

DER UMWELT BEAUFTRAGTE

Informationsdienst für Kreislauf- und Abfallwirtschaft sowie Gewässer- und Immissionsschutz

oekom verlag

In diesem Heft

Beiträge

**Neue technische Regel
zum Umgang mit
Nanomaterialien
veröffentlicht** 1

**Abwasserverordnung
wird schrittweise
an EU-Vorgaben
angepasst** 8

Rubriken

Impressum 13

**Rechtsentscheid:
Waldumwandlungs-
genehmigung und
§ 13 BImSchG** 14

**Neue und geänderte
Vorschriften** 15

Publikationen & Produkte 16

Termine 16

Neue technische Regel zum Umgang mit Nanomaterialien veröffentlicht

Das Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) hat im gemeinsamen Ministerialblatt mehrere neu gefasste oder geänderte technische Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) veröffentlicht. Weitere Änderungen und Ergänzungen im Regelwerk zur Gefahrstoffverordnung, die der Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) im November 2019 beschlossen hat, stehen in diesem Jahr bevor. Als erste der geänderten technischen Regeln ist die TRGS 527 „Tätigkeiten mit Nanomaterialien“ als Ausgabe Januar 2020 in grundlegend überarbeiteter Neufassung veröffentlicht worden.

Die neu gefasste TRGS gilt für gezielt hergestellte Materialien im Größenbereich zwischen einem und 100 nm. Der Anwendungsbereich wurde somit an die Verordnung (EU) Nr. 2018/1881 zur Änderung der REACH-Verordnung angepasst und umfasst weder natürliche Nanomaterialien, sofern keine Tätigkeiten mit ihnen ausgeführt werden, noch prozessbedingt entstehende Nanomaterialien, sofern sie nicht als Produkte gehandhabt werden. Die Änderungen der neuen Fassung beinhalten

- eine Aktualisierung der Hinweise zur Identifizierung von Nanomaterialien,
- einen neuen Anhang 1 zu Nanomaterialien in Produktunterlagen,
- eine Zusammenführung der Hilfestellungen zur Gruppeneinteilung von

Nanomaterialien,

- die Einführung eines Beurteilungsmaßstabes für granuläre biobeständige Stäube (GBS-Nanomaterialien),
- eine Aktualisierung und Ergänzung der Hilfestellungen zur Durchführung der Gefährdungsbeurteilung bei Tätigkeiten mit Nanomaterialien,
- die Aktualisierung und Zusammenführung der Hinweise zu Schutzmaßnahmen,
- eine Aktualisierung und Zusammenfassung der Hilfestellungen zur Wirksamkeitsprüfung der Schutzmaßnahmen sowie
- die Ergänzung zweier Anhänge (Anhang 4 zum Benchmark-Level-Konzept des Instituts für Arbeitsschutz der DGUV und Anhang 5 zur Ermitt-

lung der Anzahlkonzentration faserförmiger Nanomaterialien).

Ermittlung von Gefährdungen

Der Arbeitgeber ist verpflichtet, zu ermitteln, ob Beschäftigte Tätigkeiten mit Nanomaterialien durchführen oder ob Tätigkeiten durchgeführt werden, bei denen Nanomaterialien entstehen oder freigesetzt werden können. Hierzu kann er insbesondere die Sicherheitsdatenblätter heranziehen, aus denen ersichtlich sein sollte, ob ein Stoff in Nanoform vorliegt oder ein Gemisch Nanoformen eines Stoffes enthält (insbesondere Abschnitte 3 und 9 des Sicherheitsdatenblatts). Weitere Informationsquellen sind Technische Merkblätter oder Werbebroschüren des Herstellers oder Verpackungen. Anhang 1 gibt weitere Hinweise auf Nanomaterialien, z.B. bestimmte Stoff-, Produkt- und Gebrauchseigenschaften. Informationen zu Bau- und Reinigungsprodukten, die mit dem Begriff „Nano“ bezeichnet werden oder nanotechnologische Eigenschaften nutzen, sind in der Liste „Nanoteilchen in Bau- und Reinigungsprodukten“ der Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft zu finden. Bei fehlenden oder unzureichenden Informationen sollte der Hersteller oder Lieferant kontaktiert werden, wenn Inhaltsstoffe enthalten sind, die üblicherweise in Nanoform vorkommen können.

Zur Ermittlung der Gefährdungen fordert die TRGS 527 die Betrachtung aller Arbeitsplätze entlang der Wertschöpfungskette, in denen Tätigkeiten mit Nanomaterialien durchgeführt werden, einschließlich Forschung und Entwicklung, Produktion, industrielle und gewerbliche Be- und Weiterverarbeitung, Wiederverwertung und -aufbereitung sowie Entsorgung. Es sollen aber auch Tätigkeiten bei Betriebszuständen wie Wartungs-, Reinigungs- und Instandsetzungsarbeiten, An- und Abfahrvorgängen sowie bei der Beseitigung von Betriebsstörungen beurteilt werden. Gegebenenfalls wird für diese Tätigkeiten eine gesonderte Gefährdungsbeurteilung für erforderlich gehalten, bei der zu ermitteln ist, welchen Expositionen diese Beschäftigten bei außer Betrieb genommenen technischen Schutzmaßnahmen ausgesetzt sind und ob die verwendeten persönlichen Schutzmaßnahmen

wirksam sind.

