

Nanomaterialien im Labor

Hilfestellungen für den Umgang

Einführung

Kleine
Strukturen mit
besonderen
Eigenschaften

Nanotechnologie ist ein wichtiges Gebiet für Forschung und Entwicklung. Hier werden Nanomaterialien hergestellt oder weiter verarbeitet. 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 weiter gehenden Einfluss hat.

Arten von
Nanomateri-
alien

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 Metalloxidpartikel). 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).

Toxikologie

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. Das einige Nanoobjekte biologische Strukturen penetrieren können, ist bekannt, ob dies allerdings auch als negative Einwirkung zu werten ist, ist bislang unklar.

Brand- und
Explosions-
gefahren

Brennbare Nanoobjekte sind im Gemisch mit Luft zur Explosion fähig, ihre Zündwilligkeit kann sehr viel höher sein, als beim grobkörnigeren Stoff (erhebliche geringere Mindestzündenergien als bei Stäuben). 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.

Freisetzung aus gebundenen Strukturen

Nanoobjekte neigen dazu, sich zu größeren Einheiten in Form von Agglomeraten (mit schwächeren bindenden Kräften) oder relativ stark gebundenen Aggregaten zusammenzuschließen. 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 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, nicht von den eingebetteten Nanoobjekten zu stammen.

Vorsorgeprinzip

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 scheinen freie oder freiwerdende faserartige Strukturen (Röhrchen, Stäbchen) mit erhöhter Vorsicht zu behandeln zu sein.

Schutzmaßnahmen

Inhalative Exposition

Lüftungstechnische Maßnahmen

Die Verwendung von genormten und geprüften Laborabzügen ist hier eine 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, Lösungen, Pasten) eingesetzt werden können. Auch eine Einbindung in Matrices (Granulate, Compounds) ist hilfreich. Müssen trockene, nicht eingebundene Nanomaterialien eingesetzt werden, so sollten 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 Ausbruchsverhalten von Nanoobjekten, erste Ergebnisse in der Bundesrepublik (an einem Abzug nach DIN 12924-1) konnten dies nicht bestätigen, hier war ein hohes Rückhaltevermögen zu beobachten).

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 ist auf einen ausreichenden Abstand zu den Innenflächen des Abzugs geachtet werden, um die Luftströmungen möglichst wenig zu beeinträchtigen. Insbesondere zur Arbeitsfläche hin ist dazu ein Abstand von mindestens 5 cm erforderlich. 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.

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 Wirbelbildungen auftreten und zudem leicht bewegliche Fraktionen an Nanomaterialien im Luftstrom fortgerissen werden. Eine fachkundige Gestaltung der Absaugöffnungen ist erforderlich, das einfache Platzieren eines Absaugeschlauches 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.

Geschlossene Apparateteile

Auf eine gesonderte Absaugung von Geräten im Raum kann verzichtet werden, wenn die Nanomaterialien dort in geschlossenen Behältern oder ein- oder ausgebracht werden. So können beispielsweise oft die Mahlbecher einer Mühle geschlossen entnommen werden, um erst im Abzug den Inhalt zu entnehmen.

Hautaufnahme

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 möglichst wenige Poren aufweisen, in die Nanoobjekte eindringen und durch die Walkarbeit des Materials hindurchtransportiert werden können.

Orale Aufnahme

Luftgetragene Nanoobjekte werden nicht nur inhaliert, sondern schlagen sich auch (langsam) auf Oberflächen nieder. Von der Gesichtshaut können diese über den Mund dann auch in den Verdauungstrakt gelangen. Auch Hygienemängel (Berührung der Stirn mit kontaminierten Handschuhen) führen dazu. Müssen tatsächlich Nanoobjekte im Raum freigesetzt werden, so ist Atemschutz zu tragen. Hier sind Partikelfilter der Klasse 2 oder 3 wirksam. Bei einer Freisetzung im Raum muss natürlich auch die Kontamination des Raumes bedacht werden.

Wirksamkeitskontrolle der Maßnahmen

Messungen

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 nur bedingt Informationen über nanoskalige Expositionen.

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. Die Laborrichtlinien geben 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 Schutzmaßmanniveau der Erkenntnis anzupassen.

Literatur

Zu Nanomaterialien am Arbeitsplatz siehe auch die gleichnamige BGI/GUV-I 5149 (in Vorbereitung).

Hilfestellungen zur Sicherheit in Laboratorien geben die Laborrichtlinien (BGI/GUV-I 850-0 „Sicheres Arbeiten in Laboratorien“, auch als „Guidelines for Laboratories“ in englischer Sprache verfügbar, im Internet unter www.laborrichtlinien.de)

Hinweise zur Ausführung von Lüftungseinrichtungen enthält die BGR 121 „Arbeitsplatzlüftung“