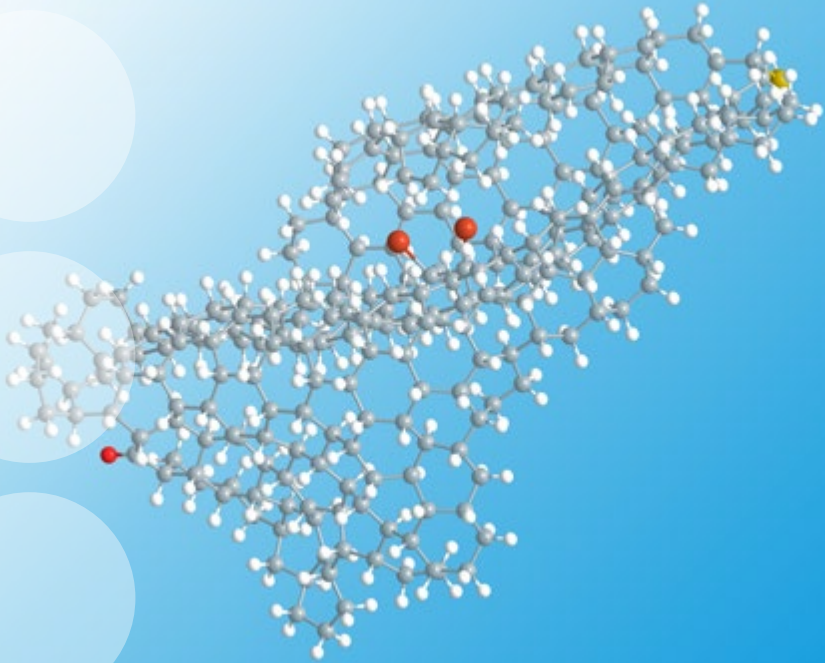


213-853

DGUV Information 213-853



Nanomaterialien im Labor

Hilfestellungen für den Umgang

Impressum

Herausgeber:
Deutsche Gesetzliche
Unfallversicherung e.V. (DGUV)

Glinkastraße 40
10117 Berlin
Tel.: 030 288763800
Fax: 030 288763808
E-Mail: info@dguv.de
Internet: www.dguv.de

Sachgebiet „Laboratorien“,
Fachbereich „Rohstoffe und chemische Industrie“ der DGUV.

Korrespondenzadresse
Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie
Prävention – KC Gefahrstoffe und biologische Arbeitsstoffe
Referat Gefahrstoffe, Biostoffe, Analytik
Postfach 10 14 80, 69004 Heidelberg
E-Mail: laboratorien@bgrci.de

Layout & Gestaltung:
Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV), Medienproduktion

Abbildungen: Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie

Ausgabe: März 2015

DGUV Information 213-853
zu beziehen bei Ihrem zuständigen Unfallversicherungsträger
oder unter www.dguv.de/publikationen

Nanomaterialien im Labor

Hilfestellungen für den Umgang

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Einführung	5
Schutzmaßnahmen	9
Inhalative Exposition	9
Dermale und orale Exposition	19
Wirksamkeitskontrolle der Maßnahmen	19
Zusammenfassung und Ausblick	20
Literatur	21

Einführung

Nanotechnologie ist ein wichtiges Gebiet für Forschung und Entwicklung. Hier werden Nanomaterialien hergestellt oder weiterverarbeitet. Nach der Definition der internationalen Normung sind hier die kleinen Ausdehnungen der Strukturen (von ungefähr 1 nm bis ungefähr 100 nm) in Zusammenhang mit den durch die Kleinheit verursachten besonderen Eigenschaften (z. B. die im Verhältnis zur Masse extrem große Oberfläche oder quantenmechanische Effekte) relevant. Von typischen Gefahrstoffen unterscheiden sie sich darin, dass nicht nur die chemische Zusammensetzung von Bedeutung ist, sondern auch die komplexe räumliche Struktur einen wesentlich weitergehenden Einfluss hat. Ebenfalls wird der Einfluss der typischerweise sehr hohen spezifischen Oberfläche und daraus abgeleitet die mögliche Bildung hochreaktiver Sauerstoffradikale diskutiert.

Zu den Nanomaterialien zählen die Nanoobjekte, das sind Nanoplättchen und -filme (z. B. Graphen), Nanoröhrchen und -stäbchen (z. B. Kohlenstoffnanoröhrchen) sowie Nanopartikel (z. B. Fullerene oder Metalloxydpartikel). Außerdem zählen zu den Nanomaterialien auch zusammengesetzte Nanomaterialien (Verbundmaterialien), die nanoskalige Strukturen enthalten (z. B. eingebettete Kohlenstoffnanoröhrchen) oder an der Oberfläche tragen (z. B. Chips) (Abbildung 1).

