

Ausgabe Januar 2020 *)

GMBI 2020 S. 102-118 [Nr. 6] (v. 19.2.2020)

Technische Regeln für Gefahrstoffe	Tätigkeiten mit Nanomaterialien	TRGS 527
---	--	-----------------

Die Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) geben den Stand der Technik, Arbeitsmedizin und Arbeitshygiene sowie sonstige gesicherte wissenschaftliche Erkenntnisse für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen, einschließlich deren Einstufung und Kennzeichnung, wieder. Sie werden vom

Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS)

aufgestellt und von ihm der Entwicklung entsprechend angepasst.

Die TRGS werden vom Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) im Gemeinsamen Ministerialblatt (GMBI) bekannt gegeben. Die TRGS konkretisieren im Rahmen ihres Anwendungsbereichs Anforderungen der Gefahrstoffverordnung. Bei Einhaltung der Technischen Regeln kann der Arbeitgeber insoweit davon ausgehen, dass die entsprechenden Anforderungen der Verordnung erfüllt sind. Wählt der Arbeitgeber eine andere Lösung, muss er damit mindestens die gleiche Sicherheit und den gleichen Gesundheitsschutz für die Beschäftigten erreichen.

Inhalt

- 1 Anwendungsbereich
- 2 Begriffsbestimmungen
- 3 Ermitteln von Gefährdungen
- 4 Gefährdungsbeurteilung
- 5 Schutzmaßnahmen
- 6 Wirksamkeitsüberprüfung
- 7 Betriebsanweisung und Information der Beschäftigten, Dokumentation

*) Hinweis: Die BekGS 527 wurde grundlegend überarbeitet:

- Der Anwendungsbereich wurde an die Verordnung (EU) Nr. 2018/1881 angepasst, somit gilt die TRGS 527 nicht für natürliche Nanomaterialien, insofern keine Tätigkeiten mit ihnen ausgeführt werden, und nicht für prozessbedingt entstehende Nanomaterialien.
- Hinweise zur Identifizierung von Nanomaterialien sind in die Abschnitte 3.2 und 3.4 überführt und aktualisiert worden. Sie werden durch den neuen Anhang 1 zu Nanomaterialien in Produktunterlagen ergänzt.
- Hilfestellungen zur Gruppeneinteilung von Nanomaterialien wurden in Abschnitt 3.3 zusammengeführt.
- In Abschnitt 3.3.4 wurde der Beurteilungsmaßstab für GBS-Nanomaterialien eingeführt.
- Hilfestellungen zur spezifischen Durchführung der Gefährdungsbeurteilung bei Tätigkeiten mit Nanomaterialien wurden in Abschnitt 4.2 und 4.3 zusammengeführt und ergänzt.
- Die Hinweise zu Schutzmaßnahmen sind in Abschnitt 5 überführt und aktualisiert worden.
- Die Hilfestellungen zur Wirksamkeitsprüfung der Schutzmaßnahmen wurden in Abschnitt 6 zusammengefasst und aktualisiert. Sie werden durch Anhang 4 zum Benchmark-Level-Konzept des Instituts für Arbeitsschutz der DGUV und durch Anhang 5 zur Ermittlung der Anzahlkonzentration faserförmiger Nanomaterialien ergänzt.

- Anhang 1: Hinweise auf Nanomaterialien in Produktunterlagen
 - Anhang 2: Musterschreiben an die Hersteller oder Lieferanten
 - Anhang 3: Fließschema mit vereinfachter Darstellung der Vorgehensweise bei der Gefährdungsbeurteilung für Nanomaterialien
 - Anhang 4: Benchmark-Level-Konzept des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung
 - Anhang 5: Ermittlung der Anzahlkonzentration faserförmiger Nanomaterialien
- Literaturhinweise

1	Anwendungsbereich	4
2	Begriffsbestimmungen	4
3	Ermitteln von Gefährdungen	5
3.1	Informationsquellen	5
3.2	Stoffspezifische Informationen.....	6
3.3	Gruppeneinteilung von Nanomaterialien.....	7
3.4	Tätigkeitsbezogene Informationen.....	9
4	Gefährdungsbeurteilung	10
4.1	Vorgehen	10
4.2	Gefährdung durch Einatmen	10
4.3	Gefährdung durch Hautkontakt und orale Aufnahme.....	11
4.4	Brand- und Explosionsgefährdungen.....	11
5	Schutzmaßnahmen	12
5.1	Allgemeines.....	12
5.2	Substitution	13
5.3	Technische Schutzmaßnahmen	13
5.4	Organisatorische Schutzmaßnahmen.....	14
5.5	Persönliche Schutzmaßnahmen	15
5.6	Unbeabsichtigte Freisetzung	15
5.7	Schutzmaßnahmen gegen Brände und Explosionen bei Tätigkeiten mit nanoskaligen Stäuben.....	16
5.8	Schutzmaßnahmen bei der Entsorgung	16
6	Wirksamkeitsüberprüfung	17
6.1	Allgemeines.....	17
6.2	Verwendung der Massenkonzentration.....	17
6.3	Verwendung der Partikelanzahlkonzentration	18
6.4	Verwendung der Faseranzahlkonzentration	18
7	Betriebsanweisung und Information der Beschäftigten, Dokumentation	18
7.1	Allgemeines.....	18
7.2	Betriebsanweisung für Tätigkeiten mit Nanomaterialien	19
7.3	Unterweisung für Tätigkeiten mit Nanomaterialien.....	19
7.4	Dokumentation	20
	Anhang 1: Hinweise auf Nanomaterialien in Produktunterlagen	21
	Anhang 2: Musterschreiben an die Hersteller oder Lieferanten	25
	Anhang 3: Fließschema mit vereinfachter Darstellung der Vorgehensweise bei der Gefährdungsbeurteilung für Nanomaterialien	26
	Anhang 4: Benchmark-Level-Konzept des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung	27
	Anhang 5: Ermittlung der Anzahlkonzentration faserförmiger Nanomaterialien	28
	Literaturhinweise	29

1 Anwendungsbereich

- (1) Diese TRGS enthält Regelungen zum Schutz der Beschäftigten am Arbeitsplatz bei Tätigkeiten mit Stoffen, Gemischen und Erzeugnissen, die aus Nanomaterialien bestehen oder enthalten. Nanomaterialien im Sinne dieser TRGS umfassen sowohl unter REACH registrierte als auch nicht registrierte Nanoformen von Stoffen entsprechend Anhang VI der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006, geändert durch (EU) 2018/1881 [1]. Die Europäische Kommission unterscheidet dabei nicht zwischen etablierten und neuen Materialien.
- (2) Diese TRGS gilt nicht für
 1. natürliche Nanomaterialien, sofern keine Tätigkeiten mit ihnen ausgeführt werden,
 2. bei Prozessen anfallende Nanomaterialien (z. B. Schweißrauche, Dieselrußpartikel), sofern sie nicht als Produkte gehandhabt werden. Für Tätigkeiten wie Schweißen, Schneiden und verwandte Verfahren an metallischen Werkstoffen gilt die TRGS 528 „Schweißtechnische Arbeiten“. Für Tätigkeiten in Arbeitsbereichen, in denen Abgase von Dieselmotoren auftreten können, gilt die TRGS 554 „Abgase von Dieselmotoren“.
- (3) Diese TRGS ergänzt die technischen Regeln für Gefahrstoffe hinsichtlich der Gefährdungen durch Nanomaterialien, insbesondere die TRGS 400 „Gefährdungsbeurteilung für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen“.

2 Begriffsbestimmungen

- (1) Basierend auf der Empfehlung der Europäischen Kommission zur Definition von Nanomaterialien wird die Nanoform eines Stoffes definiert als Form eines natürlichen oder hergestellten Stoffes, der Partikel in ungebundenem Zustand, als Aggregat oder Agglomerat enthält und bei dem mindestens 50 % der Partikel in der Anzahlgrößenverteilung ein oder mehrere Außenmaße im Bereich von 1 nm bis 100 nm haben, sowie abweichend auch Fullerene, Graphenfloccen und einwandige Kohlenstoff-Nanoröhren mit einem oder mehreren Ausmaßen unter 1 nm [2]. Ein Stoff kann eine oder mehrere verschiedene Nanoformen haben. Unter „Partikel“ wird dabei ein winziges Materialteilchen mit definierten physischen Grenzen verstanden [1].
- (2) Diese „Partikel“ werden in dieser TRGS in Anlehnung an DIN CEN ISO/TS 80004-1:2016-04 als Nanoobjekte bezeichnet [3]. Nanoobjekte können als granuläre Nanopartikel (3 Außenmaße im Nanomaßstab), Nanofasern (2 Außenmaße im Nanomaßstab) oder Nanoplättchen (1 Außenmaß im Nanomaßstab) auftreten.
- (3) Ein Aggregat besteht aus Nanoobjekten, die durch starke Bindungskräfte zusammengehalten werden oder teilweise miteinander verschmolzen sind. Seine Oberfläche kann deutlich kleiner als die Summe der Oberflächen seiner nicht miteinander verschmolzenen Partikel sein. Aggregate können nanoskalig oder mikroskalig vorliegen.
- (4) Ein Agglomerat besteht aus Nanoobjekten oder Aggregaten oder aus einer Mischung von Nanoobjekten und Aggregaten, die durch schwache Wechselwirkungen zusammengehalten werden. Seine Oberfläche entspricht näherungsweise der Summe der Oberflächen seiner einzelnen Partikel. Agglomerate können nanoskalig oder mikroskalig vorliegen.
- (5) Der Begriff mikroskalig wird in Abgrenzung zum Begriff nanoskalig verwendet. Dementsprechend schließt sich der mikroskalige Bereich ab 100 nm zu größeren Werten hin an den nanoskaligen Bereich an.
- (6) Der Begriff Gesamtmaterial kann sowohl einen Stoff als auch ein Gemisch bezeichnen. Handelt es sich um einen Stoff, kann er vollständig aus Nanoobjekten und deren Aggregaten

und Agglomeraten bestehen oder nur Anteile davon enthalten. Handelt es sich um ein Gemisch, besteht es aus Nanoobjekten und deren Aggregaten und Agglomeraten sowie weiteren Inhaltsstoffen.

(7) Unter stoffspezifischer Toxizität werden die stoffspezifischen Gesundheitsgefahren verstanden, die gemäß CLP-Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 zu einer Einstufung führen können.

(8) Die Biobeständigkeit von Nanomaterialien beschreibt deren Eigenschaft, sich in der Lungen- oder Gewebeflüssigkeit auflösen zu können. Zur Abschätzung der Biobeständigkeit wird in dieser TRGS das Kriterium der Wasserlöslichkeit verwendet. Nanomaterialien mit einer Wasserlöslichkeit kleiner 100 mg/l sind im Sinne dieser TRGS praktisch unlöslich und damit biobeständig. Nanomaterialien mit einer Wasserlöslichkeit größer 100 mg/l sind löslich.

(9) Als GBS-Nanomaterialien werden solche Feststoffe bezeichnet, die den Kriterien granulärer biobeständiger Stäube (GBS) entsprechen und die zusätzlich unter die Definition von Nanomaterialien fallen [4].

