beweglich und aufgrund des großen Oberfläche-zu-Volumen-Verhältnisses sehr reaktiv. Sie verbinden sich sofort nach dem Entstehen zu größeren Partikeln, sogenannten Agglomeraten und Aggregaten. In Agglomeraten sind Partikel schwach gebunden und leicht trennbar, bei Aggregaten jedoch wesentlich stärker verbunden. Dadurch entstehen größere Partikel, die aktive Oberfläche wird infolgedessen geringer, die Reaktivität der Partikel sinkt.

Da Nanopartikel fast keine Masse besitzen, findet keine gravitationsbedingte Sedimentation statt, somit schweben Nanopartikel sehr lange Zeit in der Luft (bis zu 300 Stunden). Durch die ausgeprägte Reaktivität gehen Nanopartikel mit anderen in der Umgebungsluft vorhandenen chemischen Stoffen Verbindungen ein. Dadurch können sich in weiterer Folge ihre physikalischen und chemischen Eigenschaften und somit eine etwaige Toxizität verändern.

Nanopartikel können völlig unterschiedliche physikalische und chemische Eigenschaften besitzen. Wie die einzelnen Partikel wirken, hängt von Parametern wie Partikelgröße und -form, chemischer Zusammensetzung, spezifischer Partikeloberfläche, chemischen Eigenschaften der Partikeloberfläche, kristalliner Struktur, hydrophilen/hydrophoben Charakter, Löslichkeit, postsynthetischen Modifikationen (z. B. Beschichtung der Partikel, um eine Aggregation zu vermeiden) etc. ab.

Daher sind auch die potenziellen Risiken, die beim Umgang mit Nanomaterialien am Arbeitsplatz auftreten können, äußerst vielfältig und müssen für den jeweiligen Einzelfall beurteilt werden.

Durch die rasante Entwicklung der Nanotechnologie werden Nanopartikel in der Industrie vielseitig eingesetzt (Tabelle 1).

Tabelle 1: Einige Nanoobjekte, ihre spezifischen Wirkungen/Eigenschaften und einige beispielhafte Anwendungen.

Nanoobjekte	Wirkungen/ Eigenschaften	Anwendungsbeispiele
1D- oder 2D-Nanomaterialien*		
MXene basierend auf karbidischen Übergangsmetallen	thermisch/elektrisch leitfähig, abschirmend vor elektromagnetischen Interferenzen, thermisch und mechanisch sehr stabil	Trockenschmiermittel, Lithium-Ionen-Batterien, Superkondensatoren (z. B. für Bremssysteme), Entsalzungsanlagen, (aufdruckbare, transparente) Elektroden (z. B. für Solarzellen, tragbare Sensoren etc.), diverse thermoelektrische Anwendungen, Konsumgüter (z. B. Motorradhelme, Tennisschläger, Reifen, Wasserfilter etc.)
Kohlenstoff-basierte:	wie bei MXene	wie bei MXene – zusätzlich:
<ul style="list-style-type: none"> ■ Graphene und Graphenoxide 		Kunststoffe (z. B. Gehäuse von Elektrogeräten, Tennisschläger, Autoreifen, Helme, Rotorblätter von Windrädern etc.), diverse Energiespeichersysteme;
<ul style="list-style-type: none"> ■ Kohlenstoffnanoröhrchen (engl. Carbon Nanotubes, CNTs) 		Wie bei Graphene – zusätzlich: Nanodrähte, Flammschutzmittel
Schichtsilikate:	thermisch und mechanisch sehr stabil, Schadstoff- und Wasser-absorbierend	Kunststoffe (z. B. gasdichte Lebensmittelverpackungen, flammgeschützte Gehäuse oder Textilien), Lebensmittel- bzw. Futtermittel- Zusatzstoffe
(Rein-)Metalle:	elektrisch leitfähig	Nanodrähte (z. B. für sehr leichte, tragbare Sensoren und andere Elektronikgeräte)
<ul style="list-style-type: none"> ■ Nanosilber, -gold, -kupfer 		
3D-Nanomaterialien*		
Metalloxide:	thermisch und mechanisch sehr stabil, und andere:	Sonnenschutzmittel, photokatalytisch wirkende Oberflächen (z. B. Fassaden);
<ul style="list-style-type: none"> ■ Nano-Titandioxid ■ Nano-Zinkoxid ■ Nano-Siliziumdioxid 	UV-Licht-absorbierend, photokatalytisch wirkend; schmutzabweisend, Verbesserung der Rieselfähigkeit	hochfester Beton, Innen- und Außenwandfarben, Imprägnier- und Versiegelungsmittel, Lebensmittelzusatzstoff (Rieselhilfe für Salz)
Metalle und Halbmetalle:		
<ul style="list-style-type: none"> ■ Nanosilber ■ Quantenpunkte 	antibakteriell, elektrisch leitfähig elektrisch halbleitend	Wandfarben, diverse Oberflächen; Laser, Leuchtdioden, Fernseher, Solarzellen, Quantencomputer
Organisch-basierte:	elektrisch leitfähig, mechanisch stabil;	Verpackungen, Baustoffe
<ul style="list-style-type: none"> ■ Nano-Zellulose ■ Nano-Lipide ■ Nano-Liposome 	fettliebend, biokompatibel; wie Lipide, jedoch zusätzlich wasserliebend	Wirkstoffverstärker für Impfungen (z. B. gegen COVID-19, Hepatitis A etc.), Trägerstoff für diverse Wirk- und Nährstoffe (z. B. in Lebensmittelindustrie oder Landwirtschaft)

* Nanomaterialien haben 1-, 2- oder 3-dimensionale Ausmaße zwischen 1-100 nm¹. 1D- und 2D-Nanomaterialien sind in diversen – zumeist festen – Materialien eingearbeitet und werden daher den Nano-Kompositen zugeordnet. 2D-Nanomaterialien bestehen in der Regel aus nur wenigen Atomlagen. 3D-Nanomaterialien bzw. Nanopartikel können auch in diversen Medien, wie Wasser oder organischen Lösungsmitteln, dispergiert werden und haben daher Alleinstellungsmerkmal.