Hinsichtlich der Wahrscheinlichkeit und des Ausmaßes der zu erwartenden Freisetzung und der möglichen Exposition der Beschäftigten gibt die TRGS 527 folgende Hinweise für die Durchführung der Gefährdungsbeurteilung:

- Die Freisetzung von Nanomaterialien hängt von den gehandhabten Produkten und von den durchgeführten Tätigkeiten ab. Die Wahrscheinlichkeit der Freisetzung kann entlang der Wertschöpfungskette abnehmen, wenn der Anteil an Nanomaterial in einem Produkt von seiner Herstellung über seine Verarbeitung z.B. zu Gemischen und Formulierungen bis hin zum fertigen Erzeugnis abnimmt.
- Eine Exposition von Beschäftigten kann während des Herstellungsprozesses insbesondere an den Übergängen zwischen offenen und geschlossenen Verfahrensschritten, z.B. bei der Abfüllung, bei der Probenahme, bei Reinigungs- und Wartungsarbeiten sowie bei Störungen des Normalbetriebes, z.B. bei Leckagen stattfinden.
- Die Wahrscheinlichkeit der Freisetzung von Nanomaterialien ist bei Herstellung in flüssiger Phase geringer als bei Gasphasenverfahren, sofern dabei keine Aerosol- oder Tröpfchenbildung erfolgt, z.B. durch Versprühen oder Kavitationsprozesse.
- Bei der Verarbeitung von festen Stoffen oder Gemischen, die Nanomaterial enthalten, z.B. bei Tätigkeiten wie Einwiegen, Mischen, Dosieren oder Verpacken von Pulvern und Granulaten ist die Wahrscheinlichkeit der Freisetzung sowohl vom Staubungsverhalten und der Menge bzw. dem Massenanteil des Nanomaterials in Gemischen als auch von der Art der Tätigkeit abhängig.
- Bei der Verarbeitung von Gemischen, die Nanomaterialien in einer flüssigen Matrix enthalten, z.B. Lösungen, Suspensionen, Pasten oder Schlämme, kann bei Vermeidung von Aerosolbildung eine inhalative Aufnahme in der Regel ausgeschlossen werden. Wenn diese eintrocknen, z.B. nachdem sie mit Wischtüchern aufgenommen wurden, können bei der Handhabung Nanomaterialien

freigesetzt werden.

- Bei der Bearbeitung und Weiterverarbeitung von Erzeugnissen, die Stoffe in Nanoform enthalten, beispielsweise beim Schneiden oder Schleifen von Polymeren oder Lackschichten, ist die Wahrscheinlichkeit der Freisetzung vereinzelter Nanoobjekte gering. Bei der abtragenden Bearbeitung von Erzeugnissen, die biobeständige faserförmige Nanomaterialien enthalten, ist jedoch präventiv von einer möglichen Freisetzung dieser Fasern auszugehen, wenn dies nicht auf Grund hinreichender Erkenntnisse ausgeschlossen werden kann.

Gruppeneinteilung von Nanomaterialien

Anhand ihrer stoffspezifischen Toxizität, der Gestalt und Struktur sowie der Biobeständigkeit teilt die TRGS 527 Nanomaterialien bei der Gefährdungsbeurteilung in vier Gruppen ein:

- Gruppe 1: Lösliche Nanomaterialien,
- Gruppe 2: Biobeständige Nanomaterialien mit stoffspezifischer Toxizität,
- Gruppe 3: Biobeständige Nanomaterialien ohne stoffspezifische Toxizität (GBS-Nanomaterialien),
- Gruppe 4: Biobeständige faserförmige Nanomaterialien.

Der Gruppe 1 gehören lösliche Nanomaterialien an (Beispiel: amorphes Siliziumdioxid in Nanoform). Als „löslich“ werden in der TRGS 527 Stoffe bezeichnet, die eine Wasserlöslichkeit von mehr als 100 mg/l aufweisen. Lösliche Nanomaterialien verlieren ihre Partikeleigenschaften nach dem Einatmen. Die Gefährdungsbeurteilung erfolgt daher anhand der stoffspezifischen Toxizität der zugehörigen mikroskaligen Stoffe gemäß den Grundsätzen der TRGS 400.

Den Gruppen 2 bis 4 werden biobeständige Nanomaterialien zugeordnet. Als Maßstab für die Biobeständigkeit wird in der TRGS 527 die Wasserlöslichkeit herangezogen, da bei guter Wasserlöslichkeit meist auch von einer guten Löslichkeit in biologischen Medien ausgegangen werden kann. Nanomaterialien mit einer Wasserlöslichkeit < 100 mg/l

sind im Sinne dieser TRGS praktisch unlöslich und damit biobeständig. Der Gruppe 2 werden nicht faserförmige biobeständige Nanomaterialien mit stoffspezifischer Toxizität zugeordnet, der Gruppe 3 solche ohne stoffspezifische Toxizität. Der Gruppe 4 werden alle faserförmigen biobeständigen Nanomaterialien zugeordnet. Zur Gruppe 2 gehört z.B. metallisches Nickel in Nanoform. Ist bereits die mikroskalige Form als toxisch eingestuft, ist davon auszugehen, dass zugehörige Nanoformen in Gruppe 2 einzuordnen sind. Nanomaterialien der Gruppe 3 (nicht faserförmig, biobeständig und ohne stoffspezifische Toxizität) werden auch als GBS-(granuläre biobeständige) Nanomaterialien bezeichnet. Sie besitzen keine über die Partikelwirkung hinausgehende stoffspezifische Toxizität. Beispiele sind Industrieruß (Carbon Black), Aluminiumoxid und Aluminiumsilikat. Ihre möglichen Gesundheitsgefahren bestehen hauptsächlich in einer chronischen entzündlichen Wirkung in der Lunge. Zur Beurteilung der Exposition durch GBS-Nanomaterialien hat der AGS im Jahr 2015 einen Beurteilungsmaßstab von $0,5 \text{ mg/m}^3$ für die alveolengängige Fraktion (bei einer mittleren Agglomeratdichte von $1,5 \text{ g/cm}^3$ und einem Massenanteil von 20 Prozent nanoskaliger GBS) bekannt gemacht.