(10) Der Begriff faserförmige Nanomaterialien beschreibt ein Nanomaterial, das aus Nanofasern besteht oder enthält. Der Begriff Fasern schließt Röhren und faserförmig agglomerierte Objekte, z. B. Faserbündel, mit ein.

(11) Unter WHO-Fasern werden Fasern verstanden, die gemäß Abschnitt 2.3 Absatz 1 der TRGS 905 "Verzeichnis krebserzeugender, erbgutverändernder oder fortpflanzungsgefährdender Stoffe" eine Länge von $> 5 \mu\text{m}$, einen Durchmesser $< 3 \mu\text{m}$ und ein Länge-zu-Durchmesser-Verhältnis von $> 3:1$ haben. Unter WHO-analogen Fasern werden in dieser TRGS Fasern verstanden, die diesen Kriterien entsprechen, deren Durchmesser jedoch kleiner als 200 nm ist.

(12) Im Übrigen sind in dieser TRGS die Begriffe so verwendet, wie sie im Begriffsglossar zu den Regelwerken der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV), der Biostoffverordnung (BioStoffV) und der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) des Ausschusses für Betriebssicherheit (ABS), Ausschusses für biologische Arbeitsstoffe (ABAS) und Ausschusses für Gefahrstoffe (AGS) bestimmt sind [5].

3 Ermitteln von Gefährdungen

3.1 Informationsquellen

(1) Der Arbeitgeber hat vor Aufnahme einer Tätigkeit zu ermitteln, ob Beschäftigte Tätigkeiten mit Nanomaterialien durchführen oder ob Tätigkeiten durchgeführt werden, bei denen Nanomaterialien entstehen oder freigesetzt werden können.

(2) Als Informationsquelle dient in der industriellen und gewerblichen Lieferkette insbesondere das Sicherheitsdatenblatt. Hier sollten Informationen enthalten sein, ob ein Stoff in Nanoform vorliegt oder ein Gemisch Nanoformen eines Stoffes enthält. Besonders in den Abschnitten 3 und 9 des Sicherheitsdatenblattes sollten Informationen über das Vorhandensein von Nanoformen angegeben sein. Im Abschnitt 9 sollte unter "Aussehen" der Aggregatzustand "fest" mit dem Hinweis Nanomaterial/Nanoform versehen sein [6].

(3) Weitere Herstellerinformationen (z. B. Technische Merkblätter, Werbebroschüren oder Verpackungen) können Hinweise geben, ob ein Stoff oder Gemisch aus Nanomaterialien besteht oder enthält (siehe Anhang 1).

(4) Informationen zu Bau- und Reinigungsprodukten, die mit dem Begriff „Nano“ ausgelobt werden oder nanotechnologische Eigenschaften nutzen, sind in der Liste „Nanoteilchen in Bau- und Reinigungsprodukten“ der Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft zu finden [7].

(5) Bei Inhaltsstoffen, die üblicherweise in Nanoform vorkommen können (siehe Hinweise auf Nanomaterialien in Produktunterlagen im Anhang 1), soll bei fehlenden oder unzureichenden Informationen der Hersteller oder Lieferant kontaktiert werden, siehe Musterschreiben im Anhang 2.

3.2 Stoffspezifische Informationen

(1) Ein Stoff oder ein Gemisch, das aus Nanomaterialien besteht oder diese enthält, ist nicht grundsätzlich als gefährlicher Stoff oder gefährliches Gemisch gemäß CLP-Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 eingestuft. Dennoch können auch nicht eingestufte Stoffe Gefahrstoffe im Sinne der GefStoffV sein.

(2) Bei Stoffen oder Gemischen, die aus Nanomaterialien bestehen oder diese enthalten, sind folgende Informationen für die Gefährdungsbeurteilung zu berücksichtigen, sofern sie vorliegen:

1. Einstufung der Nanoform gemäß CLP-Verordnung (EG) Nr. 1272/2008,
2. die Partikelanzahlgrößenverteilung gemäß REACH-Verordnung Anhang VI Unterabschnitt 2.4.2 geändert durch Verordnung (EU) 2018/1881 (z. B. Ergebnisse aus Granulometrie),
3. spezifisches Oberflächen-Volumen-Verhältnis oder spezifisches Oberflächen-Masse-Verhältnis,
4. Gestalt, Seitenverhältnis der Außenmaße und andere morphologische Merkmale, speziell Hinweise auf WHO-Fasern,
5. Oberflächenfunktionalisierung oder -behandlung,
6. Wasserlöslichkeit oder Lösungsgeschwindigkeit (zur Bewertung der Biobeständigkeit siehe Abschnitt 3.3.1 Absatz 2 bis 4),
7. Angaben zum Staubungsverhalten (z. B. Staubungskenngrößen),
8. Angaben zur Brennbarkeit (z. B. Entzündbarkeit, Mindestzündenergie und Staub-Explosionsfähigkeit),
9. Angaben zur Reaktivität (große Oberflächen und ggf. katalytische Aktivitäten können zur beschleunigten Reaktion führen).

Entsprechende stoffspezifische Informationen können für registrierte Stoffe bei der ECHA abrufbar sein, wenn entsprechende Prüfungen vorgenommen wurden [8] oder beim Hersteller oder Lieferanten nachgefragt werden, siehe Musterschreiben im Anhang 2. Diese Informationen können zwischen nanoskaligen und mikroskaligen Stoffen, aber auch zwischen verschiedenen Nanoformen eines Stoffes unterschiedlich sein.

(3) Die Partikelgrößenverteilung des Gesamtmaterials kann sich bei Verarbeitungsschritten, z. B. beim Dispergieren, verändern.

(4) Bestimmte Herstellungsverfahren können auf Nanomaterialien hindeuten, siehe auch Anhang 1 Abschnitt 3:

1. Top-down-Verfahren (Erzeugung von Nanoobjekten durch Verkleinerung): Typische Verfahren können hochenergetische Mahlprozesse sein, wie z. B. mit Hochleistungs-Kugelmöhlen.
 2. Bottom-up-Verfahren (Aufbau von Nanoobjekten aus einzelnen Atomen oder Molekülen): Typische Verfahren sind Gasphasensynthesen oder Gasphasenabscheidung. Bottom-up-Verfahren können auch in flüssiger Phase Nanoobjekte synthetisieren. Typische Verfahren sind Sol-Gel-Prozesse oder die Herstellung von Mikroemulsionen und Fällungsprozesse.
- (5) Agglomerate können durch Scherkräfte oder wässrige Lösungen leichter dispergiert werden als Aggregate. Eine Freisetzung von Nanoobjekten aus Aggregaten ist auf Grund ihrer festeren Einbindung weniger wahrscheinlich. In welchem Maße Agglomerate und ggf. Aggregate bei Handhabungs- und Verarbeitungsprozessen oder nach der Exposition im Organismus zu Nanoobjekten vereinzelt werden oder zerfallen, ist material- und prozessabhängig. Solange hierzu keine ausreichenden Informationen vorliegen, sind Aggregate und Agglomerate in der Gefährdungsbeurteilung mit zu berücksichtigen.

3.3 Gruppeneinteilung von Nanomaterialien

3.3.1 Allgemeines

(1) Auf Grundlage ihrer stoffspezifischen Toxizität, der Gestalt und Struktur sowie der Biobeständigkeit lassen sich Nanomaterialien bei der Gefährdungsbeurteilung wie folgt einteilen:

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

Beschichtungen und Ladung der Oberfläche der Nanoobjekte können die gesundheitliche Wirkung beeinflussen. Bei modifizierten Oberflächen ist die daraus möglicherweise veränderte stoffspezifische Toxizität zu berücksichtigen [9].

(2) Als Maßstab für die Biobeständigkeit wird in dieser TRGS die Wasserlöslichkeit herangezogen. Bei einer guten Wasserlöslichkeit kann meist auch von einer guten Löslichkeit in biologischen Medien ausgegangen werden. In Einzelfällen kann jedoch bei einer schlechten Wasserlöslichkeit trotzdem eine gute Löslichkeit in biologischen Medien vorliegen. So ist z. B. metallisches Cobalt in Wasser unlöslich, jedoch gut löslich in Serum.

(3) Eine einheitliche Festlegung von Konzentrationsbereichen zur Charakterisierung der Wasserlöslichkeit liegt international nicht vor. Eine europaweit einheitliche Charakterisierung der Wasserlöslichkeit ist im Europäischen Arzneibuch [10] festgelegt worden. Diese TRGS lehnt sich an diese Festlegung an:

1. Stoffe mit einer Wasserlöslichkeit kleiner 100 mg/l sind „praktisch unlöslich“
2. Stoffe mit einer Wasserlöslichkeit größer 100 mg/l werden in dieser TRGS abweichend vom Europäischen Arzneibuch ohne weitere Unterscheidung als löslich bezeichnet.

(4) Nanomaterialien mit einer Wasserlöslichkeit kleiner 100 mg/l sind im Sinne dieser TRGS praktisch unlöslich und damit biobeständig. Sie sind in die Gruppen 2, 3 oder 4 einzuordnen. Nanomaterialien mit einer Wasserlöslichkeit größer 100 mg/l sind löslich und der

Gruppe 1 zuzuordnen. Liegen Erkenntnisse zur Löslichkeit der Nanomaterialien in biologischen Medien vor, sind diese vorrangig zur Abschätzung der Biobeständigkeit zu verwenden.

3.3.2 Lösliche Nanomaterialien (Gruppe 1)

Lösliche Nanomaterialien verlieren ihre Partikeleigenschaften nach Einatmen. Daher erfolgt die Gefährdungsbeurteilung für lösliche Nanomaterialien anhand der stoffspezifischen Toxizität der zugehörigen mikroskaligen Stoffe entsprechend der Grundsätze der TRGS 400. Beispiel für ein lösliches Nanomaterial ist amorphes Siliziumdioxid in Nanoform (CAS-Nr. 7631-86-9).

3.3.3 Biobeständige Nanomaterialien mit stoffspezifischer Toxizität (Gruppe 2)

(1) Bei der Bewertung der Gesundheitsgefahren biobeständiger nicht faserförmiger Nanomaterialien der Gruppe 2 steht die stoffspezifische Toxizität auf Grund ihrer chemischen Zusammensetzung im Vordergrund. Ein Beispiel für ein Nanomaterial der Gruppe 2 ist Nickelmetall in Nanoform.

(2) Ist die mikroskalige Form bezüglich Gesundheitsgefahren eingestuft, ist davon auszugehen, dass zugehörige Nanoformen in Gruppe 2 einzuordnen sind. Für mikroskalige Stoffe mit stoffspezifischer Toxizität existieren stoffspezifische Arbeitsplatzgrenzwerte oder andere Beurteilungsmaßstäbe für die A- bzw. E-Fraktion.

(3) Da die gesundheitsgefährdende Wirksamkeit von Nanomaterialien aufgrund ihrer größeren spezifischen Oberfläche im Vergleich zu größeren Partikeln erhöht sein kann, sind vorhandene toxikologische Daten der jeweiligen Nanoform zu berücksichtigen.