1 https://ec.europa.eu/environment/chemicals/nanotech/faq/definition_en.htm



Foto: Gorodenkoff – stock.adobe.com

4 Regulatorische Ansätze

Das Ziel des modernen Arbeitnehmer:innenschutzes ist die Prävention. Arbeitgeber:innen haben sämtliche Gefahren für Gesundheit und Sicherheit der Arbeitnehmer:innen zu erheben und geeignete Schutzmaßnahmen umzusetzen. Für die sichere und nachhaltige Entwicklung von Nanomaterialien bietet in Österreich der Aktionsplan von 2010 eine wichtige Grundlage für vielfältige regulatorische Ansätze. Auf dieser Basis wurde 2013 die österreichische Nanoinformationskommission (NIK) gegründet, die sich mit nanospezifischen Sicherheitsfragen befasst.

Verpflichtungen bezüglich des Arbeitnehmer:innenschutzes treffen primär Arbeitgeber:innen. Diese haben in Bezug auf alle Aspekte, die die Tätigkeit der Arbeitnehmer:innen betreffen, für deren Sicherheit und Gesundheitsschutz zu sorgen. Damit diese Bemühungen effektive und nachhaltige Wirkungen zeigen, ist im Betrieb eine geeignete Arbeitsschutz-Organisation bereitzustellen. Präventivfachkräfte unterstützen dabei Arbeitgeber:innen mit ihrer Expertise.

Das ArbeitnehmerInnenschutzgesetz (ASchG) enthält allgemeine Bestimmungen, wie die Grundsätze der Gefahrenverhütung oder die Pflicht zur Ermittlung und Beurteilung der Gefahren und der Festlegung von Maßnahmen am Arbeitsplatz, sowie konkrete Regelungen, beispielsweise zu:

- dem Einsatz gefährlicher Maschinen und Werkzeuge;
- dem Umgang mit gefährlichen Arbeitsstoffen;
- den Belastungen durch Arbeitsvorgänge und andere Einwirkungen wie z. B. Lärm;
- der Gesundheitsüberwachung am Arbeitsplatz.

Ein Auszug jener Rechtsvorschriften, die für den sicheren Umgang mit Nanomaterialien am Arbeitsplatz relevant sind, findet sich im Folgenden:

- Das **ArbeitnehmerInnenschutzgesetz (ASchG) (2)** gilt für die Beschäftigung von Arbeitnehmer:innen (alle Personen, die innerhalb eines Beschäftigungs- oder Ausbildungsverhältnisses tätig sind). Im 4. Abschnitt dieses Gesetzes steht die Verwendung gefährlicher Arbeitsstoffe im Vordergrund. Allerdings sind Nanomaterialien im ASchG nicht explizit als gefährliche Arbeitsstoffe genannt.

Im Arbeitnehmer:innenschutz gilt jedoch grundsätzlich das Vorsorgeprinzip, auf das auch in der Mitteilung der EU-Kommission „Regelungsaspekte bei Nanomaterialien“ (3) dezidiert verwiesen wird. Dessen Anwendung soll Maßnahmen zur Verfügung stellen, um potenzielle Schäden von vornherein zu vermeiden, auch wenn ihre Art, ihr Ausmaß oder ihre Eintrittswahrscheinlichkeit noch weitgehend unbekannt sind. Dies ist speziell im Bereich der Nanomaterialien von besonderer Bedeutung, da oft noch wissenschaftlich gesicherte Erkenntnisse fehlen. Wenn nach derzeitigem Wissen ernste Gesundheitsschäden nicht auszuschließen sind, sind die betreffenden Nanomaterialien wie gesundheitsgefährdende Stoffe zu behandeln. Eine Exposition ist demnach zu vermeiden bzw. es sind möglichst weitreichende Schutzmaßnahmen zur Minimierung zu ergreifen, bis das tatsächliche Risikopotenzial bekannt ist.

- Die **Grenzwerteverordnung (GKV)** legt fest, welche Konzentration eines gefährlichen Arbeitsstoffes am Arbeitsplatz keinesfalls überschritten werden darf (MAK-Werte, TRK-Werte). Derzeit gibt es in Österreich keine spezifischen Grenzwerte für Nanomaterialien². Sofern die toxikologischen und arbeitsmedizinischen Kenntnisse dafür ausreichend sind, könnten solche jedoch hier verankert werden.
- Die **Verordnung explosionsfähige Atmosphären (VE-XAT)** regelt den Explosionsschutz am Arbeitsplatz.
- Auch die Anwendung des EU-Chemikalienrechtes (**REACH-Verordnung, CLP-Verordnung**) hat in der Praxis auf den Arbeitnehmer:innenschutz in Österreich Auswirkungen, die im nächsten Kapitel näher beschrieben werden.

² Allerdings gibt es in anderen Ländern bereits Ansätze zu einer entsprechenden Regelung, so sieht in Deutschland der Ausschuss für Gefahrstoffe eine Obergrenze von 0,5 mg/m³ für biobeständige Nanostoffe ohne stoffspezifische Toxizität vor.

5 Sicherheitsdatenblätter und Nanomaterialien

Sicherheitsdatenblätter sind die wichtigste Informationsquelle für den sicheren Umgang mit chemischen Produkten in der Lieferkette.

Nach der REACH-Verordnung (EU) Nr. 1907/2006 müssen Chemikalien registriert werden – das gilt prinzipiell auch für Nanomaterialien –, wenn mehr als eine Tonne pro Jahr hergestellt wird (zusätzliche Verpflichtungen gelten im Bereich von Lebensmitteln, Kosmetika, Arzneimitteln, Medizinprodukten und Bioziden). Nachdem die Europäische Kommission am 4. Dezember 2018 eine Anpassung der REACH-Verordnung veröffentlicht hat, müssen seit dem 1. Jänner 2020 Hersteller:innen und Importeur:innen von Nanomaterialien ab einem Schwellenwert von 1 Tonne pro Jahr nanospezifische Daten (wie z. B. die Partikelgrößenanzahlverteilung) für deren Registrierung erfassen. Ab einem Schwellenwert von 10 Tonnen pro Jahr ist zusätzlich eine Bewertung der Risiken für Mensch und Umwelt durchzuführen (Expositionsabschätzung). So soll nicht nur das Verhalten von Nanomaterialien im menschlichen Körper untersucht, sondern auch Langzeitdaten zu möglichen Gefahren für die Umwelt erfasst werden.