Vorgehen bei der Gefährdungsbeurteilung

Die Gefährdungsbeurteilung für Tätigkeiten mit Nanomaterialien wird entsprechend den Grundsätzen der TRGS 400 durchgeführt; demzufolge muss das gesamte Arbeitssystem (eingesetzter Gefahrstoff, durchgeführte Tätigkeit, Arbeitsmittel und bestehende Schutzrichtungen) betrachtet werden; dabei können ergänzend die oben genannten Informationen berücksichtigt werden. Zur Vorgehensweise bei der Gefährdungsbeurteilung ist in Anhang 3 der TRGS 527 ein Fließschema beigefügt. Es sind vorrangig Gefährdungen beim Einatmen (inhalative Exposition) zu beurteilen, von nachrangiger Bedeutung sind Gefährdungen durch Hautresorption und durch orale Aufnahme. *Gefährdungen durch Einatmen* hängen von der Einstufung gemäß CLP-Verordnung, der Lösungsgeschwindigkeit in



Wasser bzw. in biologischen Medien, von Form und Struktur der Nanomaterialien sowie von Höhe und Dauer der inhalativen Exposition ab. Die Höhe der inhalativen Exposition wird bestimmt durch:

- die Verwendungsform,
- das Staubungsverhalten,
- die Freisetzung,
- die räumlichen Bedingungen,
- die Arbeitsbedingungen (z. B. schwere körperliche Arbeit),
- die Lüftungsbedingungen,
- die Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen.

Bei Tätigkeiten bei denen Nanomaterialien oder nanomaterialhaltige Aerosole in die Luft am Arbeitsplatz freigesetzt werden, geht die TRGS 527 von einer Gefährdung aus.

Die Bewertung der Exposition berücksichtigt entsprechend den Vorgaben der TRGS 402:

- Arbeitsplatzgrenzwerte der TRGS 900 oder Akzeptanz- und Toleranzkonzentrationen der TRGS 910,
- den vom AGS bekannt gemachten Beurteilungsmaßstab für GBS-Nanomaterialien (Gruppe 3),
- fachkundige Grenzwertvorschläge z.B. der MAK-Kommission oder anderer wissenschaftlicher Expertenkommissionen,
- DNEL-Werte (Derived No Effect Level), die der Hersteller im Rahmen der REACH-Registrierung abgeleitet und z.B. im Sicherheitsdatenblatt angegeben hat, oder
- firmeninterne stoffspezifische Empfehlungs- oder Aktionswerte, die der

Arbeitgeber selbst auf belastbarer Grundlage im Rahmen seiner Gefährdungsbeurteilung festlegt,

- die Empfehlungen des Benchmark-Level-Konzepts des Instituts für Arbeitsschutz der DGUV (IFA) (in Anhang 4 der TRGS näher beschrieben).

Bei Tätigkeiten mit biobeständigen faserförmigen Nanomaterialien mit einer Länge von mehr als $5 \mu\text{m}$ und einem Durchmesser von weniger als $3 \mu\text{m}$ sowie einem Länge-zu-Durchmesser-Verhältnis von über 3:1 geht die TRGS 527 aus Vorsorgegründen von einer asbestartigen Wirkung aus, weshalb für die Beurteilung der Exposition die Exposition-Risiko-Beziehung (ERB) für Asbest anzuwenden ist.

Gefährdungen durch die Aufnahme über die Haut werden als gering angesehen (Voraussetzung: gesunde, d.h. nicht vorgeschädigte oder erkrankte Haut). Für die Ableitung der Schutzmaßnahmen bei Hautkontakt wird auf die TRGS 401 verwiesen; zu berücksichtigen sind Stoffeigenschaften, Wirkfläche und Wirkdauer und zusätzlich die Angaben zu Schutzhandschuhen in Abschnitt 5.5 der TRGS 527 (siehe unten).

Gefährdungen durch Verschlucken können wie bei mikroskaligen Stoffen bereits durch die Umsetzung der allgemeinen und grundlegenden Schutzmaßnahmen der TRGS 500 ausgeschlossen werden. *Brand- und Explosionsgefährdungen* durch brennbare Stäube bestehen bereits ab einer Partikelgröße von weniger als $500 \mu\text{m}$. Derartige Stäube können explosionsfähig sein und, wenn sie in Luft aufgewirbelt werden, explosionsfähig

hige Staub/Luft-Gemische bilden. Wegen ihrer geringen Teilchengröße und ggf. einer möglicherweise höheren spezifischen Oberfläche können Nanomaterialien und ihre Aggregate zündempfindlicher sein und heftiger reagieren als mikroskalige Stäube. Hinsichtlich der Gefährdungsbeurteilung verweist die hier behandelte TRGS auf § 6 der Gefahrstoffverordnung sowie auf die TRGS 720 und 721.

Schutzmaßnahmen für Nanomaterialien

Abschnitt 5 der TRGS 527 behandelt Schutzmaßnahmen und Unterabschnitt 5.1 die grundlegenden Aspekte, die bei der Festlegung von Schutzmaßnahmen bei Tätigkeiten mit Nanomaterialien zu beachten sind. Bei Nanomaterialien der Gruppe 1 und 2 sind die Schutzmaßnahmen an der Einstufung des Gesamtmaterials gemäß CLP-Verordnung auszurichten, sofern für die Nanoform keine abweichende Einstufung vorliegt.