3.3.4 Biobeständige Nanomaterialien ohne stoffspezifische Toxizität (GBS-Nanomaterialien, Gruppe 3)

(1) In Gruppe 3 fallen biobeständige nicht faserförmige Nanomaterialien ohne stoffspezifische Toxizität. Diese werden als granuläre biobeständige Nanomaterialien (GBS-Nanomaterialien) bezeichnet. Sie besitzen keine über die Partikelwirkung hinausgehende stoffspezifische Toxizität. Daher werden für GBS-Nanomaterialien keine stoffspezifischen Grenzwerte abgeleitet. Typische Materialien in dieser Stoffklasse sind beispielsweise Industrieruß (Carbon Black), Aluminiumoxid und Aluminiumsilikat. Sie wurden früher auch als „inerte Stoffe“ bezeichnet.

(2) Bei der Bewertung der Gesundheitsgefahren durch GBS-Nanomaterialien steht nach Einatmen eine chronische, entzündliche Wirkung in der Lunge im Vordergrund [11].

(3) Der Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) hat zur Beurteilung der Exposition durch GBS-Nanomaterialien 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 % nanoskaliger GBS) bekannt gemacht [4, 12].

3.3.5 Biobeständige faserförmige Nanomaterialien (Gruppe 4)

(1) Faserförmige Nanomaterialien, deren freigesetzte Faserstäube biobeständige WHO-analoge Fasern sind, können eine asbestartige Wirkung entfalten. Eine asbestartige Wirkung kann nur dann ausgeschlossen werden, wenn der Hersteller dies für sein jeweiliges Produkt

durch Untersuchungen belegen kann. Liegen keine morphologischen oder toxikologischen Prüfungen vor, ist aus Vorsorgegründen von einer asbestartigen Wirkung auszugehen.

(2) Aufgrund fehlender Daten können Fasern derzeit noch nicht allein auf Basis ihrer Biegsamkeit (Flexibilität oder Rigidität) oder ihres Durchmessers als toxikologisch unbedenklich klassifiziert werden.

(3) Für biobeständige faserförmige Nanomaterialien, deren Länge 5 µm übersteigt, deren Durchmesser weniger als 3 µm beträgt und deren Länge-zu-Durchmesser-Verhältnis 3:1 übersteigt, ist in der Luft am Arbeitsplatz eine Konzentration von weniger als 10.000 Fasern/m³ anzustreben.

3.4 Tätigkeitsbezogene Informationen

(1) Zu betrachten sind alle Arbeitsplätze entlang der Wertschöpfungskette, in denen Tätigkeiten mit Nanomaterialien durchgeführt werden. Diese umfasst sowohl Forschung und Entwicklung, Produktion, industrielle und gewerbliche Be- und Weiterverarbeitung als auch Wiederverwertung und -aufbereitung sowie Entsorgung. Dazu gehören Tätigkeiten im Bereich

1. der Herstellung von Nanomaterialien,
2. der Weiterverarbeitung von Nanomaterialien (Herstellung von Gemischen und Erzeugnissen),
3. der Weiterverarbeitung und Verwendung von Nanomaterialien, die Gemische sind oder sie enthalten,
4. der Bearbeitung von Erzeugnissen, die Nanomaterialien enthalten,
5. der Entsorgung und Wiederverwertung von Nanomaterialien sowie Gemischen und Erzeugnissen, die Nanomaterialien enthalten.

(2) 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.

(3) Eine Exposition von Beschäftigten kann während des Herstellungsprozesses insbesondere an den Schnittstellen zwischen offenen und geschlossenen Verfahrensschritten, z. B. bei der Abfüllung, bei der Probenahme, bei Reinigungs- und Wartungsarbeiten sowie bei Störungen des bestimmungsgemäßen Betriebes, z. B. Leckagen stattfinden. Die Freisetzungswahrscheinlichkeit von Nanomaterialien ist bei Herstellung in flüssiger Phase im Vergleich zu Gasphasenverfahren geringer, sofern dabei keine Aerosol- oder Tröpfchenbildung erfolgt, z. B. durch Versprühen oder Kavitationsprozesse.

(4) Bei der Verarbeitung von festen Stoffen oder Gemischen, die Nanomaterialien sind oder enthalten, z. B. bei Tätigkeiten wie Einwiegen, Mischen, Dosieren oder Verpacken von Pulvern, Granulaten oder Flocken, ist die Wahrscheinlichkeit der Freisetzung sowohl vom Staubungsverhalten, der Menge des Feststoffes bzw. Massenanteil des Nanomaterials in den Gemischen als auch von der Art der Tätigkeit abhängig.

(5) Bei der Verarbeitung von Gemischen, die Nanomaterialien enthalten, die in einer flüssigen Matrix enthalten sind, z. B. Lösungen, Suspensionen, Pasten oder Schlämme, kann bei Vermeidung von Aerosolbildung eine inhalative Aufnahme in der Regel ausgeschlossen werden [13,14]. Wenn diese eintrocknen, z. B. nachdem sie mit Wischtüchern aufgenommen wurden, können bei Handhabung Nanomaterialien freigesetzt werden.

(6) 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 (siehe Abschnitt 3.3.5) enthalten, ist jedoch präventiv von einer möglichen Freisetzung dieser Fasern auszugehen, soweit dies nicht auf Grund hinreichender Erkenntnisse ausgeschlossen werden kann.

(7) Die Gefährdungsbeurteilung soll auch Tätigkeiten bei Betriebszuständen wie Wartungs-, Reinigungs- und Instandsetzungsarbeiten, An- und Abfahrvorgänge von Prozessen sowie bei der Beseitigung von Betriebsstörungen umfassen. Diese Tätigkeiten werden häufig außerhalb des Normalbetriebes auch von Beschäftigten beauftragter Unternehmen durchgeführt. Gegebenenfalls ist für diese Tätigkeiten eine gesonderte Gefährdungsbeurteilung erforderlich. Bei der Gefährdungsbeurteilung ist insbesondere zu berücksichtigen, welchen Expositionen diese Beschäftigten ausgesetzt sind, wenn vorhandene technische Schutzmaßnahmen außer Betrieb sind und ob die verwendeten persönlichen Schutzmaßnahmen wirksam sind.

4 Gefährdungsbeurteilung

4.1 Vorgehen

(1) Die Gefährdungsbeurteilung ist entsprechend der Grundsätze der TRGS 400 durchzuführen. Dementsprechend ist das gesamte Arbeitssystem bestehend aus eingesetztem Gefahrstoff, durchgeführter Tätigkeit, Arbeitsmittel und bestehender Schutzeinrichtungen zu betrachten.

(2) Die Beurteilung der Gefährdung durch Nanomaterialien erfolgt ergänzend auf der Grundlage der unter Abschnitt 3 ermittelten Informationen.

(3) Eine vereinfachte Darstellung der Vorgehensweise bei der Gefährdungsbeurteilung für Nanomaterialien ist in Anhang 3 als Fließschema beigelegt.

4.2 Gefährdung durch Einatmen

(1) Insbesondere die Gefährdung durch Einatmen ist zu bewerten. Sie hängt ab von

1. der Einstufung gemäß CLP-Verordnung (EG) Nr. 1272/2008,
2. der Lösungsgeschwindigkeit in Wasser bzw. in biologischen Medien,
3. den Informationen zu Form und Struktur,
4. Höhe und Dauer der inhalativen Exposition.

(2) Die Höhe der inhalativen Exposition wird bestimmt durch:

1. die Verwendungsform,
2. das Staubungsverhalten,
3. die Freisetzung,
4. die räumlichen Bedingungen,
5. die Arbeitsbedingungen (z. B. schwere körperliche Arbeit),
6. die Lüftungsbedingungen,

7. die Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen.

(3) Bei Tätigkeiten bei denen Nanomaterialien oder Aerosole, die diese enthalten, in die Luft am Arbeitsplatz freigesetzt werden, ist von einer Gefährdung auszugehen.

(4) Die Beurteilung der Gefährdungen durch inhalative Exposition durch Nanomaterialien hat gemäß TRGS 402 zu erfolgen. Zur Bewertung der Exposition sind zu berücksichtigen:

1. Arbeitsplatzgrenzwerte (TRGS 900) oder Akzeptanz- und Toleranzkonzentrationen (TRGS 910),
2. für GBS-Nanomaterialien (Gruppe 3) der vom AGS bekannt gemachte Beurteilungsmaßstab,
3. fachkundige Grenzwertvorschläge z. B. der Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe (MAK-Kommission) oder anderer wissenschaftlicher Expertenkommissionen,
4. DNEL-Werte (Derived No Effect Level), die der industrielle Hersteller im Rahmen der REACH-Registrierung abgeleitet und z. B. im Sicherheitsdatenblatt angegeben hat [15] oder
5. stoffspezifische firmeninterne Empfehlungs- oder Aktionswerte, die der Arbeitgeber im Rahmen seiner Gefährdungsbeurteilung selbst auf belastbarer Grundlage festlegt,
6. die Empfehlungen des Benchmark-Level-Konzepts des Instituts für Arbeitsschutz der DGUV (IFA) [16], siehe Anhang 4.

(5) Bei Tätigkeiten mit biobeständigen faserförmigen Nanomaterialien, deren Länge 5 µm übersteigt, deren Durchmesser weniger als 3 µm beträgt und deren Länge-zu-Durchmesser-Verhältnis 3:1 übersteigt, ist aus Vorsorgegründen von einer asbestartigen Wirkung auszugehen und daher für die Beurteilung der Exposition die Exposition-Risiko-Beziehung für Asbest anzuwenden, siehe Anhang 5.

4.3 Gefährdung durch Hautkontakt und orale Aufnahme

(1) Die Gefährdung durch die Aufnahme über die gesunde Haut wird als gering angesehen.

(2) Die Ableitung der Schutzmaßnahmen bei Hautkontakt kann entsprechend der TRGS 401 "Gefährdung durch Hautkontakt – Ermittlung, Beurteilung, Maßnahmen" anhand der Stoffeigenschaft, Wirkfläche und Wirkdauer erfolgen. Zusätzlich sind die Angaben zu Schutzhandschuhen in Abschnitt 5.5 zu beachten.

(3) Die Gefährdung durch Verschlucken ist, wie bei mikroskaligen Stoffen, durch die Umsetzung der Allgemeinen und Grundlegenden Schutzmaßnahmen nach TRGS 500 auszuschließen.

4.4 Brand- und Explosionsgefährdungen

(1) Brennbare Stäube können bereits ab einer Partikelgröße von weniger als 500 µm staubexplosionsfähig sein und, wenn sie in Luft aufgewirbelt werden, explosionsfähige Staub/Luft-Gemische bilden.

(2) Wegen der geringen Teilchengröße bzw. der möglicherweise höheren spezifischen Oberfläche können Nanomaterialien, ihre Aggregate und Agglomerate zündempfindlicher sein und heftiger reagieren als mikroskalige Stäube.

- (3) Für die Gefährdungsbeurteilung siehe § 6 GefStoffV sowie TRGS 720 und TRGS 721.

5 Schutzmaßnahmen

5.1 Allgemeines

(1) Bei der Festlegung von Schutzmaßnahmen für Nanomaterialien der Gruppe 1 und 2 sind die Schutzmaßnahmen an der Einstufung des Gesamtmaterials gemäß CLP-Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 auszurichten, sofern keine abweichende Einstufung der Nanoform vorliegt.