Derzeit sind Sicherheitsdatenblätter gemäß der REACH-Verordnung (EU) Nr. 1907/2006, zuletzt geändert durch die Verordnung (EU) Nr. 878/2020, auszustellen. Diese Verordnung legt fest, dass genauere Informationen über die Gefahren von Stoffen und Gemischen sowohl auf den Etiketten der Verpackungen als auch in den Sicherheitsdatenblättern anzuführen sind: so sind z. B. die Charakterisierungsparameter für Nanoformen eines registrierten Stoffes in Abschnitt 3 („Zusammensetzung/Angaben zu Bestandteilen“) des Sicherheitsdatenblattes anzugeben. Auch sind die in Abschnitt 9 anzuführenden physikalischen und chemischen Eigenschaften durch nanospezifische Einträge (z. B. betreffend die Löslichkeit) anzupassen.

Das weltweit gültige GHS-Kennzeichnungssystem für chemische Produkte und Stoffe – umgesetzt in der EU durch die CLP-Verordnung Nr. 1272/2008 – kennt dagegen keine eigenen Kennzeichnungsvorschriften oder -merkmale für Nanomaterialien.

Daher ist es für die nachgeschalteten Anwender:innen in der Lieferkette – Händler:innen, weiterverarbeitende Betriebe, Verwender:innen, Konsumenten:Konsumentinnen – oftmals schwierig festzustellen, ob das vorliegende Produkt Nanoobjekte enthält (speziell bei gleichzeitigem Vorliegen von „normalskaligem“ und nanoskaligem Material). Auch eine Produktbezeichnung, die das Wort „Nano“ enthält, ist keine Garantie, dass tatsächlich ein Nanomaterial im Produkt enthalten ist.

Im Sinne des Vorsorgeprinzips (vorbeugende Maßnahmen, bevor Unfälle, Erkrankungen oder Gesundheitsbeschwerden auftreten) sind die Hersteller von Nanomaterialien aufgefordert, die erforderlichen Informationen bezüglich im Produkt enthaltener Nanomaterialien auf der Produktkennzeichnung, besonders aber im Sicherheitsdatenblatt anzuführen. Verantwortungsvoller Umgang mit Produkten, die Nanomaterialien enthalten, ist für Anwender:innen und Konsumenten:Konsumentinnen nur auf Grundlage aussagekräftiger Daten und Informationen möglich; nur auf Grund ausreichender Informationen ist die Umsetzung geeigneter Risikominderungsmaßnahmen seitens der Anwender:innen zu erwarten.

Sicherheitsdatenblätter für Produkte mit Nanomaterialien sollten über die vorgegebenen Daten hinaus folgende Informationen enthalten:

- chemische Bezeichnung des Nanomaterials und Deklaration als Nanomaterial (Anmerkung: chemische Stoffe werden mit einer eindeutigen CAS-Registrierungsnummer (engl. Chemical Abstracts Service) versehen; d. h. für einen Stoff gibt es eine CAS-Nummer – eine zweite CAS-Nummer für denselben Stoff mit einer nanoskaligen Partikelgröße ist derzeit nicht vorgesehen);
- Partikelgröße, Partikelgrößenklassen, Oberfläche, Agglomerations- oder Zerfallsverhalten;
- physikalische-chemische Eigenschaften des Nanomaterials wie Löslichkeit, Brennbarkeit, Explosionsfähigkeit (Anmerkung: üblicherweise ist die Mindestzündenergie bei Nanomaterialien reduziert), Reaktionsfähigkeit (z. B. mit Wasser, Säuren, Sauerstoff), katalytische Eigenschaften, Selbstentzündlichkeit an der Luft;
- Bioverfügbarkeit, Phagozytierbarkeit (Nanopartikel können von bestimmten Körperzellen aufgenommen und abtransportiert werden);
- wenn vorhanden, Luftgrenzwerte wie DNEL – Werte (engl. Derived No Effect Level nach REACH); alternativ zu Messungen der Partikelanzahl und -größe oder der Oberfläche können auch wirkungsbezogene biotechnologische Messungen (z. B. Interleukin-Ausschüttung von Zellkulturen menschlicher Lungenfibroblasten) vorgenommen werden;
- spezifische Nanomaterial-bezogene Hinweise zur sicheren Lagerung, Handhabung, Entsorgung, persönlichen Schutzausrüstung und zum Verhalten bei Vorfällen;
- spezifische toxikologische Daten, die bei Vorliegen des Stoffes in nanoskaliger Form zusätzlich zu beachten sind, z. B. hinsichtlich Asthma-, Allergie-, Krebserkrankungen sowie Erbgutschädigung.



6 Potenzielle gesundheitliche Auswirkungen

Während ultrafeine Stäube wie Siliziumdioxid, Industrieruß (Carbon Black) und Verbrennungsnebenprodukte wie Dieselruß oder Schweißbrauche seit Jahrzehnten eine relevante Exposition am Arbeitsplatz darstellen, stehen eine Vielzahl von synthetischen Nanomaterialien erst am Beginn der Herstellung und Verwendung.

Durch die Verringerung der Partikelgröße treten neue Effekte und neue Eigenschaften auf, die technologisch gezielt genutzt werden. Diese neuen Eigenschaften betreffen jedoch auch die Wechselwirkung mit biologischen Systemen und damit auch die Gesundheit von exponierten Personen.

Daher ist es derzeit auch nicht möglich, sicher von den bekannten Eigenschaften größerer Partikel auf die von Nanomaterialien gleicher chemischer Zusammensetzung zu schließen. Auf Grund der raschen Entwicklung sind Daten zur Toxikologie und Epidemiologie zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch lückenhaft, da deren Risikobeurteilung viel Zeit und viele Ressourcen benötigt. Zudem ist die Zahl exponierter Arbeitnehmer:innen und das tatsächliche Ausmaß sowie die Dauer der Exposition zur Zeit schwer abschätzbar. Darüber hinaus sind

Chemikalien, die unter einer Tonne pro Jahr produziert bzw. zur Verarbeitung in die EU importiert werden, lt. REACH-Verordnung nicht registrierungspflichtig. Viele Nanomaterialien fallen somit derzeit noch unter diesen Schwellenwert (siehe Kapitel 5).