Kleine Strukturen mit besonderen Eigenschaften

Arten von Nanomaterialien

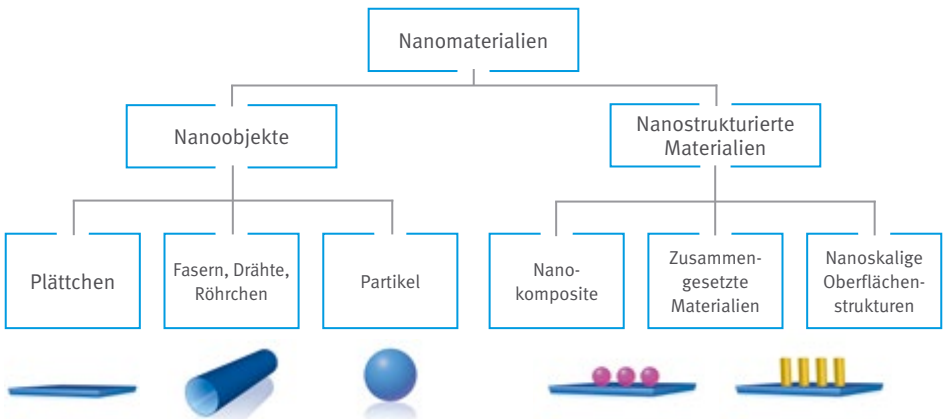


Abb. 1 Einteilung der Nanomaterialien nach ISO

Die Kenntnisse über die Gefährdungen sind bislang noch lückenhaft. So gibt es Untersuchungen zur Toxikologie, die bei einigen Nanoobjekten negative Auswirkungen auf die Gesundheit möglich erscheinen lassen. Andere Untersuchungen bestätigen dies wiederum nicht. Dass einige Nanoobjekte biologische Strukturen penetrieren können, ist bekannt, ob dies allerdings auch als negative Einwirkung zu werten ist, ist bislang unklar. Einige faserförmige Nanomaterialien zeigen im Tierversuch besorgniserregende Ergebnisse.

Nanomaterial sollen nach Empfehlung der EU-Kommission alle bei Prozessen hergestellten oder anfallenden sowie natürliche Materialien sein, die Nanoobjekte („Partikel“) ungebunden als Agglomerate oder Aggregate in einer Anzahlkonzentration von mindestens 50 % (was einen sehr geringen Gewichtsanteil bedeuten kann) mit einem oder mehreren Außenmaßen zwischen 1 nm und 100 nm enthalten. Bei besonderen Bedenken kann diese Gehaltsgrenze auf 1 % gesenkt werden. Fullerene, Graphenfloeken und einwandige Kohlenstoffnanoröhrchen mit einem oder mehreren Außenmaßen unterhalb von 1 nm fallen ebenfalls unter den Begriff der Nanomaterialien. Ist die Anzahlgrößenverteilung nicht bekannt, so gilt das Material als Nanomaterial, wenn es eine spezifische Oberfläche von mindestens $60 \text{ m}^2/\text{cm}^3$ aufweist.

Der Ausschuss für Gefahrstoffe des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales (AGS) schlägt in der Bekanntmachung zu Gefahrstoffen (BekGS) 527 vor, Nanomaterialien nach dem anzunehmenden Wirkungspotential in vier Gruppen einzuteilen.

- I: lösliche Nanomaterialien (Löslichkeit mindestens 100 mg/l Wasser bei Normalbedingungen),
- II: biobeständige Nanomaterialien mit spezifischen toxikologischen Eigenschaften,
- III: biobeständige Nanomaterialien ohne spezifische toxikologische Eigenschaften (GBS¹⁾ Nanomaterialien),
- IV: biobeständige, faserförmige Nanomaterialien.

¹⁾ Granuläre Biopersistente Stäube

Der AGS schlägt auch Konzentrationsgrenzen in der Luft am Arbeitsplatz für die Beurteilung vor, die mit den bewährten Schutzmaßnahmen in Laboratorien bei sachgerechter Anwendung einzuhalten sind.

Brennbare Nanoobjekte sind im Gemisch mit Luft zur Explosion fähig, ihre Zündwilligkeit kann sehr viel höher sein als beim grobkörnigen Stoff (erheblich geringere Mindestzündenergien als bei Stäuben). Eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre kann bereits mit relativ geringen Mengen erzeugt werden, unter ungünstigen Umständen ist hier bereits eine verstaubte Menge von 100 mg (oder sogar weniger) ausreichend. Dabei muss auch an Zündquellen in Apparaturen gedacht werden. Manche Stoffe (z. B. Metalle) neigen bei feiner Verteilung zur Selbstentzündung. Die Reaktivität kann sehr hoch sein, katalytische Effekte sind ebenfalls möglich.

Nanoobjekte neigen dazu, sich zu größeren Einheiten in Form von Agglomeraten (mit schwächeren bindenden Kräften) oder relativ stark gebundenen Aggregaten zusammenzuschließen (Abbildung 2).