(2) Werden Nanomaterialien unter laborüblichen Bedingungen gehandhabt, gelten die Schutzmaßnahmen der TRGS 526 „Laboratorien“. Laborübliche Bedingungen werden in Abschnitt 3.3.3 und die mindestens umzusetzenden Schutzmaßnahmen für neue und noch nicht ausreichend untersuchte Stoffe in Abschnitt 3.1 Absatz 5 der TRGS 526 beschrieben. Hilfestellungen für Tätigkeiten mit Nanomaterialien im Labor sind zusätzlich in der DGUV Information 213-853 [17] zu finden.

(3) Bei Tätigkeiten mit Nanomaterialien sind die Grundpflichten nach § 7 GefStoffV sowie die Allgemeinen Schutzmaßnahmen nach § 8 GefStoffV und Abschnitt 6 der TRGS 500 immer zu berücksichtigen. Zusätzlich sind die Schutzmaßnahmen nach Abschnitt 5.6 bis 5.8 dieser TRGS immer zu beachten. Bei folgenden Tätigkeiten werden die Maßnahmen nach Satz 1 und 2 als ausreichend angesehen:

1. Tätigkeiten mit löslichen Nanomaterialien ohne stoffspezifische Toxizität,
2. Tätigkeiten mit Nanomaterialien, die festkörpergebunden vorliegen (z. B. in Erzeugnissen), wenn Untersuchungsergebnisse belegen, dass die festkörpergebundenen Nanomaterialien durch die Tätigkeit (beispielsweise durch die mechanische Bearbeitung des Erzeugnisses) nicht aus der Matrix freigesetzt werden, sondern weiterhin fest in der Matrix eingebunden sind,
3. Tätigkeiten mit Nanomaterialien, die in flüssiger Phase vorliegen, 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,
4. Tätigkeiten mit Nanomaterialien, wenn die festgelegten Beurteilungsmaßstäbe (siehe Abschnitt 4.2 Absatz 4) eingehalten werden,
5. 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. Das Messverfahren muss für die Überwachung des stoffspezifischen Arbeitsplatzgrenzwertes oder Beurteilungsmaßstabes der mikroskaligen Fraktion gemäß TRGS 402 Abschnitt 4.4 Absatz 6 bzw. Abschnitt 5.3 Absatz 2 und 3 geeignet sein.
6. Tätigkeiten mit Nanomaterialien der Gruppe 3, wenn die orientierende Messung der Partikelanzahlkonzentration keinen signifikanten Anstieg gegenüber der Hintergrundbelastung ergeben hat (siehe Abschnitt 6.3 und Anhang 4).

(4) Sind die Kriterien nach den Absätzen 2 und 3 nicht oder nur teilweise zutreffend, ist zu prüfen, ob zusätzlich Schutzmaßnahmen nach §§ 9 und 10 GefStoffV bzw. staubmindernde Schutzmaßnahmen nach Anhang I Nummer 2 GefStoffV und Abschnitt 9 der TRGS 500 zu treffen sind. Zusätzliche Hinweise geben Abschnitt 5.2 bis 5.5.

5.2 Substitution

Bei der Ermittlung der Substitutionsmöglichkeiten sind als Kriterien die Einstufung gemäß CLP-Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 und das Freisetzungspotenzial unter Berücksichtigung der physikalisch-chemischen Eigenschaften und der Verfahrens- und Verwendungsbedingungen zu berücksichtigen. Die Substitutionsprüfung ist unter Berücksichtigung der TRGS 600 „Substitution“ durchzuführen. Derzeit werden folgende Möglichkeiten als praktisch umsetzbar betrachtet:

1. Staubende Nanomaterialien können ggf. in flüssigen Medien dispergiert, in festen Matrices gebunden oder durch weniger staubende Materialien ersetzt werden, z. B. durch Befeuchtung, Granulate, Pasten oder bereits fertig gemischte Materialien.
2. Liegen die Nanomaterialien in einer flüssigen Formulierung vor, sind solche Anwendungen zu bevorzugen, die nicht zur Erzeugung eines Aerosols führen.
3. Kann die Verwendung biobeständiger faserförmiger Nanomaterialien, entsprechend Abschnitt 2 Absatz 10 und 11, 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.

5.3 Technische Schutzmaßnahmen

(1) Ist die Substitution nicht möglich und besteht eine erhöhte Gefährdung durch inhalative Exposition, sind Nanomaterialien entsprechend § 9 Absatz 2 GefStoffV grundsätzlich in geschlossenen Systemen oder Anlagen herzustellen oder zu verarbeiten. Bei Tätigkeiten mit Kleinmengen (im Gramm- bzw. Milliliter-Bereich) oder bei Tätigkeiten gemäß Abschnitt 5.1 Absatz 3, kann hiervon abgewichen werden. Ist die Anwendung eines geschlossenen Systems technisch nicht möglich, ist dies in der Dokumentation der Gefährdungsbeurteilung zu begründen.

(2) Vorhandene, nicht geschlossene Anlagen sind, wenn technisch möglich, mit geeigneten technischen Schutzmaßnahmen nachzurüsten. Hierzu zählen auch bauliche Maßnahmen wie z. B. Einhausungen oder eine räumliche Trennung sowie Lüftungstechnische Maßnahmen wie z. B. Laborabzüge, Sicherheitswerkbänke, Gloveboxen, Absaugchränke, Objektabsaugungen, Abzugskabinen oder ähnliche dem Stand der Technik entsprechende Apparaturen.

(3) Bei notwendigen Tätigkeiten außerhalb geschlossener Systeme z. B. beim Um- und Abfüllen muss direkt an der Freisetzungsquelle abgesaugt werden. Hierbei sind die Anforderungen an die Gestaltung von Verfahren außerhalb von geschlossenen Systemen gemäß Abschnitt 5.3 der TRGS 500 „Schutzmaßnahmen“ zu beachten.

(4) Sind Anwendungen mit Aerosolbildung, z. B. mit Spritzapplikationen nicht zu vermeiden, sind zusätzliche Schutzmaßnahmen zu treffen. Hinweise für Schutzmaßnahmen bei der Verarbeitung von Beschichtungsstoffen sind z. B. in der DGUV Regel 109-013 oder dem DGUV Informationsblatt FB HM-071 beschrieben [18]. Bei Aerosolbildung sind Schutzmaßnahmen in Anlehnung an die Schutzleitfäden für Tätigkeiten mit Biozid-Produkten in Betracht zu ziehen [19].

(5) Bei Tätigkeiten mit Nanomaterialien der Gruppen 1 und 2, die als krebserzeugend eingestuft sind, und der Gruppe 4 sind bei Luftrückführung die Vorgaben der TRGS 560 „Luftrückführung bei Tätigkeiten mit krebserzeugenden, erbgutverändernden und fruchtbarkeitsgefährdenden Stäuben“ zu berücksichtigen. Bei Anlagen und Geräten, z. B. Entstauber zur Luft-

rückführung, muss der Durchlassgrad der Filteranlage bzw. des Gerätes (nicht nur des Filtermaterials) < 0,005 % betragen. Ortsfeste Filteranlagen sind auf Filterbruch und -leckagen zu überwachen. Dies kann z. B. durch einen nachgeschalteten Filter oder eine Überwachung des Reststaubgehalts erfolgen. Bei der Entsorgung von Filterabfällen sind die Hinweise in Abschnitt 5.8 zu beachten.

(6) Zur Vermeidung der Aufwirbelung von Ablagerungen sind Reinigungsarbeiten entweder feucht oder mit einem Staubsauger oder Entstauber der Staubklasse M (nach DIN EN 60335-2-69) durchzuführen. Für Nanomaterialien der Gruppen 2 und 4, die in der Nanoform oder der Mikroform als krebserzeugend Kategorie 1A oder 1B eingestuft sind, sind Staubsauger oder Entstauber der Staubklasse H (nach DIN EN 60335-2-69) zu verwenden. Bei der Reinigung mit Feucht- oder Nassverfahren sollte kein starker Wasserstrahl eingesetzt werden, da sonst Reibungen entstehen und möglicherweise Staub aufgewirbelt werden kann. Das Reinigen des Arbeitsbereiches durch Kehren ohne Staub bindende Maßnahmen oder Abblasen von Staubablagerungen mit Druckluft ist nicht zulässig, siehe TRGS 500 Abschnitt 9.2.5.

(7) Bei der abtragenden Bearbeitung von Erzeugnissen, die Nanomaterialien enthalten, sind Maschinen und Geräte so auszuwählen und zu betreiben, dass möglichst wenig Staub freigesetzt wird. Staub emittierende Anlagen, Maschinen und Geräte müssen mit einer wirksamen Absaugung [20] versehen sein, soweit dies nach dem Stand der Technik möglich ist und die Staubfreisetzung nicht durch andere Maßnahmen verhindert wird. Darauf ist besonders bei der Bearbeitung von Erzeugnissen, die Nanomaterialien der Gruppe 4 enthalten, zu achten. Ergänzend zu technischen Schutzmaßnahmen sind ggf. auch persönliche Schutzmaßnahmen nach Abschnitt 5.5 Absatz 1 Nummer 1 erforderlich.

(8) Ist eine vollständige Erfassung an der Emissionsquelle nicht möglich, so können an ortsveränderlichen Arbeitsplätzen Geräte zur Absaugung in unmittelbarer Nähe der Emissionsquelle verwendet werden, z. B. Erfassungseinrichtungen mit einem Absaugarm oder mobile Luftreiniger. An stationären Arbeitsplätzen sind bevorzugt Lüftungstechnische Maßnahmen anzuwenden, z. B. technische Be-/Entlüftung.

5.4 Organisatorische Schutzmaßnahmen

(1) Die Beschäftigten sind gezielt über die besonderen physikalisch-chemischen und gesundheitsgefährdenden Eigenschaften von Nanomaterialien, die möglichen Langzeitwirkungen und die Notwendigkeit besonderer Schutzmaßnahmen zu unterweisen. Die Betriebsanweisung ist entsprechend anzupassen (siehe Abschnitt 7).

(2) Der Zugang zu Arbeitsbereichen, in denen Tätigkeiten mit Nanomaterialien durchgeführt werden und in denen eine erhöhte Gefährdung besteht, ist entsprechend § 9 Absatz 6 GefStoffV durch geeignete Maßnahmen zu beschränken. Bei Tätigkeiten mit Nanomaterialien der Gruppe 2 und Gruppe 4 wird empfohlen die Eingänge der entsprechenden Arbeitsbereiche und die Arbeitsplätze zu kennzeichnen. Für diese Bereiche haben nur unterwiesene Personen Zugang. Arbeitsbereiche, in denen Tätigkeiten mit Nanomaterialien der Gruppe 4 durchgeführt werden, sind mit einer Kennzeichnung entsprechend der Technischen Regel für Arbeitsstätten ASR A1.3 „Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung“ mit dem Verbotssymbol D-P006 „Zutritt für Unbefugte verboten“ zu versehen und es ist zu prüfen, ob ein Schwarz-Weiß-Bereich eingerichtet werden muss.