Die biologischen Effekte und potenziellen gesundheitlichen Risiken von Nanoobjekten hängen vorwiegend von der Partikelgröße und deren chemischen Zusammensetzung, Morphologie und spezifischen Oberflächeneigenschaften ab. Manche Nanoobjekte haben die Fähigkeit, die Körper- und Zellbarrieren zu durchdringen und sich im Körper anzureichern (Biopersistenz). Eine besondere Beachtung finden biopersistente Nanopartikel und steife Nanofasern, weil diese in Analogie zu Asbestfasern krebserzeugend wirken können.

Aufnahme, Verteilung

Eine mögliche Aufnahme von Nanomaterialien in den Körper hängt vor allem davon ab, in welcher Art und Weise sie in der Umgebung vorliegen – als freie oder agglomerierte/aggregierte Partikel oder gebunden an andere Substanzen in Form einer festen Matrix. Nanomaterialien können über die Zeit (Verwitterung) oder durch Bearbeitung bzw. Nutzung aus der Matrix freigesetzt werden.

Freie Nanoobjekte können über mehrere Wege in den menschlichen Körper gelangen: inhalativ, oral und über die Haut. Der häufigste Weg ist über die Luft beim Einatmen (inhalativ) von Nanostäuben.

Nanoobjekte gelangen in den Atemtrakt und setzen sich, in Abhängigkeit von ihrer Größe, in den unter-

schiedlichen Bereichen der Atemwege (von der Nase bis zu den Lungenbläschen) ab. Dort können sie die biologischen Membranen passieren, gelangen ins Blut und verteilen sich im Körper. Das Bestehen einer chronischen Lungenkrankheit kann diese Prozesse verstärken.

Internationale Studien haben auch gezeigt, dass Arbeitnehmer:innen in Anlagen zur Nanomaterialherstellung und -verarbeitung reduzierte Lungenfunktionen aufwiesen (im Vergleich zur Kontrollgruppe, die keinen Nanomaterialien ausgesetzt waren). Im Blut wurden Biomarker bzw. Hinweise auf oxidativen Stress und Entzündungen sowie Herzkreislaufkrankungen gefunden.

Nanoobjekte können auch durch kontaminierte Hände über den Mund eingenommen und danach durch die

Darmbarriere systematisch aufgenommen werden. Allerdings spielt die orale Aufnahme von Nanoobjekten am Arbeitsplatz – bei Einhaltung der gängigen Hygienevorschriften – eine untergeordnete Rolle.

Die Daten über die Aufnahme über die Haut sind derzeit widersprüchlich. Einige Studien mit den Metalloxiden TiO_2 und ZnO in Nanoform, die als UV-Schutz in Sonnenschutzkosmetika verwendet werden, haben an Hautmodellen gezeigt, dass die intakte Haut eine sehr gute Barriere-Funktion hat. In anderen Studien konnte eine geringfügige Aufnahme von Nanopartikeln über die intakte Haut nachgewiesen werden. Lösliche Nanopartikel können bereits am Einwirkungsort lokal wirken (z. B. in Form von Hautreizungen).

Ausscheidung

Wenn unlösliche (biobeständige) Nanoobjekte eingeatmet werden, können sie über zwei spezifische Reinigungsmechanismen aus der Lunge abtransportiert werden:

- Nanoobjekte, die in den Atemwegen an der Schleimhaut haften bleiben, werden mit dem Schleim durch Flimmerhärchen innerhalb von 24 Stunden hinauftransportiert und ausgehustet oder verschluckt.
- In den Lungenbläschen (Alveolen) werden die Partikel von Reinigungszellen (Makrophagen) aufgenommen und über die Lymphwege abtransportiert.

Im Blut zirkulierende Nanopartikel gelangen vorwiegend in die Leber, Niere, Milz, in das Knochenmark und in die Lymphknoten und können sich dort anreichern. Die Anreicherung biopersistenter Nanoobjekte im Körper und damit verbundene mögliche chronische Effekte stellen ein erhebliches Gefahrenpotenzial dar.

Eine schnelle Ausscheidung über die Niere konnte bei einigen Nanopartikeln in der Größe <5 nm nachgewiesen werden. Ein Ausscheidungsweg über die Galle in den Darm und weiter über den Stuhl wurde auch bei einigen Nanopartikeln bestätigt.

Gesundheitliche Effekte von Nanoobjekten

Da Nanoobjekte völlig unterschiedliche Strukturen, Eigenschaften und Wirkungen haben können, müssen dafür jeweils angepasste toxikologische Tests und Risikoeinschätzungen durchgeführt werden.

Nanopartikel können im Körper resorbiert werden, durch die biologischen Membranen bis in den Zellkern vordringen und die Zellen, Zellorganellen und das Erbmaterial schädigen. Im Tierversuch wurde gezeigt, dass sie Entzündungen, Granulome, Fibrosen, Gefäßschädigungen oder Thrombosen verursachen können. Nanomaterialien, die plazentagängig sind, können fruchtschädigend wirken. Das Auftreten gesundheitsschädlicher Effekte muss somit bei entsprechend exponierten Arbeitnehmer:innen in Betracht gezogen werden. So wurden bedeutende Atemwegserkrankungen bei Arbeitnehmer:innen, die Ruß (Carbon black)

ausgesetzt waren, und Metalldampffieber bei Arbeitnehmer:innen, die Zinkoxid ausgesetzt waren, beobachtet.

Von besonderem Interesse ist natürlich, ob Nanoobjekte Krebs bei Menschen verursachen können. In Tierversuchen konnte gezeigt werden, dass bestimmte Kohlenstoff-Nanoröhrchen (Multi-Walled Carbon NanoTubes, [MWCNT]), wenn sie inhaliert werden, in der Lunge biopersistent sind. Dort verursachen sie im Tierversuch chronische Entzündungen, Fibrosen und Krebs, ähnlich dem Asbest. Eine Art solcher Kohlenstoff-Nanoröhrchen, die MWCNT-7, wurde von der IARC als möglicherweise krebserregend (Gruppe 2B) beim Menschen eingestuft (4).

Brand- und Explosionsgefahren

Wenn brennbare Stäube in Kontakt mit Zündquellen geraten, sind gewaltige Explosionen mit hoher Zerstörungskraft möglich. Solche Risiken sind beim Umgang mit feinen Nanostäuben noch höher, da diese wegen ihrer großen spezifischen Oberflächen wesentlich reaktionsfreudiger sind als grobkörnige Materialien der gleichen chemischen Zusammensetzung.