Bei Tätigkeiten mit Nanomaterialien müssen stets die Grundpflichten nach § 7 GefStoffV sowie die Allgemeinen Schutzmaßnahmen nach § 8 GefStoffV und Abschnitt 6 der TRGS 500 berücksichtigt werden, zusätzlich die unten näher beschriebenen Schutzmaßnahmen der TRGS 527 gegen unbeabsichtigte Freisetzung, gegen Brände und Explosionen (bei Tätigkeiten mit nanoskaligen Stäuben) sowie bei der Entsorgung. Diese Maßnahmen werden in der TRGS 527 bereits als ausreichend angesehen bei

- Tätigkeiten mit löslichen Nanomaterialien (Gruppe 1) ohne stoffspezifische Toxizität,
- Tätigkeiten mit Nanomaterialien, die festkörpergebunden vorliegen (z.B. in Erzeugnissen), wenn die gebundenen Nanomaterialien nachweislich nicht durch die Tätigkeit (beispielsweise mechanische Bearbeitung) aus der Matrix freigesetzt werden,
- Tätigkeiten mit Nanomaterialien in flüssiger Phase, wenn die Freisetzung der eingesetzten Nanomaterialien ausgeschlossen werden kann (z.B. Verfahren ohne Kavitationsprozesse, Tätigkeiten ohne Spritzapplikation oder Verarbeitungsverfahren, bei denen das Eintrocknen der flüssigen

Phase ausgeschlossen ist),

- Tätigkeiten mit Nanomaterialien, wenn die festgelegten Beurteilungsmaßstäbe eingehalten werden,
- Tätigkeiten mit Nanomaterialien der Gruppe 2, für die ein stoffspezifischer Arbeitsplatzgrenzwert oder Beurteilungsmaßstab nur für die mikroskalige Fraktion festgelegt ist, wenn die Bestimmungsgrenze des Messverfahrens unterschritten ist,
- Tätigkeiten mit Nanomaterialien der Gruppe 3, wenn eine orientierende Messung der Partikelanzahlkonzentration keinen signifikanten Anstieg gegenüber der Hintergrundbelastung ergibt.

Werden Nanomaterialien unter laborüblichen Bedingungen gehandhabt, gelten die Schutzmaßnahmen der TRGS 526 „Laboratorien“ (Mindestschutzmaßnahmen für neue und noch nicht ausreichend untersuchte Stoffe dort in Abschnitt 3.1, Hilfestellungen für Tätigkeiten mit Nanomaterialien im Labor zusätzlich in der DGUV Information 213-853).

Sind die oben genannten Kriterien nicht oder nur teilweise erfüllt, muss geprüft werden, ob zusätzliche Schutzmaßnahmen nach §§ 9 und 10 GefStoffV bzw. staubmindernde Schutzmaßnahmen nach Anhang I Nr. 2 GefStoffV und Abschnitt 9 der TRGS 500 zu treffen sind.

Substitutionsprüfung

Bei der Ermittlung der Substitutionsmöglichkeiten bei Nanomaterialien sind gemäß TRGS 527 als Kriterien die Einstufung gemäß CLP-Verordnung und das Freisetzungspotenzial unter Berücksichtigung der jeweiligen physikalisch-chemischen Eigenschaften und der Verfahrens- und Verwendungsbedingungen zu berücksichtigen; die TRGS 600 „Substitution“ ist zu beachten. Die TRGS 527 stuft nach heutigem Stand folgende Möglichkeiten als praktisch umsetzbar ein:

- *Staubende Nanomaterialien*: Infrage kommen neben dem Ersatz durch weniger staubende Materialien (z. B. durch Befeuchtung, Granulate, Pasten oder bereits fertig gemischte Materialien) ggf. das Dispergieren in flüssigen Medien und die Einbindung in festen Matrices durch weniger staubende Materialien.

- *Nanomaterialien in flüssigen Formulierungen*: Hier sind Anwendungen zu bevorzugen, die nicht zur Erzeugung eines Aerosols führen.
- *Biobeständige faserförmige Nanomaterialien*: Kann deren Verwendung nicht vermieden werden, sollten bevorzugt Nanofasern mit Durchmessern von weniger als 30 nm verwendet werden, da mehrwandige Kohlenstoffnanoröhren mit mehr als 30 nm Durchmesser im Tierexperiment wiederholt eine asbestartige Wirkung gezeigt haben.

Technische Schutzmaßnahmen

Ist eine Substitution nicht möglich und besteht eine erhöhte Gefährdung durch inhalative Exposition, sind Nanomaterialien in Anwendung von § 9 Abs. 2 GefStoffV grundsätzlich in geschlossenen Systemen bzw. Anlagen herzustellen oder zu verarbeiten. Ausgenommen sind Tätigkeiten mit Kleinmengen (im Gramm- bzw. Milliliter-Bereich) sowie Tätigkeiten

- mit löslichen Nanomaterialien ohne stoffspezifische Toxizität,
- mit fest in einer Festkörpermatrix eingebundenen Nanomaterialien,
- mit Nanomaterialien in flüssiger Phase, wenn deren Freisetzung ausgeschlossen werden kann,
- mit Nanomaterialien unter Einhaltung der festgelegten Beurteilungsmaßstäbe,
- mit Nanomaterialien der Gruppe 2, wenn ein stoffspezifischer Arbeitsplatzgrenzwert oder Beurteilungsmaßstab nur für die mikroskalige Fraktion festgelegt ist und die Bestimmungsgrenze des Messverfahrens unterschritten ist,
- mit Nanomaterialien der Gruppe 3, wenn kein signifikanter Anstieg der Partikelanzahlkonzentration gegenüber der Hintergrundbelastung gemessen wurde.