(3) Ablagerungen von Nanomaterialien sind zu vermeiden. Arbeitsplätze sind regelmäßig zu reinigen. In der Gefährdungsbeurteilung sind Reinigungsintervalle und Reinigungsmethoden festzulegen. Dabei ist zu prüfen, welche Arbeitsräume, Verkehrswege, Betriebsanlagen,

Maschinen und Geräte mit zu betrachten sind. Dies schließt auch Sanitär- und Pausenräume mit ein.

(4) Falls ein Stoff in Nanoform noch nicht ausreichend toxikologisch geprüft ist, 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“ zu kennzeichnen.

5.5 Persönliche Schutzmaßnahmen

(1) Nachfolgende persönliche Schutzausrüstung kann insbesondere bei Tätigkeiten wie Abfüllvorgängen, Probenentnahmen sowie bei Reinigungs-, Instandsetzungs- und Wartungsarbeiten in Abhängigkeit des Ergebnisses der Gefährdungsbeurteilung (z. B. beim Filterwechsel an Entstaubungsanlagen) erforderlich sein.

1. **Atemschutz:** Bei Überschreitung der Beurteilungsmaßstäbe gemäß Abschnitt 4.2 Absatz 4 ist Atemschutz erforderlich. Es eignen sich Filter- und Isoliergeräte. Die Wirksamkeit von Filtergeräten hängt wesentlich von ihrem Dichtsitz ab. Partikelfiltrierende Halbmasken (FFP) können das gewünschte Schutzniveau nach Dichtsitzprüfung und bei sachgerechter Anwendung bieten. Die Verwendung von Halb- oder Vollmasken mit Partikelfilter bietet einen besseren Dichtsitz.
2. **Körperschutz:** Bei Staubeentwicklung ist ein staubdichter Schutzanzug Typ 5 zu tragen.
3. **Handschutz:** Bei Tätigkeiten mit pulverförmigen Nanomaterialien sollten aus arbeitshygienischen Gründen Schutzhandschuhe getragen werden. Wenn Nanomaterialien in flüssiger Form vorliegen, ist die Beständigkeit gegenüber dem enthaltenen Lösungsmittel zu berücksichtigen.

(2) Bei Exposition mit Nanomaterialien der Gruppe 2 mit Expositionen zwischen Bestimmungsgrenze und Arbeitsplatzgrenzwert, der für die mikroskalige Fraktion festgelegt ist, hat der Arbeitgeber mindestens Halbmasken mit P2-Filter oder partikelfiltrierende Halbmasken FFP2 anzubieten. Bei Überschreitung der Arbeitsplatzgrenzwerte sind mindestens Halbmasken mit P3-Filter oder partikelfiltrierende Halbmasken FFP3 einzusetzen.

(3) 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 AGW der A-Staubfraktion ist geeigneter Atemschutz gemäß DGUV Regel 112-190 auszuwählen und einzusetzen.

(4) Bei Tätigkeiten mit Nanomaterialien der Gruppe 4 sind für die Auswahl von Atemschutz die Vorgaben gemäß Abschnitt 9.2 TRGS 519 „Asbest: Abbruch-, Sanierungs- oder Instandhaltungsarbeiten“ anzuwenden.

5.6 Unbeabsichtigte Freisetzung

(1) Im Fall unbeabsichtigter Freisetzung, z. B. beim Verschütten eines staubenden Nanomaterials, müssen ungeschützte Personen den Arbeitsbereich räumen, sind ggf. Notfallmaßnahmen einzuleiten und die Beschäftigten in angrenzenden Arbeitsbereichen zu informieren. Unbeabsichtigte Freisetzung kann auch im Handel bzw. beim Lagern erfolgen.

(2) Der Arbeitsbereich darf erst wieder zu Reinigungsarbeiten betreten werden, sobald sich die Staubwolke niedergeschlagen hat. Auch danach muss noch mit einer Belastung an

Nanomaterialien in der Luft gerechnet werden, da sich Nanomaterialien eher wie Gase verhalten. Daher sind bei biobeständigen Nanomaterialien bei Reinigungsarbeiten außer Arbeits-hose 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.

(3) Der verunreinigte Arbeitsbereich ist entsprechend Abschnitt 5.3 Absatz 6 abzusaugen oder feucht zu reinigen und erst nach Prüfung, ob die Verunreinigung vollständig beseitigt ist, freizugeben.

(4) Das verschüttete Nanomaterial und das verwendete Reinigungsmaterial sind in einem dicht schließenden Behälter zu sammeln und sachgerecht zu entsorgen.

5.7 Schutzmaßnahmen gegen Brände und Explosionen bei Tätigkeiten mit nanoskalierten Stäuben

(1) Kann die Entstehung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphären z. B. durch Aufwirbeln oder Einfüllen von brennbarem Staub nicht vermieden werden, so kann im Rahmen einer Gefährdungsbeurteilung eine Zoneneinteilung vorgenommen werden.

(2) Abhängig von der Zoneneinteilung und der Auftrittswahrscheinlichkeit von wirksamen Zündquellen, die in der Lage sind, das Staub/Luft-Gemisch zu entzünden, sind Explosionschutzmaßnahmen vorzusehen.

(3) Zur Vermeidung von explosionsfähigen Staub/Luft-Gemischen sollten Staubablagerungen von brennbaren Stäuben vorzugsweise mit Nassverfahren oder mit geeigneten Staubsaugern entfernt werden.

(4) Beispiele für das Vermeiden wirksamer Zündquellen sind das Verwenden von Geräten (wie z. B. Ventilatoren, Staubsauger) mit geeigneten Gerätekategorien entsprechend der Richtlinie 2014/34/EU und Maßnahmen zur Vermeidung elektrostatischer Zündgefahren (TRGS 727).

(5) Für Maßnahmen des Explosionsschutzes siehe § 11 und Anhang 1 Nummer 1.6 der GefStoffV. Regelungen zur Vermeidung oder Einschränkung explosionsfähiger Atmosphäre finden sich in der TRGS 722. Für die Zoneneinteilung siehe Anhang I Nummer 1.6 Absatz 3 der GefStoffV. Für die Zündquellenvermeidung siehe TRGS 727. Für Maßnahmen des konstruktiven Explosionsschutzes siehe TRGS 724.

5.8 Schutzmaßnahmen bei der Entsorgung

(1) Die physikalische Beschaffenheit von Abfällen, die Nanomaterialien enthalten, kann durch Befeuchten, Stabilisieren oder Verfestigen (z. B. durch Binden mit Beton) verändert und damit die Gefährlichkeit verringert werden.

(2) Hinsichtlich der Kennzeichnung bei Tätigkeiten mit Abfällen wird auf Abschnitt 4.6 der TRGS 201 verwiesen.

(3) Die zu entsorgenden Nanomaterialien sind in einem nach gesetzlichen Vorschriften [21] ordnungsgemäß gekennzeichneten Behälter (z. B. PE-Spannringdeckelfass) zu sammeln.

(4) Für die Nanomaterialien sind keine spezifischen abfallrechtlichen Vorgaben festgelegt. Es wird jedoch empfohlen, die entsorgende Fachfirma über mögliche Staubbildung beim Öffnen von Gebinden hinzuweisen.

6 Wirksamkeitsüberprüfung

6.1 Allgemeines

- (1) Die Wirksamkeit vorhandener technischer Schutzmaßnahmen ist durch geeignete Ermittlungsmethoden zu prüfen, zu denen auch Arbeitsplatzmessungen gemäß TRGS 402 gehören können. Arbeitsplatzmessungen sollen bevorzugt personenbezogen mit an der Person getragenen oder mobil im Atembereich der Beschäftigten mitgeführten Systemen erfolgen.
- (2) Ein standardisiertes Messverfahren zur Ermittlung der spezifischen Belastung der Beschäftigten mit Nanomaterialien steht bisher nicht zur Verfügung.

6.2 Verwendung der Massenkonzentration

- (1) Nanomaterialien können mit aktuellen Probenahmesystemen nicht selektiv gesammelt werden. Die Nanoform wird immer zusammen mit der mikroskaligen Fraktion erfasst. Für die Wirksamkeitskontrolle ist die alveolengängige Fraktion (A-Staub) zu ermitteln (siehe IFA-Arbeitsmappe 6068 Alveolengängige Fraktion). Sind für die Nanomaterialien stoffspezifische Beurteilungsmaßstäbe nach Abschnitt 4.2 Absatz 4 festgelegt, sind die Belastungen zusätzlich stoffspezifisch zu ermitteln, sofern geeignete stoffspezifische Messverfahren zur Verfügung stehen.
- (2) Die für die Staubfraktionen als anerkannte Verfahren eingesetzten gravimetrischen Messverfahren sind für die Erfassung der Nanomaterialien bei kurzzeitigen Tätigkeiten oft nur bedingt geeignet. Die Nachweisgrenze des gravimetrischen Messverfahrens liegt aktuell bei Verwendung des Probenahmekopfes FSP10 für 2 h bei $0,25 \text{ mg/m}^3$. Für die Ermittlung von Expositionsspitzen stehen zurzeit keine geeigneten gravimetrischen Messverfahren zur Verfügung. Expositionsspitzen können durch die Ermittlung der Partikelanzahlkonzentration nach Abschnitt 6.3 identifiziert werden.
- (3) Für Stoffe in Nanoform der Gruppen 1 und 2 sind die entsprechenden Arbeitsplatzgrenzwerte oder andere Beurteilungsmaßstäbe nach Abschnitt 4.2 Absatz 4 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 (siehe Abschnitt 5.1 Absatz 3 Nummer 5), kann davon ausgegangen werden, dass Maßnahmen gemäß §§ 7 und 8 GefStoffV ausreichend sind. Wenn keine stoffspezifischen Beurteilungsmaßstäbe festgelegt sind, kann die Ermittlung der Partikelanzahlkonzentration Hinweise zur Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen geben.
- (4) Bei der Herstellung und Weiterverarbeitung zu Beginn der Wertschöpfungskette von Stoffen in Nanoform der Gruppe 3 (siehe Anhang 1 Abschnitt 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, insofern kein stoffspezifischer DNEL oder firmeninterner Empfehlungs- oder Aktionswert 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 mit wenigen Prozent gering sind [4, 11]. Hinweise dazu können die Ergebnisse der Ermittlung der Partikelanzahlkonzentration nach Abschnitt 6.3 und Anhang 4 liefern.
- (5) Für Nanomaterialien der Gruppe 4 ist die Beurteilung durch Erfassen der Massenkonzentration nicht geeignet.

6.3 Verwendung der Partikelanzahlkonzentration

- (1) Die Ermittlung der Partikelanzahlkonzentration mit direktanzeigenden Messgeräten wie z. B. Kondensationskernzähler (CPC) kann Informationen zu Emissionsquellen und der Wirksamkeit von Lüftungs- oder anderen technischen Schutzmaßnahmen liefern.
- (2) Ist die Partikelkonzentration gemäß orientierenden Messungen erhöht, können weitergehende stoffspezifische Untersuchungen, z. B. gravimetrische Proben mit nachgeschalteter Analyse der chemischen Identität gemäß Abschnitt 6.2 erforderlich sein. Dazu gehören z. B. Elementanalytik oder mikroskopische Verfahren [22].
- (3) Die Verwendung partikelzählender Messgeräte ist zur Bestimmung faserförmiger Nanomaterialien nicht geeignet. Bei der Bewertung von Tätigkeiten und Arbeitsbereichen, 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.
- (4) Zur Beurteilung der Exposition gegenüber Nanomaterialien mit unbekannter stoffspezifischer Toxizität sowie der Gruppe 3 kann das Benchmark-Level-Konzept des IFA herangezogen werden, siehe Anhang 4 [16].