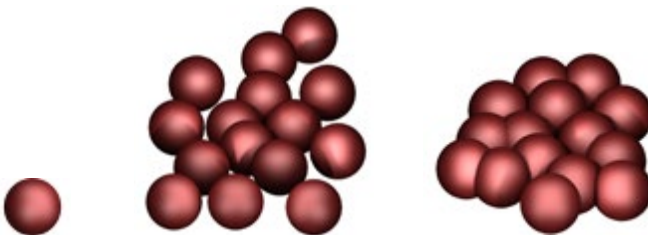


Abb. 2 Primärpartikel, Agglomerat und Aggregat (schematisch)

Bei der Verarbeitung können aus diesen unter Umständen wieder freie Nanoobjekte entstehen, z. B. durch Mahlen in einer (Hochleistungs-)Mühle. Bei der Verarbeitung von zusammengesetzten Nanomaterialien können unter Umständen ebenfalls wieder Nanoobjekte freigesetzt werden, z. B. beim Entfernen oder durch Zerstören der Matrix (beispielsweise durch Entfernen eines Lösemittels oder durch

▼
*Brand- und
Explosionsgefahren*

▼
*Freisetzung aus gebundenen
Strukturen*

▼
Vorsorgeprinzip

Schleifen eines Materials mit eingebetteten Nanoobjekten). Nach derzeitigem Kenntnisstand scheinen die dabei entstehenden Nanoobjekte bei den untersuchten Systemen jedoch aus dem zerstörten Material der Matrix gebildet zu werden und nicht von den eingebetteten Nanoobjekten zu stammen.

Die derzeitige Erkenntnislage lässt eine abschließende Beurteilung der Risiken noch nicht zu. Das Vorsorgeprinzip gebietet es daher, für Laborarbeiten pragmatische Lösungen für wirksame Schutzmaßnahmen zu finden. Vorteilhaft ist, dass sich luftgetragene Nanoobjekte wie feine Stäube, aber mehr noch wie Gase und Dämpfe verhalten. Damit können die gängigen Schutzmaßnahmen für solche Zustände der Materie im Labor auch für Nanomaterialien angewendet werden. Derzeit sollten freie oder freiwerdende faserartige Strukturen (Röhrchen, Stäbchen) mit erhöhter Vorsicht behandelt werden.

Schutzmaßnahmen

Inhaltliche Exposition

Die Verwendung von genormten und geprüften Laborabzügen ist hier eine wirksame Schutzmaßnahme, bei sehr gefährlichen Nanomaterialien (z. B. solche, die aus sehr giftigen Stoffen bestehen, oder selbstentzündliche) können auch Gloveboxen, Glovebags oder geschlossene Apparaturen eingesetzt werden. Beim Arbeiten im Abzug ist das (weitgehende) Schließen des Frontschiebers obligatorisch, Verstaubung kann verhindert werden, wenn Nanomaterialien nicht trocken, sondern in feuchtem Zustand (Suspensionen, kolloidale Lösungen, Pasten) eingesetzt werden können. Auch eine Einbindung in Matrices (Granulate, Compounds) ist hilfreich. Müssen trockene, nicht eingebundene Nanomaterialien eingesetzt werden, so sollte möglichst wenig mechanische Energie eingetragen werden, da es dadurch häufig wieder zu einem Aufbruch von Agglomeraten kommen kann und freie Nanoobjekte in die Luft gelangen. Absaugmaßnahmen mit zu hohen Strömungsgeschwindigkeiten können dazu führen, dass merkliche Anteile (nicht nur nanoskalige, sondern auch größere Objekte) mit dem Luftstrom fortgetragen werden. So ist es nicht zu empfehlen, in Abzügen in der Nähe des geöffneten Frontschiebers zu arbeiten. Steht dieser offen, so werden durch kleine Luftbewegungen möglicherweise schon Partikel herausgetragen, ist dieser (weitgehend) geschlossen, so herrschen in der Nähe des Spaltes am Frontschieber hohe Einströmgeschwindigkeiten, die zu einem Mitreißen von Partikeln führen können. Untersuchungen an Abzügen in den USA zeigten ein gewisses Ausbruchverhalten von Nanoobjekten, Ergebnisse in der Bundesrepublik (an einem Abzug nach DIN 12924-1) mit verschiedenen Nanomaterialien konnten dies nicht bestätigen, hier war ein hohes Rückhaltevermögen zu beobachten. Abzüge besitzen in der Regel geteilte Frontschieber, die es ermöglichen, erforderlichenfalls von der Seite einzugreifen. Das Rückhaltevermögen ist dadurch höher, als wenn der gesamte Frontschieber hochgeschoben wird (Abbildung 3).





Abb. 3 Abzug mit Arbeiten durch Frontschieber

Große Apparaturen

Große Apparaturen – wie etwa Rohröfen für die Herstellung – sollten möglichst nicht im Abzug betrieben werden, da diese die Luftführung stören. Werden diese neben dem Abzug aufgebaut, so kann das Reaktionsrohr durch die Abzugswand in diesen hinein gelegt werden, so dass eine Entnahme im Abzug möglich ist. Müssen solche Apparate dennoch im Abzug aufgebaut werden, so muss auf einen ausreichenden Abstand zu den inneren Oberflächen des Abzugs geachtet werden, um die Luftströmungen möglichst wenig zu beeinträchtigen. Insbesondere zur Arbeitsfläche hin ist dazu ein Abstand von mindestens 5 cm erforderlich (Abbildung 5).