Ist die Anwendung eines geschlossenen Systems technisch nicht möglich, ist dies in der Gefährdungsbeurteilung zu begründen.

Vorhandene, nicht geschlossene Anlagen müssen, wenn technisch möglich, mit technischen Schutzmaßnahmen nachgerüstet werden. Zu diesen zählt die TRGS 527 auch Einhausungen oder

eine räumliche Trennung sowie Lüftungstechnische Maßnahmen wie z.B. Laborabzüge, Sicherheitswerkbänke, Handschuhboxen, Absaugschränke, Objektabsaugungen, Abzugskabinen oder ähnliche Apparaturen nach dem Stand der Technik. Tätigkeiten, die notwendigerweise außerhalb geschlossener Systeme stattfinden (insbesondere Um- und Abfüllen) müssen unter Absaugung direkt an der Freisetzungquelle erfolgen. Hierfür gelten die Anforderungen an Verfahren außerhalb geschlossener Systeme nach Abschnitt 5.3 der TRGS 500 „Schutzmaßnahmen“. Bei Tätigkeiten mit nicht vermeidbarer Aerosolbildung (z. B. Spritzapplikationen) sind zusätzliche verfahrensspezifische Schutzmaßnahmen zu ergreifen, bei der Verarbeitung von Beschichtungsstoffen beispielsweise die in der DGUV Regel 109-013 oder dem DGUV Informationsblatt FB HM-071 beschriebenen Maßnahmen. Bei Aerosolbildung zieht die TRGS Schutzmaßnahmen in Betracht, die sich an die Schutzleitfäden für Tätigkeiten mit Biozid-Produkten anlehnen (BP 2082 Holzschutzmittel: Bekämpfender Holzschutz in Sprühanwendungen oder BP 2183 Bekämpfung von Insekten: Sprühen). Bei Tätigkeiten mit Nanomaterialien der Gruppen 1 und 2, die als krebserzeugend eingestuft sind, und mit Nanomaterialien der Gruppe 4 fordert die TRGS 527 beim Vorhandensein einer Lufrückführung die Einhaltung der TRGS 560. Bei Entstaubern zur Lufrückführung muss der Durchlassgrad der Filteranlage unter 0,005 Prozent liegen. Bei Reinigungsarbeiten gibt die TRGS 527 Maßnahmen zur Vermeidung der Aufwirbelung von Ablagerungen vor. Die Reinigung muss entweder feucht oder mit einem Staubsauger oder Entstauber der Staubklasse M nach DIN EN 60335-2-69 durchgeführt werden. Für Nanomaterialien der Gruppen 2 und 4, die in der Nanoform oder der Mikroform als krebserzeugend in Kategorie 1A oder 1B eingestuft sind, sind Staubsauger oder Entstauber der Staubklasse H zu verwenden. Ein starker Wasserstrahl sollte bei der Reinigung vermieden werden. Unzulässig sind das Reinigen des Arbeitsbereiches durch Kehren ohne staubbindende Maßnahmen sowie das Abblasen von Staubablagerungen mit

Druckluft.

Bei der abtragenden Bearbeitung von nanomaterialhaltigen Erzeugnissen müssen Maschinen ausgewählt werden, die möglichst wenig Staub freisetzen. Staubemittierende Maschinen und Geräte müssen mit einer wirksamen Absaugung nach dem Stand der Technik ausgerüstet werden, wenn die Staubfreisetzung nicht durch andere Maßnahmen verhindert wird. Dies gilt besonders bei Erzeugnissen, die Nanomaterialien der Gruppe 4 enthalten.

Ist eine vollständige Erfassung an der Emissionsquelle nicht möglich, so können an ortsveränderlichen Arbeitsplätzen nahe an der Emissionsquelle platzierte Geräte zur Absaugung wie z.B. Erfassungseinrichtungen mit einem Absaugarm oder mobile Luftreiniger verwendet werden. An stationären Arbeitsplätzen sind Lüftungstechnische Maßnahmen wie eine technische Be-/Entlüftung zu bevorzugen.

Organisatorische Schutzmaßnahmen

An organisatorischen Schutzmaßnahmen nennt die TRGS 527 gezielte Unterweisungen der Beschäftigten sowie entsprechend angepasste Betriebsanweisungen. Der Zugang zu Arbeitsbereichen, in denen Tätigkeiten mit Nanomaterialien durchgeführt werden und in denen eine erhöhte Gefährdung besteht, ist zu beschränken. Bei Tätigkeiten mit Nanomaterialien der Gruppen 2 und 4 empfiehlt die TRGS 527 eine Kennzeichnung der Zugänge zu den entsprechenden Arbeitsbereichen und Arbeitsplätzen. Zugangsberechtigt sind nur unterwiesene Personen. Werden Tätigkeiten mit Nanomaterialien der Gruppe 4 durchgeführt, müssen die Arbeitsbereiche mit dem Verbotssymbol D-P006 „Zutritt für Unbefugte verboten“ versehen werden, und es ist zu prüfen, ob ein Schwarz-Weiß-Bereich eingerichtet werden muss.

Ablagerungen von Nanomaterialien sind zu vermeiden. Arbeitsplätze sind regelmäßig zu reinigen. In der Gefährdungsbeurteilung müssen die Reinigungsintervalle und Reinigungsmethoden festgelegt werden. Es ist zu prüfen, welche Arbeitsräume, Verkehrswege, Betriebsanlagen, Maschinen und Geräte in die Festlegung

einzu beziehen sind. Auch Sanitär- und Pausenräume sind zu betrachten.