6.4 Verwendung der Faseranzahlkonzentration

Aktuell befindet sich eine veröffentlichte Methode zur Bestimmung der Anzahlkonzentration luftgetragener faserförmiger Nanomaterialien in der Validierungsphase. Auskunft über den Sachstand geben BAuA und IFA, siehe Anhang 5.

7 Betriebsanweisung und Information der Beschäftigten, Dokumentation

7.1 Allgemeines

- (1) Allgemeine Vorgaben für die Erstellung von Betriebsanweisungen und für die Information der Beschäftigten sind der TRGS 555 „Betriebsanweisung und Information der Beschäftigten“ zu entnehmen.
- (2) In diesem Abschnitt sind ergänzende Hinweise zusammengestellt, die spezifisch für Tätigkeiten mit Nanomaterialien sind.
- (3) Bei Tätigkeiten mit Gemischen oder Erzeugnissen, die Nanomaterialien enthalten und für die eine Freisetzung der Nanomaterialien ausgeschlossen werden kann, ist die Betriebsanweisung bezogen auf das Gemisch oder Erzeugnis ausreichend. Können Nanomaterialien freigesetzt werden, ist in der Betriebsanweisung darauf Bezug zu nehmen.
- (4) Über die Themen hinaus, die in Abschnitt 5.2 Absatz 4 bis 9 der TRGS 555 genannt sind, sollten für die arbeitsmedizinisch-toxikologische Beratung für Tätigkeiten mit Nanomaterialien auch folgende Themen berücksichtigt werden:
 1. bekannte und vermutete Gefahren für die Gesundheit (gesundheitsschädigende Eigenschaften) durch Nanomaterialien und
 2. Aufnahmewege von Nanomaterialien in den Körper.

7.2 Betriebsanweisung für Tätigkeiten mit Nanomaterialien

- (1) Betriebsanweisungen sind arbeitsplatz- und tätigkeitsbezogen zu erstellen. Deshalb können separate Betriebsanweisungen für unterschiedliche Tätigkeiten mit Nanomaterialien erforderlich sein, zum Beispiel für Reinigungsarbeiten, Wartungs-, Instandhaltungs- und Reparaturarbeiten sowie für Entsorgungstätigkeiten.
- (2) Bei der Bezeichnung der Gefahrstoffe in der Betriebsanweisung ist darauf hinzuweisen, dass sie auch Stoffe in Nanoform umfassen können.
- (3) Bei der Beschreibung der Gefahren für Mensch und Umwelt sind die Gefährdungen durch Staub- oder Aerosolbelastung sowie, falls zutreffend, durch Staubexplosionen zu benennen.
- (4) Bei der Beschreibung der Schutzmaßnahmen und Verhaltensregeln sind die Empfehlungen aus Abschnitt 5 zu berücksichtigen. Soweit möglich sind die angegebenen Schutzmaßnahmen und Verhaltensregeln auf die spezifische Tätigkeit mit Nanomaterialien abzustimmen.
- (5) Bei der Beschreibung des Verhaltens im Gefahrenfall sind die Empfehlungen aus Abschnitt 5.6 zu berücksichtigen. Soweit möglich ist das angegebene Verhalten im Gefahrenfall auf die spezifische Tätigkeit mit Nanomaterialien abzustimmen.
- (6) Bei der Beschreibung der sachgerechten Entsorgung sind die Empfehlungen aus Abschnitt 5.8 zu berücksichtigen.

7.3 Unterweisung für Tätigkeiten mit Nanomaterialien

- (1) Unterweisungen haben gemäß TRGS 555 zu erfolgen. Deshalb kann es erforderlich sein, Teile der mündlichen Unterweisung an den Erfordernissen für unterschiedliche Tätigkeiten mit Nanomaterialien auszurichten. Das ist zum Beispiel für Reinigungs-, Wartungs-, Instandhaltungs- und Reparaturarbeiten sowie für Entsorgungstätigkeiten der Fall.
- (2) Über die Themen hinaus, die Gegenstand der Betriebsanweisung sind, sowie diejenigen, die in Abschnitt 5.2 Absatz 1 bis 3 der TRGS 555 genannt sind, sind für die Unterweisung für Tätigkeiten mit Nanomaterialien auch folgende Themen zu berücksichtigen:
 1. Erläuterung, was Nanomaterialien sind,
 2. bekannte und vermutete Gefahren für die Sicherheit (Brand- und Explosionsgefahr) durch Nanomaterialien,
 3. Tätigkeiten mit möglicherweise erhöhter Exposition durch Nanomaterialien.
- (3) In die Unterrichtung der Beschäftigten über die Methoden und Verfahren, die im Hinblick auf die Sicherheit bei der Verwendung von Nanomaterialien angewendet werden müssen, sind alle technischen, organisatorischen und persönlichen Schutzmaßnahmen einzubeziehen, die in der betreffenden Betriebsanweisung festgelegt sind.
- (4) Mit Hilfe der Gefährdungsbeurteilung ist festzulegen, für welche der in Absatz 3 genannten Methoden und Verfahren zusätzlich Übungen oder Trainingsmaßnahmen durchgeführt werden sollten. Beispiele für praktische Übungen in Bezug auf persönliche Schutzmaßnahmen können sein:
 1. Anlegen von Atemschutz einschließlich der Prüfung des richtigen Sitzes des Atemschutzes,

2. An- und Ausziehen von Schutzhandschuhen einschließlich der richtigen Überlappung der Handschuhe mit der sonstigen Schutzkleidung sowie der Vermeidung einer Exposition der ungeschützten Haut durch kontaminierte Handschuhe,
 3. An- und Ablegen von Schutzkleidung (Schutzanzüge) unter Vermeidung einer Exposition von Haut oder Kleidung durch kontaminierte Schutzkleidung.
- (5) Für die gemäß Abschnitt 4 durchzuführenden Übungen und Trainingsmaßnahmen hat der Arbeitgeber sowohl Kriterien für eine Erfolgskontrolle als auch die Häufigkeit der Durchführung festzulegen.
- (6) Im Rahmen der Unterweisung können die interaktiven Nanorama Lernmodule des DGUV Nano-Portals „Sicheres Arbeiten mit Nanomaterialien“ eingesetzt werden [23].

7.4 Dokumentation

- (1) Vorgaben für die Dokumentation der Gefährdungsbeurteilung sind Abschnitt 8 der TRGS 400 zu entnehmen.
- (2) Für Tätigkeiten mit Nanomaterialien, die als krebserzeugend oder keimzellmutagen der Kategorie 1A oder 1B eingestuft sind, sind § 14 Absatz 3 Nr.3 und 4 GefStoffV zu beachten.

Anhang 1: Hinweise auf Nanomaterialien in Produktunterlagen

1 Hinweise anhand von Eigenschaften des Nanomaterials

Insbesondere bei Gemischen und Erzeugnissen, die Nanomaterialien enthalten, ist davon auszugehen, dass zugesetzte Nanomaterialien nicht immer eindeutig spezifiziert sind. Die Informationsermittlung im Rahmen einer Gefährdungsbeurteilung kann durch folgende Quellen unterstützt werden:

1. Produktunterlagen wie z. B. Sicherheitsdatenblätter, Produktdatenblätter, Technische Merkblätter, Produktbeschreibungen, Werbematerialien können durch die Nennung von Begriffen wie „Nano“ oder „Nano-Eigenschaften“ Hinweise auf die Verwendungen von Nanomaterialien liefern. Diese Dokumente können auch spezifische Materialeigenschaften bezeichnen, die durch den Einsatz von Nanomaterialien hervorgerufen werden können, siehe beispielhafte Auflistung in Tabellen 1 - 3.
2. Internetbasierte Informationsquellen, die materialtechnische Daten, Anwendungen und aktuelle Informationen zu Nanomaterialien enthalten:
 - a) DaNa^{2.0} Informationen zu Nanomaterialien und Nano-Sicherheitsforschung
www.nanopartikel.info/nanoinfo
 - b) Materialtechnologien – Schlüssel für eine nachhaltige Zukunft
www.technologieland-hessen.de/materialtechnologien
 - c) Cluster Nanotechnologie
www.nanoinitiative-bayern.de/cluster-nanotechnologie
 - d) Nano-Portal: Sicheres Arbeiten mit Nanomaterialien
<http://nano.dguv.de/home/>
 - e) EUON European Union Observatory for Nanomaterials
<https://euon.echa.europa.eu/de/>

Nennungen von „Nano“ oder „Nano-Eigenschaften“ in Produktunterlagen bedeuten jedoch nicht zwangsläufig einen Einsatz von Nanomaterialien. So kann „Nano“ aus Marketing-Gründen nicht dem Definitionsvorschlag der EU-Kommission entsprechend und abweichend von der Definition von Nanomaterialien verwendet werden. „Nano“ kann sich auch auf Materialien mit vielfach größeren Strukturdimensionen als 100 nm beziehen, die sich durch die Bezeichnung „Nano“ von einer etablierten Verwendung des Begriffs „Mikro“ abgrenzen, z. B. Mikrofasern/Nanofasern. „Nano“ kann sich auch auf die Dicke von Dünnschichten, Phasenseparationen in Polymeren oder Porengrößen beziehen. Es sind nicht in allen Produkten, die mit „Nano“ ausgezeichnet werden, Nanomaterialien enthalten. Eine Nachfrage zur Bedeutung der verwendeten Bezeichnung „Nano“ beim Hersteller ist für die Gefährdungsbeurteilung zu empfehlen.

2 Hinweise anhand von Materialeigenschaften von Stoffen, Gemischen und Erzeugnissen

2.1 Stoffeigenschaften des Nanomaterials

Physikalisch-chemische Materialcharakteristika von Stoffen in Nanoform können partikelgrößenabhängig verändert sein. Von herkömmlichen Stoffeigenschaften signifikant abweichende Charakteristika können daher Hinweise auf das Vorliegen eines Stoffes in Nanoform geben. Besonders ein verändertes Schmelz-, Sublimations- oder Lösungsverhalten sowie eine erhöhte Reaktivität erscheinen hierfür als geeignet. Dabei ist jedoch auch die Abhängigkeit solcher Eigenschaften von der Zusammensetzung bzw. Reinheit eines Stoffes zu beachten [24].

2.2 Materialeigenschaften von Gemischen und Erzeugnissen

Die in Tabellen 1 - 3 aufgeführten Materialeigenschaften können u. U. spezifisch für die Verwendung von Nanomaterialien in Gemischen oder Erzeugnissen sein. Wenn Gemische oder Erzeugnisse mit diesen Eigenschaften im Betrieb verwendet werden, sollte daher ermittelt werden, ob die Beschäftigten Tätigkeiten mit Nanomaterialien ausüben und ob bei den Tätigkeiten Nanomaterialien entstehen oder freigesetzt werden können.