Von einigen metallischen und aus Kohlenstoff bestehenden Nanopartikeln ist zudem bekannt, dass sie bei Luftkontakt spontan zu brennen beginnen. Außerdem neigen einige hochreaktive Nanopartikel (z. B. Eisen-Nanopartikel) bei direktem Kontakt mit Wasser zur Abspaltung von Wasserstoff, was anschließend zu heftigen Knallgas-Explosionen führen kann.

Zusammenfassung

Dem Vorsorgeprinzip (siehe Kapitel 4) folgend sind Nanomaterialien als potenzielle Gefahrstoffe zu behandeln. Nanomaterialien sind möglicherweise zelltoxisch, inflammatorisch, reproduktionstoxisch, gentoxisch und kanzerogen. Da enorm viele unterschiedliche Arten von Nanomaterialien bestehen, kann keine generelle Aussage zur Toxizität getroffen werden. Deshalb ist es erforderlich, für jeden Stoff bzw. für jede ‚Nanoform‘ eines Stoffes eine eigene Risikobewertung der

gesundheitlichen Auswirkungen zu erstellen – wie dies z.B. für die REACH-Registrierung bei einer Jahresproduktionsmenge von mehr als 10 Tonnen gefordert ist.

Bei vielen Nanomaterialien ist eine vollständige Risikoeinschätzung derzeit noch nicht möglich. Auch sind zurzeit keine berufsbedingten Erkrankungen durch künstlich erzeugte Nanomaterialien bekannt.

7 Exposition am Arbeitsplatz und Messmethoden

Ultrafeine Stäube stellen schon seit Jahrzehnten eine relevante Exposition am Arbeitsplatz dar. Zur Erfassung der Exposition gegenüber Nanopartikeln werden dieselben Messverfahren verwendet wie gegenüber ultrafeinen Stäuben. Die Nanopartikel-Exposition ist in manchen Fällen während des Herstellungsprozesses weniger wahrscheinlich, da es sich um geschlossene Reaktoren, die oft im Unterdruck betrieben werden, bzw. um gekapselte Anlagen handelt.

Eine Luftkontamination während des Herstellungsprozesses kann insbesondere an Schnittstellen wie Abfüllung, bei den Probenahmen, bei Reinigungs- und Wartungsarbeiten sowie bei Störungen stattfinden. Auch während weiterer Anwendungen der Nanopartikel in verschiedenen Industriebranchen oder in Forschungslabors ist eine Arbeitsplatzexposition wahrscheinlich. In diesen Betrachtungen dürfen aber auch offene Systeme nicht außer Acht gelassen werden.

Um eine Arbeitsplatzexposition gegenüber Nanopartikeln genau einschätzen zu können, ist es notwendig, die Umwelt- und Hintergrundbelastung mit ultrafeinen Stäuben durch andere Produktionsschritte oder den Straßenverkehr zu bestimmen und vom Nanopartikel-Messwert abzuziehen. Die Messung von Nanopartikeln ist durch ISO/TR 27628 2007 (5) normiert.

Zur Messung von Nanopartikeln werden vorwiegend stationäre Geräte eingesetzt, die die Partikelanzahl bzw. die Oberfläche des Teilchenkollektivs in der Luft am Arbeitsplatz bestimmen. Dabei handelt es sich um komplexe Geräte, die nur durch erfahrenes Fachpersonal zu bedienen sind.

Am häufigsten wird die Gesamtzahl der Partikel mit einem Kondensationskernzähler CPC (Condensation Particle Counter) gemessen. Es wird die Partikelanzahl, nicht aber die Partikelgröße oder die chemische Zusammensetzung ermittelt. Mit einem SMPS-Gerät (Scanning Mobility Particle Sizer) ist es möglich, die Nanopartikel nach Größenverteilung im Größenbereich von ca. 3 bis 800 nm zu messen (Abbildung 5). Eine direkte Messung der Oberfläche kann mit einem DC (Diffusion Charger) oder ELPI (Electrical Low Pressure Impactor) durchgeführt werden, die chemische Analyse der Nanopartikel erfolgt hingegen mittels Aerosol-Massenspektrometrie. Mit Hilfe der Elektronenmikroskopie kann die Größe, Morphologie und Struktur von Nanopartikeln bestimmt werden. Für schnelle bersichtsmessungen stehen unter anderem kleine tragbare Kondensationskernzähler zur Verfügung. Am Markt gibt es tragbare, personenbezogene Messgeräte, um einen raschen Überblick über die Expositionssituation zu gewinnen (Abbildung 6).



Abbildung 5: SMPSTM-Gerät (Scanning Mobility Particle Sizer) Hersteller TSI. Quelle SBS



Abbildung 6: Tragbare Messgeräte (li. DiSCmini, Hersteller matter aerosol a testo company; re. CPC 3007, Hersteller TSI). Quelle SBS

Im Gegensatz zu anderen inhalativen Schadstoffen am Arbeitsplatz (siehe Grenzwertverordnung) existieren in Österreich für ultrafeine Aerosol-Teilchen und Nanopartikel noch keine Grenzwerte, die restriktiver sind als der allgemeine Staubgrenzwert.

Neben der Ermittlung der Anzahlkonzentration (N/cm³) von Nanopartikeln in der Luft am Arbeitsplatz ist es unumgänglich, auch alle weiteren inhalativen Schadstoffe zu erfassen und zu beurteilen, um einen möglichst vollständigen Überblick zu erhalten.

Tabelle 2: Beispiele für Partikelkonzentrationen an verschiedenen Arbeitsplätzen sowie im Umweltbereich.

Arbeitsplatz	Anzahlkonzentration (N/cm ³)
Herstellung von Carbon-Nanotubes: Geschlossene Anlage	2.000 – 3.000*
Herstellung von Carbon-Nanotubes: Händische Manipulation	7.000*
Verarbeitung von Carbon-Nanotubes: Extruder	15.000*
Herstellung von Hartmetallpulver	10.000*
Chemie: Produktion	80.000**
Chemie: Herstellung von Carbon-Nanotubes	bis 41.000**
Laborbereich	1.500 – 3.500**
Zum Vergleich typische Umweltkonzentrationen:	
Waldrand	3.000
Klimatisiertes Gebäude	3.000 – 5.000
Städtischer Hintergrund	10.000 – 50.000
Zigarette	200.000 – 300.000
Dieselmotorabgas ungefiltert	50.000.000

* Messungen Österreichische Staub-(Silikose-)Bekämpfungsstelle (ÖSBS), Leoben.