Bei Stoffen in Nanoform, die noch nicht ausreichend toxikologisch geprüft sind, ist darauf hinzuweisen, dass es sich um einen Stoff mit teilweise noch unbekanntem Eigenschaften handelt. Solche Stoffe sind entsprechend Abschnitt 4.7 der TRGS 201 „Einstufung und Kennzeichnung bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen“ mit den Hinweisen „Achtung – noch nicht vollständig geprüfter Stoff“ bzw. „Gemisch enthält einen noch nicht vollständig geprüften Stoff“ zu kennzeichnen.

Persönliche Schutzmaßnahmen

Insbesondere bei bestimmten Tätigkeiten, zu denen Abfüllvorgänge, Probenentnahmen sowie Reinigungs-, Instandsetzungs- und Wartungsarbeiten gehören, kann nach TRGS 527 je nach dem Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung zusätzlich eine persönliche Schutzausrüstung erforderlich werden. Folgende Ausrüstung wird empfohlen:

Atemschutz: Werden die Grenzwerte und sonstigen Beurteilungsmaßstäbe überschritten, ist der Einsatz von Atemschutz erforderlich. Sowohl Filter- als auch Isoliergeräte sind geeignet. Die Wirksamkeit der Schutzausrüstung hängt wesentlich davon von ihrem dichten Sitz ab. Partikelfiltrierende Halbmasken (FFP) sind wirksam, wenn sie auf Dichtsitz geprüft und sachgemäß angewendet werden. Die Verwendung von Halb- oder Vollmasken mit Partikelfilter bietet einen besseren Dichtsitz. Für die einzelnen Nanomaterialgruppen stellt die TRGS 527 darüber hinaus folgende Anforderungen:

- Bei Exposition mit Nanomaterialien der Gruppe 2 mit Expositionen, die zwischen Bestimmungsgrenze und Arbeitsplatzgrenzwert der mikroskaligen Fraktion liegen, muss der Arbeitgeber mindestens Halbmasken mit P2-Filter oder partikelfiltrierende Halbmasken FFP2 anbieten. Bei Überschreitung der Arbeitsplatzgrenzwerte sind mindestens Halbmasken mit P3-Filter oder partikelfiltrierende Halbmasken FFP3 einzusetzen.
- Liegt bei Tätigkeiten mit Nanomaterialien der Gruppe 3 die Exposition

zwischen dem vom AGS bekannt gemachten Beurteilungsmaßstab von $0,5 \text{ mg/m}^3$ und dem Arbeitsplatzgrenzwert der alveolengängigen Staubfraktion (A-Staubfraktion), sind mindestens Halbmasken mit P2-Filter oder partikelfiltrierende Halbmasken FFP2 zu verwenden. Bei Überschreitung des Arbeitsplatzgrenzwerts ist geeigneter Atemschutz gemäß DGUV Regel 112-190 einzusetzen.

- Bei Tätigkeiten mit Nanomaterialien der Gruppe 4 sind die Vorgaben des Abschnitts 9.2 der TRGS 519 anzuwenden.

Körperschutz: Bei Staubbildung fordert die TRGS 527 einen staubdichten Schutzanzug des Typs 5 (EN ISO 13982-1).

Handschutz: Bei Tätigkeiten mit pulverförmigen Nanomaterialien empfiehlt die TRGS 527 aus arbeitshygienischen Gründen das Tragen von Schutzhandschuhen. Wenn Nanomaterialien in flüssiger Form vorliegen, muss das Handschuhmaterial gegenüber dem enthaltenen Lösungsmittel beständig sein.

Unbeabsichtigte Freisetzung

Wurden Nanomaterialien unbeabsichtigt freigesetzt (z.B. Verschütten eines staubenden Nanomaterials), müssen ungeschützte Personen den Arbeitsbereich verlassen. Falls notwendig sind Notfallmaßnahmen einzuleiten und die Beschäftigten in angrenzenden Arbeitsbereichen zu informieren. Erst nachdem sich die Staubwolke niedergeschlagen hat, darf der Arbeitsbereich wieder betreten werden. Auch danach muss noch mit einer Belastung an Nanomaterialien in der Luft gerechnet werden, da sich Nanomaterialien ähnlich wie Gase verhalten. Daher sind bei biobeständigen Nanomaterialien bei Reinigungsarbeiten außer Arbeitshose und -jacke, geschlossenen Sicherheits- oder Berufsschuhen und Schutzbrille zusätzlich ein staubdichter Schutzanzug Typ 5, Chemikalienschutzhandschuhe und eine dicht schließende Atemschutzmaske mit P3-Filter zu tragen. Der verunreinigte Arbeitsbereich ist abzusaugen oder feucht zu reinigen. Er darf erst nach Prüfung auf vollständige Beseitigung der Verunreinigung freigegeben werden. Das verschüttete Nanomaterial und das kontami-

nierte Reinigungsmaterial sind in einem dicht schließenden Behälter zu sammeln und sachgerecht zu entsorgen.

Schutzmaßnahmen gegen Brände und Explosionen

Kann die Entstehung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphären z.B. durch Aufwirbeln oder beim Einfüllen von brennbarem nanoskaligen Staub nicht vermieden werden, so kann im Rahmen einer Gefährdungsbeurteilung eine Zoneneinteilung vorgenommen werden. Abhängig von der Zoneneinteilung und der Wahrscheinlichkeit des Auftretens wirksamer Zündquellen, die in der Lage sind, das Staub/Luft-Gemisch zu entzünden, sind Explosionsschutzmaßnahmen vorzusehen. Staubablagerungen von brennbaren Stäuben sollten vorzugsweise mit Nassverfahren oder mit geeigneten Staubsaugern entfernt werden.