Tabelle 1: Beispielhafte Auflistung von Verarbeitungseigenschaften die auf Nanomaterial hinweisen können

Stichwort	Möglicher Hinweis auf Nanomaterial
Stabilisierte Dispersion	Hohe Agglomerationsneigung von Nanomaterialien wird typischerweise durch Hilfsmittel unterbunden
Thixotrop strukturviskos	Nanomaterialien wirken als Rheologieadditiv (Veränderung des Fließverhaltens)
Fließ- bzw. Rieselförderung	Nanomaterialien können Agglomerationsneigung pulverförmiger Materialien verringern
staubend	langsam sedimentierende Partikel können auf nanoskalige Anteile hinweisen

Tabelle 2: Beispielhafte Auflistung von Stichworten zu Zielfunktionen und Produkteigenschaften die auf Nanomaterial hinweisen können

Stichwort	Möglicher Hinweis auf Nanomaterial
Besondere Optische Eigenschaften	
Transparenz Durchsichtigkeit	Nanoskalige Partikel in Beschichtungen bewirken Transparenz, weil sie das sichtbare Licht nicht streuen
Absorbierend (insbes. UV)	z. B. nanoskaliges Titandioxid ist ein gebräuchlicher UV-Absorber
photokatalytische Wirkung	z. B. bestimmte Modifikationen von Titandioxid werden für Photokatalyse verwendet
Schmutzabweisend, Abperleffekt, Selbstreinigend, Easy-to-clean	Die notwendige nanoskalig raue Oberfläche wird üblicherweise durch Nanopartikel erzeugt
Hohe mechanische Beständigkeit	
Kratzfestigkeit	nanoskalige Additive können die Kratzfestigkeit von Lacken verbessern
Verschleißfestigkeit	
Schlagzähigkeit	nanoskalige Additive können das Spröbruchverhalten von Kunststoffen verbessern
Bruchfestigkeit	
Sonstige (für das Material/Produkt) außergewöhnliche chemische/physikalische Eigenschaften	
Flammhemmung	Modifizierte nanoskalige Tonminerale (Schichtsilikate) können die Flammfestigkeit von Kunststoffen steigern
Antibakteriell	Nanoskalige Additive, wie insbesondere Silber und Silberverbindungen, können als antimikrobielle Additive genutzt werden

oberflächenkatalytisch	Um die katalytischen Eigenschaften von bestimmten Materialien besser auszunutzen, können diese als Nanomaterial mit großen aktiven Oberflächen eingesetzt werden
Barriere	Modifizierte nanoskalige Tonminerale (Schichtsilikate) können die Barrierewirkung von Kunststoffen gegenüber Gasen und Flüssigkeiten steigern
Elektrisch leitfähig / antistatisch	Ruß ist in der Regel ein Nanomaterial und wird häufig als Leitadditiv eingesetzt
Adsorptionsvermögen	Nanomaterialien zeichnen sich üblicherweise durch ein besonders großes Oberfläche-zu-Masse-Verhältnis aus, so dass sie zur Adsorption von Chemikalien genutzt werden können
Porosität	Aggregate von Nanomaterialien können eine hohe Porosität aufweisen

Tabelle 3: Beispielhafte Auflistung von Stichworten zu Gebrauchseigenschaften

Stichwort	Möglicher Hinweis auf Nanomaterial
Nicht auswaschbar Nicht-migrierend	eine Möglichkeit, das Diffundieren von funktionstragenden Additiven (Migration) an die Oberflächen oder aus dem Material heraus (Leaching) zu unterdrücken ist, nanoskalig partikuläre Funktionsadditive einzusetzen. z. B. Nano-Silber, Nano-Titandioxid
Non-leaching	

3 Hinweise anhand von Herstellungsverfahren

Stoffe in Nanoform können in verschiedenen Verfahren hergestellt werden. In Tabelle 4 sind Verfahren aufgeführt, die zur Herstellung von Stoffen in Nanoform geeignet sein können.

Tabelle 4: Verfahren, die zur Herstellung von Stoffen in Nanoform geeignet sein können

Chemische Synthese in der Flüssigphase	
Fällungsreaktionen Produktbeispiel: Metallpartikel, z.B. Nanosilberpartikel und -fasern	Sol-Gel-Prozesse
	Mikrofluidische Prozesse
	Superkritische Prozesse
	Ultraschall-Prozesse
Chemische Synthese in der Gasphase	
Oberflächen-initiierte Kristallsynthese	Produktbeispiel: Metallwhisker
Wirbelschicht-Synthese mittels katalytischer Chemical Vapour Deposition (CVD)	Produktbeispiel: Carbon Nanotubes (CNTs)
Plasmasynthese in der Gasphase	
Plasmachemische Synthese	Trockenätzprozesse der Halbleitertechnik Produktbeispiel: Silica
	Atmosphärendruck-HF-Plasmen
Plasmathermische Synthese Produktbeispiel: Metall(oxid)ische Nanopartikel (Al, ZnO, W, WC)	Laserablation
	Kathodenzerstäubungsprozesse
	Lichtbogenprozesse
	Funkenerosion
	Drahtexplosion
Thermische Zersetzung von metallorganischen Verbindungen, Produktbeispiel: SiC, SiCN, Cu	
Thermische Prozesse in der Dampf- oder Gasphase	
Thermische Zersetzung in Flammprozessen	Flammen-Sprüh-Pyrolyse Produktbeispiel: Ruße, Siliciumdioxid, Titandioxid
Thermische Prozesse in der Flüssigphase	
Thermische Zersetzung von Metall-Ölsäure-Komplexen in Lösungsmitteln mit hohem Siedepunkt	Produktbeispiel: Monodisperse Nanokristalle
Mikrowellen-induzierte Zersetzungsprozesse	
Thermische Prozesse an der Festphase oder im Festbett	
Zersetzungs- und Umwandlungsprozesse	Produktbeispiel: Siliziumkarbid-Fasern aus Reisschalenasche
Exfolierungsprozesse	Produktbeispiel: Graphen
Mahlprozesse	
Hochenergiemahlprozesse	Produktbeispiel: Pigmente
Kryomahlprozesse	Produktbeispiel: Pigmente

Anhang 2: Musterschreiben an die Hersteller oder Lieferanten

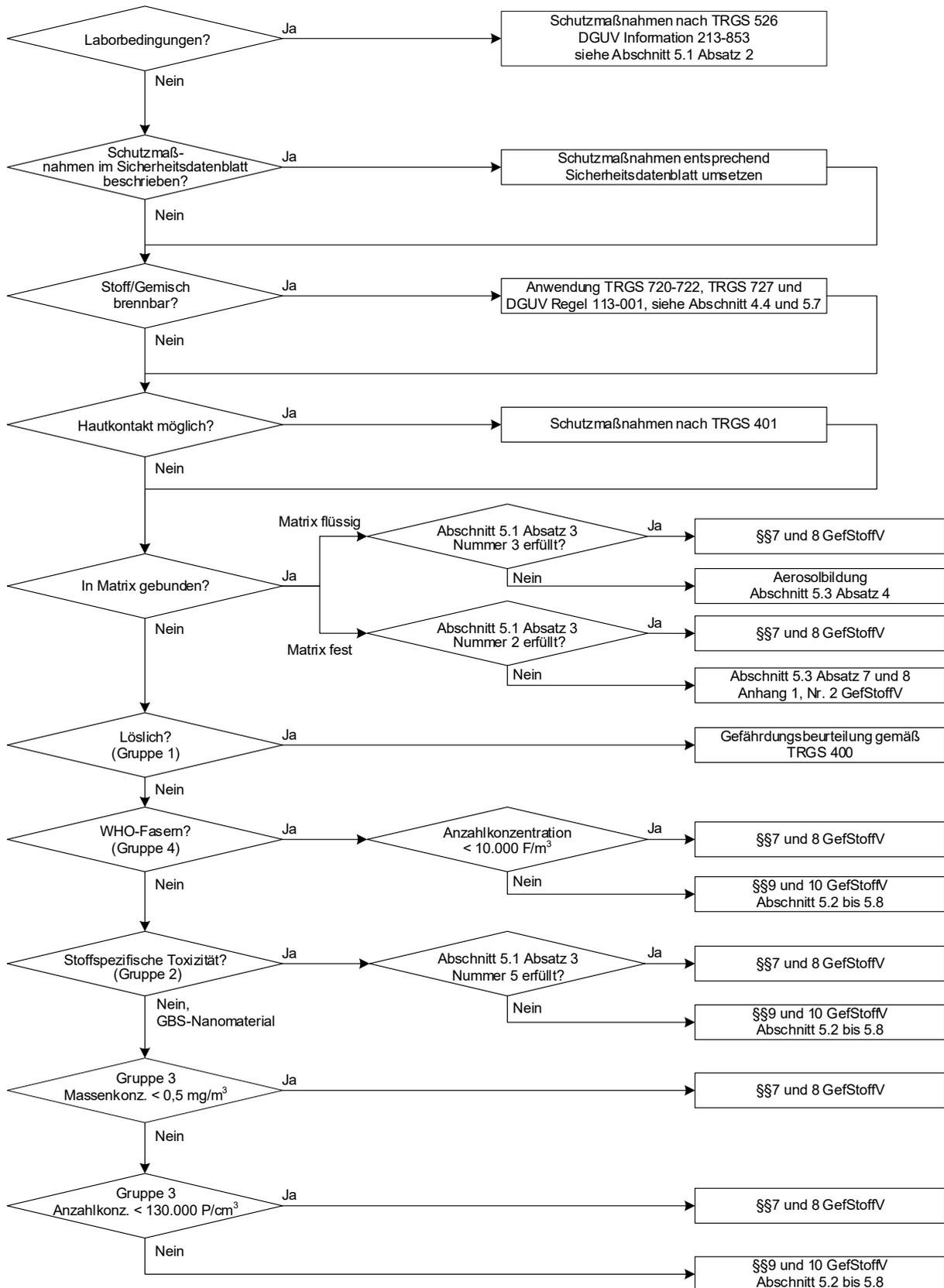
Sehr geehrter Hersteller/Lieferant,

wir verwenden derzeit das Produkt (genaue Bezeichnung) aus Ihrem Hause. Wir haben Grund zur Annahme, dass es sich dabei um einen Stoff, Gemisch oder Erzeugnis handelt, das einen Stoff in Nanoform entsprechend Anhang VI der Verordnung (EG) 1907/2006, geändert durch (EU) 2018/1881 enthält. Im Rahmen der Informationsermittlung bei der Gefährdungsbeurteilung nach TRGS 400 und TRGS 527 bitten wir Sie um zusätzliche Angaben zu Ihrem Produkt. Bitte übermitteln Sie uns Informationen zu diesen Punkten (soweit vorliegend):

1. Einstufung der Nanoform des Stoffes,
2. Partikelanzahlgrößenverteilung gemäß REACH-Verordnung Anhang VI Unterabschnitt 2.4.2 geändert durch Verordnung (EU) 2018/1881,
3. spezifische Oberfläche,
4. morphologische Informationen (Form und Struktur, besonders bei Fasern, z. B. hinsichtlich des Vorliegens von WHO-Fasern, einschließlich Fasern mit einem Durchmesser kleiner 200 nm),
5. Oberflächenmodifikation,
6. Wasserlöslichkeit,
7. Angaben zum Staubungsverhalten,
8. Angaben zur Brennbarkeit (z. B. Entzündbarkeit und Staub-Explosionsfähigkeit).