Müssen größere Apparaturen im Abzug betrieben werden, so gibt die Untersuchung der Strömungsverhältnisse mit einem Rauchröhrchen oder einem Nebelgenerator wertvolle Hinweise auf mögliche Störungen oder gar Austritte aus dem Abzug. Für diese Untersuchungen haben sich handgehaltene (akkubetriebene) Klein-Nebelgeneratoren bewährt (Abbildung 4).

Geschlossene Apparaturen

Nanomaterialien, die zum Verstauben neigen, sollten nach Möglichkeit in geschlossenen Apparaturen gehandhabt werden, wenn diese nicht sicher im Abzug zu handhaben sind. Solche Arbeitstechniken ähneln denen, die bei der Handhabung luft- oder



Abb. 4 Handgehaltener Nebelgenerator mit Akku

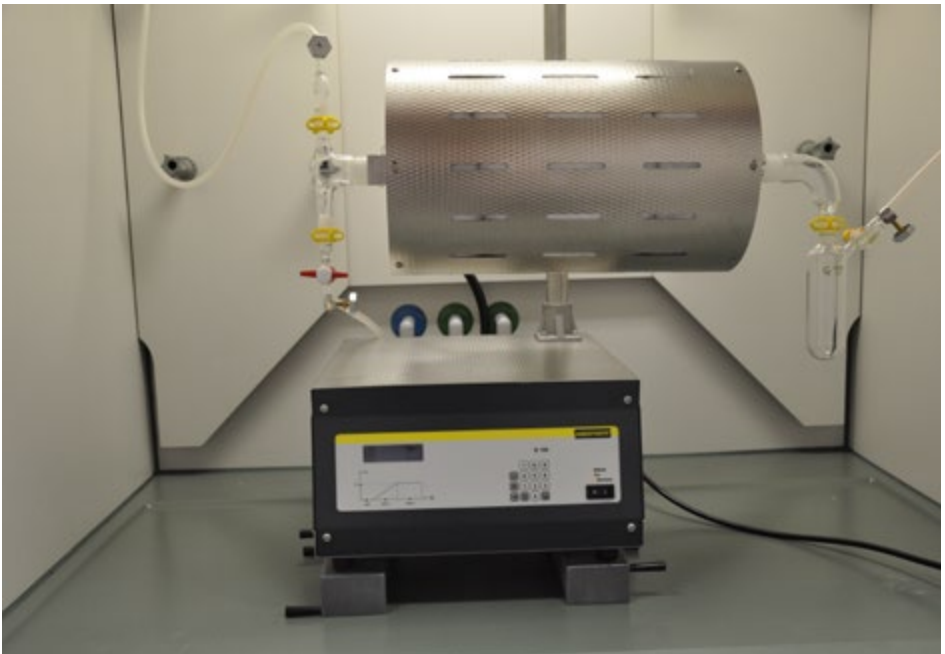


Abb. 5 Ofen auf Distanzstücken – die Apparatur ist mit einer Spüllanze ausgestattet



Abb. 6 Transferbogen für Pulver, geschützt vor Luftströmungen (wenn erforderlich, kann Inertgas – bevorzugt Ar – benutzt werden, um das Pulver gegen Feuchtigkeit und Luft zu schützen)



Abb. 7 Überführung mit einem Glasspatel, geschützt vor Luftströmungen (wenn erforderlich, kann Inertgas – bevorzugt Ar – benutzt werden, um das Pulver gegen Feuchtigkeit und Luft zu schützen)

feuchtigkeitsempfindlicher Verbindungen im Labor üblich sind. So können pulverförmige Nanomaterialien mit Hilfe von Glasbögen ohne jeden Austritt umgefüllt werden (Abbildung 6). Mit einem speziellen Hosenstück kann auch mit einem (Glas-)Spatel dosiert werden (Abbildung 7). Eine (portionsweise oder auch quasikontinuierliche) Zugabe zu einer Apparatur ist mit Hilfe von Einwurfbirnen oder – besonders elegant – handbetätigten (Abbildung 8) oder automatischen (Abbildung 9) Pulverdosierrichtern möglich. Ein- und Auswägevorgänge können in den entsprechenden Teilen der Apparatur im Abzug, der Wägekabine oder in der Glovebox erfolgen, so dass auch hierbei keine Exposition vorkommt. Die Mahlbecher einer Mühle können geschlossen herausgenommen und transportiert werden, um erst im Abzug oder in der Glovebox den Inhalt zu entnehmen (Abbildung 10). Versprühen von Partikeln kann durch die Verhinderung elektrostatischer Aufladungen bekämpft werden (Abbildung 11).