Das Auftreten wirksamer Zündquellen kann durch Verwendung von Geräten (Ventilatoren, Staubsaugern etc.) der geeigneten Gerätekategorien entsprechend der ATEX-Produktrichtlinie 2014/34/EU und durch Maßnahmen zur Vermeidung elektrostatischer Zündgefahren (TRGS 727) verhindert werden. Im Übrigen verweist die TRGS auf die einschlägigen Regelungen der Gefahrstoffverordnung (§ 11 und Anhang 1 Nr. 1.6), die TRGS 727 und, im Hinblick auf Maßnahmen des konstruktiven Explosionsschutzes, auf die TRGS 724.

Schutzmaßnahmen bei der Entsorgung

Die physikalische Beschaffenheit von Abfällen, die Nanomaterialien enthalten, kann durch Befeuchten, Stabilisieren oder Verfestigen (z.B. durch Einbinden in Beton) verändert und damit die Gefährlichkeit verringert werden. Zur Kennzeichnung der Abfälle verweist die TRGS 527 auf Abschnitt 4.6 der TRGS 201. Insbesondere gelten die darin enthaltenen Regeln für Sammlung, Aufbewahrung, Lagerung und den innerbetrieblichen Transport von nanomaterialhaltigen Abfällen. Wenn die Abfälle das Betriebsgelände verlassen und daher in Behältern gesammelt werden, die bereits den transportrechtlichen Vorschriften genügen, so reicht die transportrechtliche Kennzeichnung aus, jedoch müssen

beim Vorliegen nicht durch Gefahrzettel erfasster Gesundheitsgefahren (z.B. spezifische Zielorgantoxizität bei wiederholter Exposition, Sensibilisierung der Atemwege/Haut oder schwere Augenschädigung/Augenreizung) die Transportbehältnisse zusätzlich dementsprechend gekennzeichnet werden. Die Sammlung der zu entsorgenden Nanomaterialien muss in einem vorschriftsgemäß gekennzeichneten Behälter (z.B. PE-Spannringdeckelfass) erfolgen. Ansonsten sind für Nanomaterialien keine spezifischen abfallrechtlichen Vorgaben festgelegt. Die TRGS 527 empfiehlt, den beauftragten Entsorger über mögliche Staubbildung beim Öffnen von Gebinden hinzuweisen.

Überprüfung der Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen

Die TRGS 527 fordert eine Überprüfung der Wirksamkeit der vorhandenen technischen Schutzmaßnahmen mit Hilfe geeigneter Methoden. Hierzu können auch Arbeitsplatzmessungen gemäß TRGS 402 gehören. Arbeitsplatzmessungen sollen bevorzugt personenbezogen mit an der Person getragenen oder mobil im Atembereich der Beschäftigten mitgeführten Systemen erfolgen. Allerdings gibt es noch kein standardisiertes Messverfahren zur Ermittlung der spezifischen Belastung der Beschäftigten mit Nanomaterialien. Auch können Nanomaterialien mit den gängigen Probensammelsystemen noch nicht selektiv gesammelt werden. Vielmehr werden sie immer zusammen mit der mikroskaligen Fraktion erfasst. Für die Wirksamkeitskontrolle ist die alveolengängige Fraktion (A-Staub) heranzuziehen. Sind für die Nanomaterialien hinsichtlich ihrer Inhaltsstoffespezifische Beurteilungsmaßstäbe festgelegt, sind die Belastungen zusätzlich stoffspezifisch zu ermitteln, sofern geeignete Messverfahren zur Verfügung stehen.

Für Stoffe in Nanoform der Gruppen 1 und 2 sind die entsprechenden Arbeitsplatzgrenzwerte oder andere vorhandene Beurteilungsmaßstäbe zu berücksichtigen. Sofern für die Stoffe in Nanoform keine Beurteilungsmaßstäbe festgelegt sind, ist die Exposition durch die A-Staubfraktion zu ermitteln. Ist die

Bestimmungsgrenze unterschritten, kann davon ausgegangen werden, dass Maßnahmen gemäß den Grundpflichten und allgemeinen Schutzmaßnahmen der Gefahrstoffverordnung ausreichend sind. Wenn keine stoffspezifischen Beurteilungsmaßstäbe festgelegt sind, kann die Ermittlung der Partikelanzahlkonzentration (siehe unten) Hinweise zur Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen geben. Bei der Herstellung und Weiterverarbeitung zu Beginn der Wertschöpfungskette von Nanostoffen der Gruppe 3 ist der vom AGS bekannt gemachte Beurteilungsmaßstab von $0,5 \text{ mg/m}^3$ (bei einer mittleren Agglomeratdichte von $1,5 \text{ g/cm}^3$) für die alveolengängige Fraktion einzuhalten, wenn kein stoffspezifischer DNEL oder firmeninterner Richtwert für die Nanoform festgelegt ist. In den nachfolgenden Schritten der Wertschöpfungskette kann der Arbeitsplatzgrenzwert für die alveolengängige Fraktion von $1,25 \text{ mg/m}^3$ (bei einer Stoffdichte von $2,5 \text{ g/cm}^3$) angewendet werden, wenn die Massenanteile der freigesetzten Stoffe in Nanoform im A-Staub nur wenige Prozent betragen.