** Nanomaterialien: Arbeitsschutzaspekte; LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Oktober 2009.

8 Risikobewertung von Nanomaterialien

Im Rahmen der Arbeitsplatzevaluierung sollte auch eine Risikobewertung der am jeweiligen Arbeitsplatz verwendeten Nanomaterialien erfolgen. Unter Berücksichtigung der Eigenschaften des Nanomaterials, des Expositionsrisikos sowie des Wissensstandes für die Risikobewertung kann das vom jeweiligen Nanomaterial ausgehende Gesamtrisiko ermittelt werden.

Das in Tabelle 3 zusammengefasste Ablauf- und Bewertungsschema kann zur Risikobewertung der am jeweiligen Arbeitsplatz verwendeten Nanomaterialien herangezogen werden:

Tabelle 3: Ablauf- und Bewertungsschema zur Risikobewertung von Nanomaterialien

Eigenschaften der Nanomaterialien				
löslich oder unlöslich mit besonders gesundheitsgefährdenden Eigenschaften: CMR, akut bzw. chronisch toxisch, ätzend, sensibilisierend, organschädigend; ODER: Eigenschaften nicht bekannt	unlöslich, gesundheitsgefährdender Arbeitsstoff (gem. § 40 ASchG), nicht phagozytierbar oder phagozytierbar ODER: lange, dünne, steife Nanofasern	unlöslich, phagozytierbarer Arbeitsstoff ohne gesundheitsgefährdende Eigenschaften	löslich mit sonstigen gesundheitsgefährdenden Eigenschaften (gem. § 40 ASchG) – d. h. keine besonders gesundheitsgefährdenden Eigenschaften: CMR, akut bzw. chronisch toxisch, ätzend, sensibilisierend, organschädigend	löslich ohne gesundheitsgefährdende Eigenschaften
Hohes Risiko (3 Punkte)		Mittleres Risiko (2 Punkte)		Niedriges Risiko (1 Punkt)



Expositionspotenzial			
Pulverform: offene Manipulation (selbst mit Absaugung) bzw. Hautkontakt	flüssige Form: Versprühen oder Nebelbildung (selbst mit Absaugung) bzw. Hautkontakt	Abrieb von Granulat, Spritzer von Flüssigkeiten; physische Bearbeitung von Materialien, die Nanopartikel enthalten; partiell geschlossene Verfahren (Labor; Abzug), v. a. bei pulverförmigen Stoffen	gebunden oder agglomeriert – Freisetzung der Nanopartikel unwahrscheinlich; geschlossene Verfahren; Labor: Glove-Box
Hohes Risiko (3 Punkte)		Mittleres Risiko (2 Punkte)	
			Niedriges Risiko (1 Punkt)



Expositionshöhe		
Grenzwert überschritten oder kein Grenzwert vorhanden und Konzentration der Nanopartikel deutlich über der Hintergrundkonzentration ³ (> 2-fach); CMR-Stoffe ohne Schwellenwert	Grenzwerte eingehalten oder Konzentration der Nanopartikel max. bis zur 2-fachen Hintergrundkonzentration ³	Grenzwert deutlich unterschritten oder Konzentration der Nanopartikel nahe der Hintergrundkonzentration ³ (max. +10 %)
Hohes Risiko (3 Punkte)	Mittleres Risiko (2 Punkte)	Niedriges Risiko (1 Punkt)



Expositionsdauer		
tägliche Exposition möglich (nur Arbeitstage); Vorfälle mit Freisetzung	fallweise (< tägliche) Exposition möglich	Exposition bei normaler Arbeit nahezu ausgeschlossen
Hohes Risiko (3 Punkte)	Mittleres Risiko (2 Punkte)	Niedriges Risiko (1 Punkt)



Wissensstand für Risikobewertung		
kein Fachwissen bei betroffenen Arbeitnehmer:innen vorhanden; nur Information (gem. § 12 ASchG) oder nur Unterweisung (gem. § 14 ASchG) oder keines von beiden	mittleres Fachwissen (z. B. Sicherheitsvertrauensperson, Sicherheitsfachkraft); Information (gem. § 12 ASchG) und Unterweisung (gem. § 14 ASchG)	hohes Fachwissen (Experte:Expertin); Information (gem. § 12 ASchG) und Unterweisung (gem. § 14 ASchG)
Hohes Risiko (3 Punkte)	Mittleres Risiko (2 Punkte)	Niedriges Risiko (1 Punkt)

Zur Risikoabschätzung tragen Sie bitte die Punktezahlen aus den jeweiligen oben angeführten Risikokategorien in folgende Tabelle ein:

Tabelle 4: Abschätzung des Gesamtrisikos anhand der Bewertung der jeweiligen Risikokategorien.

Risikokategorie	Punktezahl
Eigenschaften der Nanomaterialien	
Expositionspotenzial	
Expositionshöhe	
Expositionsdauer	
Wissensstand für Risikobewertung	
SUMME (für Einstufung Gesamtrisiko)	

³ Hintergrundkonzentrationen sind primär in der Zuluft, wenn das nicht möglich ist, in der Umgebung des Betriebes auf der dem Wind zugewandten Seite zu bestimmen. Als durchschnittliche Hintergrundkonzentration kann ein Wert von 20.000 Nanopartikel/cm³ angenommen werden.