Das pulverförmige Material kann in die Apparaturen in Abbildung 8 und Abbildung 9 zugegeben werden, ohne diese öffnen zu müssen. Der Pulverdosierrichter kann unter dem Abzug befüllt und dort auch gereinigt werden.



Abb. 8 Handbetätigter Pulverdosiertrichter auf einem Dreihalskolben

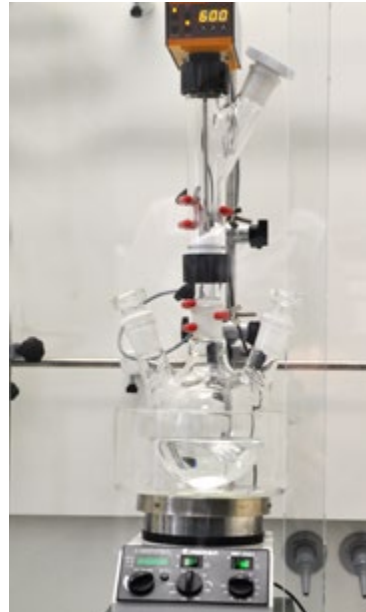


Abb. 9 Automatischer Pulverdosiertrichter für die gleichmäßige Zudosierung über längere Zeiträume



Abb. 10 Pulvermühle mit geschlossenem Mahlbecher

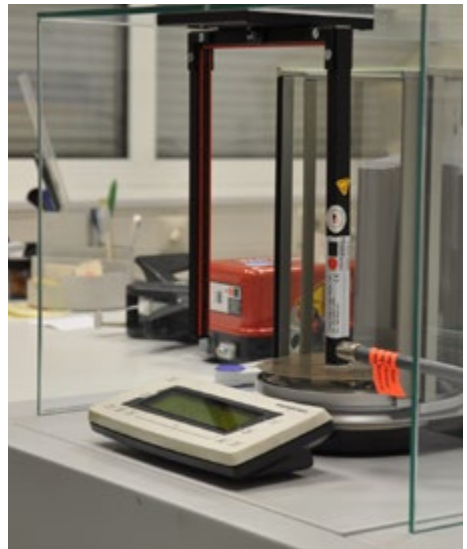


Abb. 11 Waage mit elektrostatischer Entladungseinrichtung (U-Elektrode)

Gekapselte Dosiersysteme (automatische Waagen) eignen sich gut für rasche und expositionsarme Wägungen (Abbildung 12).