Für Nanomaterialien der Gruppe 4 ist die Wirksamkeitskontrolle durch Messungen der Massenkonzentration nicht geeignet.

Informationen zu Emissionsquellen und zur Wirksamkeit technischer Schutzmaßnahmen wie Lüftungsanlagen können auch durch Messungen der Partikelanzahlkonzentration mit direktanzeigenden Messgeräten wie z.B. Kondensationskernzähler (CPC) erhalten werden. Ergeben orientierende Messungen eine erhöhte Partikelkonzentration, können weitergehende stoffspezifische Untersuchungen, z.B. gravimetrische Proben mit nachfolgender Bestimmung der chemischen Identität wie Elementanalytik oder mikroskopische Verfahren erforderlich sein. Zur Bestimmung faserförmiger Nanomaterialien sind partikelzählende Messgeräte jedoch nicht geeignet. Auch zur Bewertung von Tätigkeiten, bei denen eine Staubbelastung aus anderen Quellen besteht (z.B. Staubbefreiung durch abtragende Verfahren, Freisetzung von Partikeln durch Verbrennungsprozesse) können sie nur eingeschränkt eingesetzt werden.

Betriebsanweisung und Information der Beschäftigten

Über die Vorgaben der TRGS 555 „Betriebsanweisung und Information der Beschäftigten“ hinaus stellt die TRGS 527 erweiterte Anforderungen, die spezifisch für Tätigkeiten mit Nanomaterialien gelten. Bei Tätigkeiten mit Gemischen oder Erzeugnissen, die zwar Nanomaterialien enthalten, für die aber eine Freisetzung der Nanomaterialien ausgeschlossen werden kann, ist die Betriebsanweisung bezogen auf das Gemisch oder Erzeugnis ausreichend. Können Nanomaterialien jedoch freigesetzt werden, ist in der Betriebsanweisung darauf Bezug zu nehmen. Für die arbeitsmedizinisch-toxikologische Beratung für Tätigkeiten mit Nanomaterialien sind auch bekannte und vermutete Gefahren für die Gesundheit durch Nanomaterialien und Aufnahmewege von Nanomaterialien in den Körper zu berücksichtigen.

Zur Erstellung der Betriebsanweisungen gibt die TRGS 527 folgende Hinweise:

- Für unterschiedliche Tätigkeiten mit Nanomaterialien können separate Betriebsanweisungen erforderlich sein, z.B. für Reinigungsarbeiten, Wartungs-, Instandhaltungs- und Reparaturarbeiten sowie für Entsorgungstätigkeiten.
- Bei der Bezeichnung der Gefahrstoffe in der Betriebsanweisung ist darauf hinzuweisen, dass sie auch Stoffe in Nanoform umfassen können.
- Im Abschnitt „Gefahren für Mensch und Umwelt“ der Betriebsanweisung sind die Gefährdungen durch Staub- oder Aerosolbelastung sowie, falls zutreffend, durch Staubexplosionen zu benennen.
- Bei der Beschreibung der Schutzmaßnahmen und Verhaltensregeln sind die Empfehlungen der TRGS 527 zu den anzuwendenden Schutzmaßnahmen zu berücksichtigen. Diese sind auf die spezifischen Tätigkeiten mit Nanomaterialien abzustimmen.
- Bei der Beschreibung des Verhaltens im Gefahrenfall sind die Empfehlungen der TRGS 527 zur unbeabsichtigten Freisetzung zu berücksichtigen. Soweit möglich ist das angegebene Verhalten im Gefahrenfall auf die spezifische Tätigkeit mit Nanomaterialien abzustimmen.

- Bei der Beschreibung der sachgerechten Entsorgung sind die diesbezüglichen Empfehlungen der TRGS 527 zu berücksichtigen.

Unterweisung für Tätigkeiten mit Nanomaterialien

Die TRGS 527 stellt auch erweiterte Anforderungen an die Unterweisung der Beschäftigten zu Tätigkeiten mit Nanomaterialien. Demnach sind folgende Themen zusätzlich zu vermitteln:

- Erläuterung, was Nanomaterialien sind,
- bekannte und vermutete Gefahren für die Sicherheit (Brand- und Explosionsgefahr) durch Nanomaterialien,
- Tätigkeiten mit möglicherweise erhöhter Exposition durch Nanomaterialien.

In der Unterrichtung der Beschäftigten über Sicherheitsmaßnahmen, die bei der Verwendung von Nanomaterialien angewendet werden müssen, sind alle in der entsprechenden Betriebsanweisung festgelegten technischen, organisatorischen und persönlichen Schutzmaßnahmen zu vermitteln.

Anhand der Gefährdungsbeurteilung muss der Arbeitgeber festlegen, für welche der Schutzmaßnahmen zusätzlich Übungen oder Trainingsmaßnahmen durchgeführt werden sollen. Praktische Übungen in Bezug auf persönliche Schutzmaßnahmen können sein:

- Anlegen von Atemschutz einschließlich der Prüfung auf richtigen Sitz,
- An- und Ausziehen von Schutzhandschuhen ohne Exposition der ungeschützten Haut durch kontaminierte Handschuhe,
- An- und Ablegen von Schutzanzügen ohne Exposition von Haut oder Kleidung durch kontaminierte Schutzkleidung.

Der Arbeitgeber legt die Häufigkeit der Übungen und Kriterien für eine Erfolgskontrolle fest.

Im DGUV-Nano-Portal können interaktive Lernmodule aufgerufen und zur Schulung eingesetzt werden.

Dr. Martin Albrecht
martin.albrecht@abfallrecht.org