Anhand der Gesamtpunktezahl ergibt sich folgende Einstufung des Gesamtrisikos:

Tabelle 5: Handlungsbedarf nach Einstufung des Gesamtrisikos

Gesamtpunktezahl	Einstufung Gesamtrisiko	Handlungsbedarf
5-7 Punkte	niedriges Risiko	regelmäßige Beobachtung und Dokumentation ungewöhnlicher Ereignisse ausreichend
8-10 Punkte	mittleres Risiko	zusätzlich zu den Maßnahmen für niedriges Gesamtrisiko: Risikominimierung nach dem STOP-Prinzip durchführen (siehe Kapitel 9)
11-15 Punkte	hohes Risiko	akuter Handlungsbedarf: Umgang mit Nanomaterialien vorläufig stoppen und Sofortmaßnahmen zur Risikominimierung setzen; danach Risikobewertung erneut durchführen; falls die erneute Risikobewertung weiterhin ein hohes Gesamtrisiko ergibt, Experten:Expertinnen (z. B. der AUVA) hinzuziehen

In Abhängigkeit von der Zuordnung zu den Risikoklassen sind die entsprechenden Risikominimierungsmaßnahmen zu setzen (vgl. Kapitel 9). Es ist anzustreben, für die in der Tabelle angegebenen Risikokategorien

- Eigenschaften der Nanomaterialien,
- Expositionspotenzial,
- Expositionshöhe,
- Expositionsdauer sowie
- Wissensstand für Risikobewertung

durch geeignete Risikominimierungsmaßnahmen die – soweit wie möglich – niedrigste Risikoklasse zu erreichen.

9 Empfehlungen zum Schutz der Arbeitnehmer:innen

Information und Unterweisung

Arbeitnehmer:innen müssen über die mit Nanomaterialien verbundenen Gesundheitsgefahren, die sachgemäße Handhabung sowie die anzuwendenden Schutzmaßnahmen informiert und unterwiesen werden. Diese Information und Unterweisung muss nachweislich und wiederholt, in verständlicher Sprache, eventuell in Muttersprache, erfolgen. Empfohlen wird, entsprechende Informationen in Betriebsanweisungen schriftlich festzuhalten.

Bei Nanomaterialien am Arbeitsplatz handelt es sich um völlig unterschiedliche Arbeitsstoffe mit verschiedenen physikalischen, chemischen und toxikologischen Eigenschaften. Es ist daher wichtig, den Arbeitnehmer:innen im Rahmen von Schulungen und Unterweisungen möglichst spezifische Informationen über die eingesetzten Arbeitsstoffe sowie über die von ihnen ausgeführten Tätigkeiten und Arbeitsschritte, die zu einer inhalativen oder dermalen Aufnahme führen können, zu vermitteln. Die Unterweisung muss dabei auf den jeweiligen Arbeitsplatz und die dort ausgeführte Tätigkeit abgestimmt werden. Zu beachten ist, dass bei der Einführung neuer Arbeitsstoffe aber auch bei der Einführung bzw.

Änderung von Arbeitsverfahren jedenfalls eine Unterweisung der betroffenen Arbeitnehmer:innen erfolgen muss.

Die Unterweisung muss gemäß § 14 Abs. 3 ASchG zudem auch die bei absehbaren Betriebsstörungen zu treffenden Maßnahmen umfassen.

Geeignete Informationen über die sichere Handhabung der verwendeten Nanomaterialien finden sich grundsätzlich in den Sicherheitsdatenblättern und anderen spezifischen Informationen, die ggf. von herstellenden bzw. importierenden Firmen zusätzlich eingeholt werden können.

Schutzmaßnahmen am Arbeitsplatz

In Österreich liegen noch keine speziellen gesetzlichen Regelungen für den Umgang mit Nanomaterialien am Arbeitsplatz vor. Es gelten, wie für alle anderen chemischen Arbeitsstoffe, die grundlegenden Verpflichtungen zum Schutz der Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer:innen am Arbeitsplatz.

Da die derzeit gültigen Staubgrenzwerte die besonderen Eigenschaften von Nanopartikeln nicht berücksichtigen, ist bis zur Festlegung spezifischer Grenzwerte für Nanopartikel eine Minimierung der Exposition notwendig. Dazu müssen Arbeitgeber:innen geeignete Schutzmaßnahmen festlegen. Die Rangfolge der Schutzmaßnahmen (STOP-Prinzip) ist dabei strikt einzuhalten:

- 1) Substitution eines Arbeitsstoffes z. B. durch Bindung des staubförmigen Materials in flüssigen, pastösen oder festen Medien.
- 2) Technische Schutzmaßnahmen: dem Stand der Technik entsprechende geschlossene Apparaturen oder Absaugungsanlagen direkt an der Entstehungsstelle der Stäube.

3) Organisatorische Schutzmaßnahmen: Beschränkung der Anzahl exponierter Arbeitnehmer:innen, Beschränkung der Dauer und/oder Intensität der Exposition, Zugangsbeschränkung zu exponierten Bereichen, ausreichende allgemeine arbeitshygienische Maßnahmen.

4) Personenbezogene Schutzmaßnahmen: reichen technische und organisatorische Schutzmaßnahmen nicht aus, um die Einwirkung von Nanomaterialien auf die Arbeitnehmer:innen zu unterbinden, müssen persönliche Schutzmaßnahmen umgesetzt und Atemschutz (z. B. Atemschutzmasken P2, FFP2, P3, FFP3)⁴, Schutzbrillen mit Seitenschutz, Handschuhe oder sonstige geeignete Schutzbekleidung verwendet werden.

⁴ Entgegen ursprünglicher Bedenken sind gängige Filtermasken in der Lage, Nanopartikel zu filtern. Untersuchungen haben gezeigt, dass Partikel < 300 nm auf Grund ausgeprägter Brown'scher Molekularbewegung und elektrostatischer Kräfte sehr gut mit gängigen Partikelfiltern (mindestens Filterklasse P2) abgeschieden werden.

Bei Verwendung von hochreaktiven Nanopulvern, die eine leichte Entflammbarkeit bzw. Neigung zur Explosion aufweisen, sind spezifische Schutzmaßnahmen zur Minimierung des Brand- bzw. Explosionsrisikos zu treffen. Dies umfasst neben der Verringerung der eingesetzten Konzentration und der sorgfältigen Wahl der Prozessparameter (z. B. durch Reduktion der Prozess-Temperaturen und -Drücke), auch die häufige Reinigung der Anlagen sowie die Verwendung von technischen Schutzbarrieren.