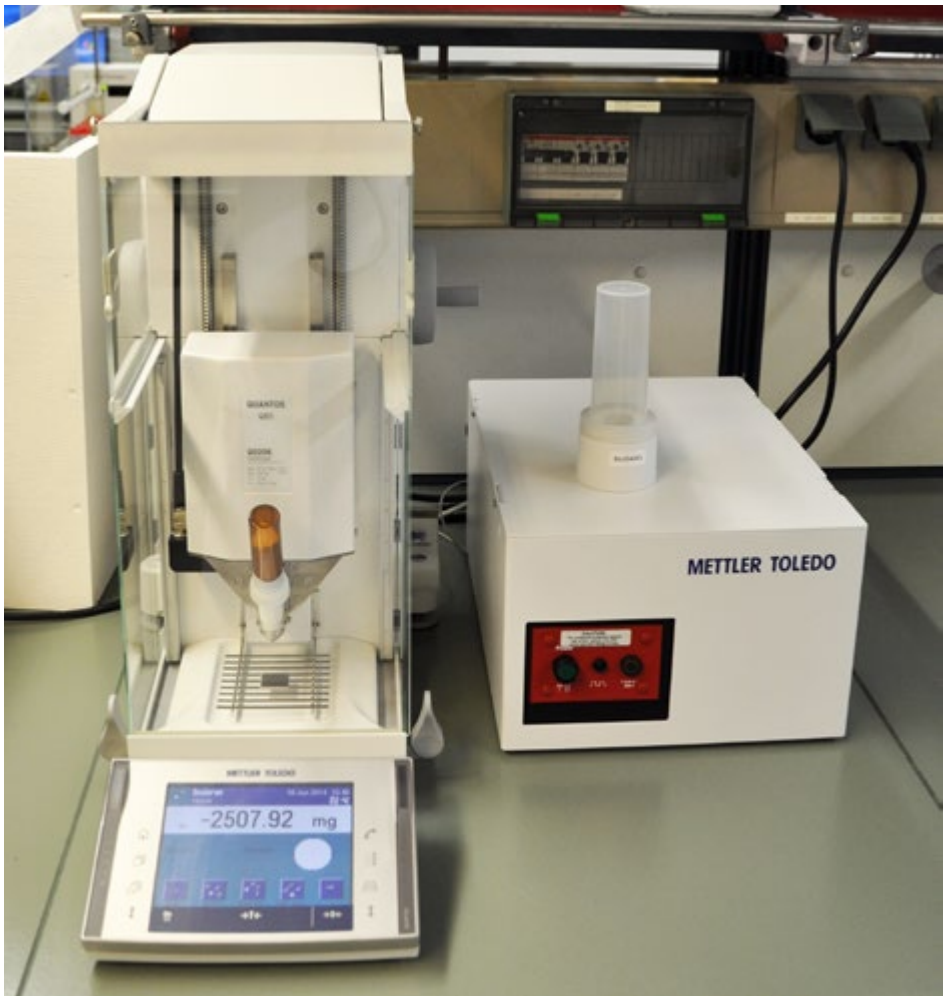


Abb. 12 Analysenwaage mit Kapselung und automatischer Dosiereinrichtung



Abb. 13 Glovebox mit Schleusensystem




Abb. 14 Glovebag mit Verschlussclip der Beschickungsöffnung

Ein hohes Schutzniveau wird auch durch Arbeiten in einer Glovebox (Abbildung 13) erreicht, ersatzweise auch in einem Glovebag (Abbildung 14), der anschließend auch kontaminationsfrei entsorgt werden kann. Die Glovebox bietet zusätzlich bei Bedarf auch einen besonders guten Schutz gegen Einflüsse aus der Luft auf das Nanomaterial (Hydrolyse, Oxidation, gegebenenfalls Selbstentzündung) durch eine besonders saubere Inertgasatmosphäre. Auch ein Glovebag kann inertisiert werden, ist aber weniger dicht gegen eindringende Luftspuren.



Reinigung von Apparaturen

Muss die Apparatur z. B. zur Reinigung zerlegt werden, so sollte diese vorher gut ausgespült werden, bevor der Inhalt der Apparatur in die Laborluft gelangt. Dies ist leicht zu bewerkstelligen, wenn beim Aufbau der Apparatur bereits daran gedacht wird, entsprechende (absperrbare) Anschlüsse für Spülleitungen vorzusehen (Abbildung 5). Dies können neben gegebenenfalls notwendigen Anschlüssen für Inertgase auch solche für den Zu- und Ablauf von Reinigungsflüssigkeiten sein, meist wird hier Wasser genügen. Der Ablauf kann dann in einem Gebinde als Abfall aufgefangen werden. Beim Aufbau ist darauf zu achten, dass die Spülflüssigkeit auch alle Teile der Apparatur, in denen sich Nanomaterialien befinden können, erreichen kann. Die Apparatur sollte dabei nicht bei erhöhten Temperaturen gespült werden, um einen Druckaufbau durch Verdampfen der Spülflüssigkeit oder Spannungsbrüche zu vermeiden. Gefährliche Reaktionen des Inhaltes der Apparatur mit der Spülflüssigkeit müssen ebenfalls ausgeschlossen werden, daher wird Wasser nicht in allen Fällen einsetzbar sein.



Probleme bei der Lüftung

Sollen Geräte zur Expositionsminderung abgesaugt werden, so kann dies auch mit einer Einhausung erfolgen oder durch eine Absaugung an der Entstehungsstelle von Emissionen. Dabei muss darauf geachtet werden, dass eine möglichst vollständige Erfassung gelingt und die Strömungsgeschwindigkeiten im Bereich der Absaugung nicht zu groß werden, so dass keine Wirbelbildungen auftreten und zudem keine leicht bewegliche Fraktionen an Nanomaterialien im Luftstrom fortgerissen werden. Eine fachkundige Gestaltung der

Absaugöffnungen ist erforderlich, das einfache Platzieren eines Absaug Schlauches in der Nähe der Emissionsstelle wird in der Regel nur wenig oder sogar einen negativen Effekt haben. Auch in Laborabzügen sollten die Einströmgeschwindigkeiten aus diesen beiden Gründen nicht zu hoch gewählt werden, die eingestellten Werte für den Abluftvolumenstrom (als Ergebnis der Baumusterprüfung) sollten nicht aus vermeintlichen Sicherheitsgründen beliebig gesteigert werden. Mitgerissene Nanoobjekte können sich in den Ablufteinrichtungen niederschlagen (im Plenum hinter der Prallwand der Abzüge oder in Abluftkanälen, besonders in Bögen und Ecken), bei Wartungsarbeiten ist hier an den Schutz der dort arbeitenden Personen und an eine Kontamination der Umgebung zu denken.

Wegen der ständig in Abzügen vorhandenen Luftströmungen kann es bei abgelagerten Nanomaterialien zu einer permanenten Freisetzung von freien Nanoobjekten kommen, auch ohne dass diese im Augenblick gehandhabt würden. Kontaminationen auf Tischen im Bereich von Strömungen können diesen Effekt auch aufweisen und Nanoobjekte in die Laboratmosphäre abgeben. Staubablagerungen sind daher zu vermeiden.

Müssen tatsächlich Nanoobjekte im Raum freigesetzt werden, so ist Atemschutz zu tragen. Hier sind Partikelfilter der Klasse P2 oder P3 wirksam. Bei einer Freisetzung im Raum muss natürlich auch die Kontamination des Raumes bedacht werden.