10 Literatur

- 1) International Organization for Standardization (ISO), 2015, *ISO/TS 80004-2: Nanotechnologies – Vocabulary – Part 2: Nano-objects* (<https://www.iso.org/standard/54440.html>)
- 2) ArbeitnehmerInnenschutzgesetz – ASchG, Bundesgesetz über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit, BGBl. Nr. 450/1994 zuletzt geändert durch BGBl. I Nr. 100/2018
- 3) Kommission der europäischen Gemeinschaften, 2008, *Mitteilung der Kommission an das europäische Parlament, den Rat und den europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss: "Regelungsaspekte bei Nanomaterialien", SEK (2008) 2036* (<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2008:0366:FIN:de:PDF>)
- 4) International Agency for Research on Cancer (IARC), *IARC Monographs on the identification of carcinogenic hazards to humans, List of Classifications* (<https://monographs.iarc.who.int/list-of-classifications>)
- 5) International Organization for Standardization (ISO), 2007, *ISO/TR 27628: Workplace atmospheres - Ultra-fine, nanoparticle and nano-structured aerosols — Inhalation exposure characterization and assessment* (<https://www.iso.org/standard/44243.html>)

Weiterführende Literatur

Empfehlung für die Gefährdungsbeurteilung bei Tätigkeiten mit Nanomaterialien am Arbeitsplatz, BAuA, 2012 (<https://www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Kooperation/Gd4.html>)

Österreichischer Aktionsplan Nanotechnologie; Lebensministerium, Dezember 2009 (https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/chemiepolitik/nanotechnologie/oe_aktionsplan.html)

Bundesamt für Gesundheit (BAG) & Bundesamt für Umwelt (BAFU), Schweiz: Infoblatt zum Vorsorgeraster für synthetische Nanomaterialien, 2018 (<https://www.bag.admin.ch/dam/bag/de/dokumente/chem/nanotechnologie/infoblatt-vorsorgeraster-nano.pdf.download.pdf/infoblatt-vorsorgeraster-nano.pdf>)

Bundesamt für Gesundheit (BAG), Schweiz & Bundesamt für Umwelt (BAFU): Wegleitung zum Vorsorgeraster für synthetische Nanomaterialien, 2018 (<https://www.bag.admin.ch/dam/bag/de/dokumente/chem/nanotechnologie/wegleitung-vorsorgeraster-nanomaterialien.pdf.download.pdf/wegleitung-vorsorgeraster-nanomaterialien.pdf>)

European Commission: Guidance on the protection of the health and safety of workers from the potential risks related to nanomaterials at work. Guidance for employers and health and safety practitioners, 2013 (<https://ec.europa.eu/social/BlobServlet?docId=13087&langId=en%20>)

European Commission: Working Safely with Manufactured Nanomaterials. Guidance for Workers, 2013 (<https://ec.europa.eu/social/BlobServlet?docId=13088&langId=en>)

Europäische Agentur für Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz (EU-OSHA): Am Arbeitsplatz hergestellte Nanomaterialien, 2019 (<https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/a281c1a1-4c53-11e9-a8ed-01aa75ed71a1/language-de>)

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA): Handlungshilfen für den Umgang mit Nanomaterialien. Webportal. (<https://www.baua.de/DE/Themen/Anwendungssichere-Chemikalien-und-Produkte/Innovative-Materialien/Nanotechnologie/Handlungshilfen.html>)

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA): TRGS 527 "Tätigkeiten mit Nanomaterialien", i.d.F. vom 20.2.2020 (https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRGS/pdf/TRGS-527.pdf?__blob=publicationFile&v=3)

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA): Beurteilungsmaßstab für technisch gezielt hergestellte ultrafeine Stäube aus alveolengängigen granulären biobeständigen Stäuben ohne bekannte signifikante spezifische Toxizität (nanoskalige GBS) (A-Staub). Ausgabe Juni 2015. (https://www.baua.de/DE/Aufgaben/Geschaeftsfuehrung-von-Ausschuessen/AGS/pdf/A-Staub.pdf?__blob=publicationFile&v=2)

Weiterführende Links

<https://nanoinformation.at/>

<https://www.oeaw.ac.at/ita/nanotrust>

www.nanopartikel.info

www.dguv.de/ifa/nano

www.suva.ch/nanopartikel

<http://www.ec4safenano.eu/home>

<https://www.oecd.org/science/nanosafety/>

<http://goodnanoguide.org/>

<https://euon.echa.europa.eu/de/home>

<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/risk-governance-of-advanced-materials>

<https://www.rivm.nl/documenten/Early4AdMa-brochure>



Nanomaterialien

Bitte wenden Sie sich in allen Fragen des Gesundheitsschutzes und der Sicherheit bei der Arbeit an den Unfallverhütungsdienst der für Sie zuständigen AUVA-Landesstelle:

Oberösterreich:

UVD der Landesstelle Linz
Garnisonstraße 5, 4010 Linz
Telefon +43 5 93 93-32701

Salzburg, Tirol und Vorarlberg:

UVD der Landesstelle Salzburg
Dr.-Franz-Rehrl-Platz 5, 5010 Salzburg
Telefon +43 5 93 93-34701

UVD der Außenstelle Innsbruck
Ing.-Etzel-Straße 17, 6020 Innsbruck
Telefon +43 5 93 93-34837

UVD der Außenstelle Dornbirn
Eisengasse 12, 6850 Dornbirn
Telefon +43 5 93 93-34932

Steiermark und Kärnten:

UVD der Landesstelle Graz
Göstinger Straße 26, 8020 Graz
Telefon +43 5 93 93-33701

UVD der Außenstelle Klagenfurt am Wörthersee
Waidmannsdorfer Straße 42,
9020 Klagenfurt am Wörthersee
Telefon +43 5 93 93-33830

Wien, Niederösterreich und Burgenland:

UVD der Landesstelle Wien
Wienerbergstraße 11, 1100 Wien
Telefon +43 5 93 93-31701

UVD der Außenstelle St. Pölten
Kremser Landstraße 8, 3100 St. Pölten
Telefon +43 5 93 93-31828

UVD der Außenstelle Oberwart
Hauptplatz 11, 7400 Oberwart
Telefon +43 5 93 93-31901

Das barrierefreie PDF dieses Dokuments gemäß PDF/UA-Standard ist unter www.auva.at/publikationen abrufbar.

Medieninhaber und Hersteller: Allgemeine Unfallversicherungsanstalt, Wienerbergstraße 11, 1100 Wien
Verlags- und Herstellungsort: Wien