Werden Nanomaterialien in Lösung oder Suspension eingesetzt, so sollen diese nach einem Verschütten aufgenommen werden, bevor sie eintrocknen und möglicherweise in die Luft gelangen.

Nanomaterialien der Gruppe IV sind in der Beurteilung ihrer Toxizität schwierig. Solange nicht für ein solches Nanomaterial nachgewiesen ist, dass dessen Fasern nicht dem WHO-Faserkriterium entsprechen, sind asbestartige Wirkungen nicht auszuschließen. Eine entsprechende Minimierung durch die Schutzmaßnahmen und Sorgfalt beim Arbeiten ist erforderlich. Ein offener Umgang im Labor

ist grundsätzlich nicht möglich. Eine Kontamination des Raumes wird hier zu besonders aufwändigen Reinigungsmaßnahmen führen. Diese sind vorher festzulegen. Insbesondere starre Fasern erfordern hohe Aufmerksamkeit. Auch für Materialien der Gruppe II ist ein entsprechend sorgfältiger und expositionsminimierter Umgang erforderlich. Die Verwendung von Abzügen, Gloveboxen, geschlossenen Apparaturen oder vergleichbar sicheren Einrichtungen ist erforderlich. Eine Prüfung der Strömungsverhältnisse im Abzug und gegebenenfalls vor dem Abzug mit einem Rauchröhrchen oder Nebelgenerator ist zu empfehlen, da Störströmungen im Raum beim geöffneten Abzug dazu führen können, dass Austritte von Atmosphäre aus dem Abzugsinneren in den Laborraum erfolgen.

Von Nanomaterialien der Gruppe I kann ein nur geringes bis gar nicht vorhandenes Potential der toxischen Gefährdung angenommen werden, sofern der Stoff an sich nicht toxische Eigenschaften aufweist. Zu bedenken ist jedoch, dass, auch wenn diese offen gehandhabt werden könnten, weil die Konzentrationsgrenze des Beurteilungsmaßstabs nicht erreicht wird, eine Restunsicherheit bezüglich der Wirkung bei nicht ausreichend untersuchten Materialien besteht. Die Einteilung umfasst nur die toxischen Wirkungen, andere, insbesondere Brand- und Explosionsgefahren, werden davon nicht erfasst. Selbst bei für den Menschen nachgewiesenermaßen harmlosen Materialien ist jedoch immer eine Kontamination des Raumes möglich, welche die Versuchs- oder Messergebnisse, beispielsweise durch die Blindwerte, beeinträchtigen kann.

Nanomaterialien der Gruppe III sollten so gehandhabt werden, dass eine Exposition möglichst gering gehalten wird. Als Beurteilungsmaßstab empfiehlt die BekGS 527, den halben AGW (bezogen auf den aktuell gültigen rechtsverbindlichen Arbeitsplatzgrenzwert für die A-Staubfraktion gemäß TRGS 900) heranzuziehen. Der Beurteilungsmaßstab soll $0,5 \text{ mg/m}^3$ (bei einer Dichte von $2,5 \text{ g/cm}^3$) nicht überschreiten.

Dermale und orale Exposition

Handschuhe sollten im Abzug (oder anderen möglicherweise kontaminierten Arbeitsbereichen) verbleiben; Kontaminationen auf den Ärmeln von Kitteln können im Bedarfsfall durch überzuziehende Stulpen, die ebenfalls im Abzug verbleiben, vermieden werden. Neben dem Schutz vor der inhalativen Exposition ist aber Schutz vor dermalen und oraler Aufnahme erforderlich. Handschuhe sollten keine Öffnungen (durch schlechte Qualität, Alterung oder Beschädigung) aufweisen. Werden bei der Herstellung oder Verwendung von Nanomaterialien (z. B. in Suspension) Lösemittel verwendet, so muss die Eignung der Handschuhe für diese Lösemittel gegeben sein.

Luftgetragene Nanoobjekte werden nicht nur inhaliert, sondern schlagen sich auch (langsam) auf Oberflächen nieder. Dies gilt auch für Agglomerate und Aggregate, die Nanoobjekte untereinander oder mit größeren Teilchen in der Luft mehr oder weniger rasch bilden. Von der Gesichtshaut können diese über den Mund dann auch in den Verdauungstrakt gelangen. Auch Hygienemängel (Berührung der Stirn mit kontaminierten Handschuhen) führen dazu.

Wirksamkeitskontrolle der Maßnahmen

Messungen können zur Beurteilung hilfreich sein, werden jedoch durch die mitunter hohe (biogene und anthropogene) Hintergrundbelastung mit Nanoobjekten sowie das Fehlen einer quantitativen Beurteilungsgrundlage erschwert. Bei Tätigkeiten im Labor kann jedoch eine messende Begleitung von Tätigkeiten zu brauchbaren Aussagen über eine Exposition führen. Tragbare oder handgehaltene Geräte sind hierzu verfügbar. Wischproben oder Messungen mit Staubsammlern geben dagegen nur bedingt Informationen über nanoskalige Expositionen. Für die gegebenenfalls durchzuführenden Messungen liegt eine breit abgestimmte gestufte Messstrategie vor, die den teilweise erheblichen Aufwand auf ein der jeweiligen Exposition angemessenes Maß reduziert.



Hautaufnahme




Orale Aufnahme



Messungen

Zusammenfassung und Ausblick



*Stand der
Schutzmaßnahmen*

Alles in allem sind aus heutiger Sicht keine wirklich neuen Schutzmaßnahmen erforderlich, sondern die konsequente Anwendung der Maßnahmen, die im Laboratorium die Kontrolle von Gefahrstoffen ermöglichen. DGUV Information 213-850 „Sicheres Arbeiten in Laboratorien“, zuvor „Laborrichtlinien“, gibt hier die notwendigen Hinweise. Die Gefährdungsbeurteilung legt fest, ob möglicherweise zusätzliche Maßnahmen erforderlich sind. Nanomaterialien weiter entwickelter Generationen mit neuartigen Eigenschaften mögen in der Zukunft jedoch durchaus weiter gehende Schutzmaßnahmen erfordern.

Die Entwicklung der Erkenntnisse muss jedoch beobachtet werden, um im Bedarfsfall unverzüglich das Schutzmaßnahmenniveau der Erkenntnis anzupassen.

Literatur

Gesetze, Verordnungen, Technische Regeln

Bezugsquellen:

Buchhandel und Internet,

z.B. <http://www.gesetze-im-internet.de>, <http://www.baua.de>

Bekanntmachung zu Gefahrstoffen (BekGS) 527

Hergestellte Nanomaterialien

GMBI Nr. 25 vom 21.06.2013, 498 – 511 (2013)

► www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/TRGS/Bekanntmachung-527.html

Vorschriften, Regeln und Informationen für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit

Bezugsquelle:

*Bei Ihrem zuständigen Unfallversicherungsträger
und unter www.dguv.de/publikationen*

Unfallverhütungsvorschriften

DGUV Vorschrift 1 „Grundsätze der Prävention“

Regeln

DGUV Regel 109-002 „Arbeitsplatzlüftung – Lufttechnische Maßnahmen“ (bisher BGR 121)

Carl Heymanns Verlag, Köln Januar 2004

Informationen

DGUV Information 213-850 „Sicheres Arbeiten in Laboratorien – Grundlagen und Handlungshilfen“ (bisher BGI/GUV-I 850-0)

► www.laborrichtlinien.de

DGUV Information 213-851 „Working Safely in Laboratories – Basis Principles and Guidelines“ (bisher BGI/GUV-I 850-0e)

► www.guidelinesforlaboratories.de

Literatur

DGUV Information 213-857 „Laborabzüge – Bauarten und sicherer Betrieb“
(Merkblatt T 032 der Reihe „Sichere Technik“, bisher BGI 850-2)
erhältlich über den Medienshop der BG RCI unter
▶ <http://bgrci.shop.jedermann.de/shop/>

Sonstige Medien

Berges, M., Aitken, R.J., Peters, S., Savolainen, K., Luotamo, M., Brock, T.H.
Risk assessment and risk management
In: Vogel, U., Savolainen, K., Wu, Q., van Tongeren, M., Brouwer, D., Berges, M. (Eds.)
Handbook of Nanosafety
Academic Press, Amsterdam 2014

Institut für Arbeitsschutz der DGUV (IFA)
Maßstäbe zur Beurteilung der Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen
▶ www.dguv.de Webcode: d90539

Schaefer, H.-E.
Nanoscience – The Science of the small in physics, engineering, chemistry, biology and
medicine
Springer, Berlin, Heidelberg 2010

Technische Universität Dresden (TUD), Institut für Energie- und Umwelttechnik e.V. (IUTA), Be-
rufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie (BG RCI), Bundesanstalt für Arbeits-
schutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Institut für Arbeitsschutz der DGUV (IFA), Verband der
Chemischen Industrie e.V. (VCI)
Ein mehrstufiger Ansatz zur Expositionsermittlung und -bewertung nanoskaliger Aerosole,
die aus synthetischen Nanomaterialien in die Luft am Arbeitsplatz freigesetzt werden
▶ [www.vci.de/Downloads/PDF/Expositionsermittlung%20und%20-bewertung%20nanoska-
liger%20Aerosole%20.pdf](http://www.vci.de/Downloads/PDF/Expositionsermittlung%20und%20-bewertung%20nanoska-
liger%20Aerosole%20.pdf)

**Deutsche Gesetzliche
Unfallversicherung e.V. (DGUV)**

Glinkastraße 40
10117 Berlin
Tel.: 030 288763800
Fax: 030 288763808
E-Mail: info@dguv.de
Internet: www.dguv.de