Mit freundlichen Grüßen

Anhang 3: Fließschema mit vereinfachter Darstellung der Vorgehensweise bei der Gefährdungsbeurteilung für Nanomaterialien



Anhang 4: Benchmark-Level-Konzept des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung

Derzeit liegen in Deutschland keine stoffspezifischen Arbeitsplatzgrenzwerte für Stoffe in Nanoform vor. Der AGS hat für granuläre biobeständige Nanomaterialien der Gruppe 3 einen massebasierten Beurteilungsmaßstab bekannt gemacht. Für die Prüfung der Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen kann die Ermittlung der Partikelanzahlkonzentration sinnvoll sein. So braucht es z. B. bei einer Größe von 20 nm und einer Dichte von 4,2 g/cm³ mehr als 28 Mio. (28.150.000) Titandioxidpartikel pro Kubikzentimeter, um eine Masse von 0,1 mg/m³ zu erhalten. Derart hohe Partikelanzahlkonzentrationen können mittels technischer Maßnahmen reduziert werden. Andererseits liegen die meisten Nanomaterialien am Arbeitsplatz als Mischstaub und stark agglomeriert/aggregiert vor, also mit einem mittleren Partikeldurchmesser größer 100 nm. Bei A-Staub mit einer Dichte von 2,5 g/cm³ und einem durchschnittlichen Partikeldurchmesser von 4000 nm würden z. B. schon 150 Partikel pro Kubikzentimeter ausreichen, um 1,25 mg/m³ zu erreichen.

Basierend auf messtechnischen Erfahrungen und der Nachweisgrenzen der derzeit eingesetzten Messverfahren werden vom Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung folgende auf die Schicht bezogene partikelanzahlbasierte Beurteilungswerte als Erhöhung gegenüber der Hintergrundbelastung vorgeschlagen [16].

Sofern keine Angaben zur stoffspezifischen Toxizität vorliegen:

1. Für biobeständige granuläre Nanomaterialien mit einer Materialdichte > 6.000 kg/m³ soll eine Partikelanzahlkonzentration von 20.000 Partikel/cm³ im Messbereich von 1 bis 100 nm nicht überschritten werden.
2. Für biobeständige granuläre Nanomaterialien mit einer Materialdichte < 6.000 kg/m³ soll eine Partikelanzahlkonzentration von 40.000 Partikel/cm³ im Messbereich von 1 bis 100 nm nicht überschritten werden.

Bei biobeständigen granulären Nanomaterialien mit stoffspezifischer Toxizität sind die massebasierten Grenzwerte anzuwenden. Zusätzlich können die vorgenannten Werte zur Bewertung der Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen herangezogen werden.

Für biobeständige granuläre Nanomaterialien der Gruppe 3 mit einer Agglomeratdichte von 1500 kg/m³ soll eine Partikelanzahlkonzentration von 130.000 Partikeln/cm³ im Messbereich von 1 - 100 nm nicht überschritten werden.

Die Beurteilungswerte sind nicht toxikologisch begründet.

Anhang 5: Ermittlung der Anzahlkonzentration faserförmiger Nanomaterialien

Die Anzahlmessung luftgetragener faserförmiger anorganischer Partikel erfolgt an Arbeitsplätzen gemäß der DGUV-Information 213-546. Das Verfahren ist nicht zur Bestimmung der Konzentration nanoskaliger WHO-analoger Fasern geeignet, da es nur Fasern mit Durchmessern größer als 200 nm erfasst.

Die BAuA hat darum gemeinsam mit dem IFA der DGUV und der Schweizer SUVA das Konzept eines neuen Mess- und Auswerteverfahrens für faserförmige Nanomaterialien vorgeschlagen und Durchführungsdetails ausgearbeitet [25, 26].

Die Probenahme von luftgetragenen Stäuben erfolgt mit Kernspurmembranfiltern. Probenahme und nachfolgende Filteranalyse werden unter Berücksichtigung der Staubkonzentrationen vor Ort so gewählt, dass für faserförmige Nanomaterialien eine Nachweisgrenze kleiner als 10.000 Fasern/m³ erreicht wird.

Der Analyseaufwand für einen zuverlässigen Nachweis von Fasern mittels Rasterelektronenmikroskopie (REM) steigt mit abnehmendem Faserdurchmesser quadratisch an. Für nanoskalige Fasern wird darum eine untere Sichtbarkeitsgrenze von 20 nm vorgeschlagen. Für diese muss die erreichte Punktauflösung, also die Kantenlänge eines REM-Bildpunktes, mindestens 20 nm betragen. Bei einer solchen Auflösung zeigt eine REM-Aufnahme im Vergleich zu den für eine Asbestzählung erforderlichen 200 nm Punktauflösung einen hundert Mal kleineren Ausschnitt des Filters. Für die gleiche auszuzählende Filterfläche sind darum einhundert Mal mehr REM-Aufnahmen zu analysieren. Dazu ist aufgrund des hohen Aufwands eine automatisierte Bildgebung erforderlich.

Ob an einem Arbeitsplatz die Konzentration an faserförmigen Nanomaterialien 10.000 Fasern/m³ unterschreitet, kann über einen Test auf das „Nichtauftreten einer Faser im analysierten Luftvolumen“ erfolgen. Ein Volumen von 0,3 Litern Luft weist bei einer Arbeitsplatzkonzentration von 10.000 Fasern/m³ einen statistischen Erwartungswert von drei Fasern auf. Können auf der diesem Volumen entsprechenden Filterfläche Nanofasern zuverlässig nachgewiesen werden und wird keine Nanofaser gefunden, so ist eine Überschreitung des Beurteilungsmaßstabs mit 95 %-iger Verlässlichkeit ausgeschlossen.

Literaturhinweise

- [1] VERORDNUNG (EU) 2018/1881 DER KOMMISSION vom 3. Dezember 2018 zur Änderung der Anhänge I, III, VI, VII, VIII, IX, X, XI und XII der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH) zwecks Berücksichtigung der Nanoformen von Stoffen
- [2] Empfehlung der Kommission vom 18. Oktober 2011 zur Definition von Nanomaterialien (2011/696/EU), Amtsblatt der Europäischen Union L 275/38 vom 20.10.2011
- [3] DIN CEN ISO/TS 80004-1:2016-04, Nanotechnologien - Fachwörterverzeichnis - Teil 1: Kernbegriffe
- [4] Begründung zum Beurteilungsmaßstab NanoGBS, Fassung vom 3.5.2015 (abgerufen am 20.11.2019)
<https://www.baua.de/DE/Aufgaben/Geschaeftsfuehrung-von-Ausschuesen/AGS/pdf/A-Staub.pdf>
- [5] Begriffsglossar zu den Regelwerken der Betriebssicherheitsverordnung, der Biostoffverordnung und der Gefahrstoffverordnung (abgerufen am 20.11.2019)
<http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/Glossar/Glossar.html>
- [6] Europäische Chemikalienagentur (ECHA), Leitlinien zur Erstellung von Sicherheitsdatenblättern, Version 3.1, November 2015 (abgerufen am 20.11.2019)
https://echa.europa.eu/documents/10162/23036412/sds_de.pdf
- [7] Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft, Liste Nanoteilchen in Bau- und Reinigungsprodukten (abgerufen am 20.11.2019)
<https://www.bgbau.de/themen/sicherheit-und-gesundheit/gefahrstoffe/nanoteilchen/>
- [8] Europäische Chemikalienagentur (ECHA), Registrierte Stoffe (abgerufen am 20.11.2019)
<http://echa.europa.eu/de/information-on-chemicals/registered-substances>
- [9] IG Bergbau, Chemie, Energie, Nanomaterialien – Herausforderung für den Arbeits- und Gesundheitsschutz (abgerufen am 20.11.2019)
<https://igbce.de/resource/blob/4044/6144a349cf3b29c685b990561f1e8c20/nanomaterialien-data.pdf>
- [10] Europäisches Arzneibuch, 7. Ausgabe, Amtliche deutsche Ausgabe, ISBN 978-3-7692-5909-4, 2011
- [11] BAuA, Gesundheitliche Wirkung von partikulären Nanomaterialien – derzeitiger Kenntnisstand (abgerufen am 20.11.2019)
<https://www.baua.de/DE/Themen/Anwendungssichere-Chemikalien-und-Produkte/Innovative-Materialien/Nanotechnologie/pdf/Vortrag-Gebel-01.pdf>
- [12] Beschluss des AGS zu Beurteilungsmaßstäben (abgerufen am 20.11.2019)
<https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRGS/pdf/Beurteilungsmaassstaebe.pdf>
- [13] BAuA-VCI, Empfehlung für die Gefährdungsbeurteilung bei Tätigkeiten mit Nanomaterialien am Arbeitsplatz, Mai 2012 (abgerufen am 20.11.2019)
https://www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Kooperation/Gd4.pdf?__blob=publicationFile&v=3

- [14] Leitfaden zum Umgang mit Nanoobjekten am Arbeitsplatz; Verband der deutschen Lack- und Druckfarbenindustrie e.V. (VdL) (abgerufen am 20.11.2019)
<http://www.wirsindfarbe.de/service-publikationen/sonstige-veroeffentlichungen/leitfaden-zum-umgang-mit-nanoobjekten-am-arbeitsplatz/>
- [15] Bekanntmachung zu Gefahrstoffen 409 „Nutzung der REACH Informationen für den Arbeitsschutz“ (abgerufen am 20.11.2019)
<https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRGS/Bekanntmachung-409.html>
- [16] Institut für Arbeitsschutz der DGUV, Nanopartikel am Arbeitsplatz, Maßstäbe zur Beurteilung der Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen (abgerufen am 20.11.2019)
<http://www.dguv.de/ifa/Fachinfos/Nanopartikel-am-Arbeitsplatz/Beurteilung-von-Schutzma%C3%9Fnahmen/index.jsp>
- [17] DGUV Information 213-853, Nanomaterialien im Labor Hilfestellungen für den Umgang (abgerufen am 20.11.2019)
<http://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/213-853.pdf>
- [18] Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft, DGUV Regel 109-013, Schutzmaßnahmenkonzept für Spritzlackierarbeiten – Lackaerosole (abgerufen am 20.11.2019)
https://www.bgbau.de/fileadmin/Medien-Objekte/Medien/DGUV-Regeln/109_013.pdf
- DGUV Informationsblatt FB HM-071, Ausgabe 02/2014 Beschichtungsstoffe mit Nanopartikeln – Gefährdungen bei der Verarbeitung (herausgegeben vom Fachbereich Holz und Metall) (abgerufen am 20.11.2019)
http://www.bghm.de/fileadmin/user_upload/Arbeitsschuetzer/Praxishilfen/Fachbereichs-Informationsblaetter/071_FBHM-OS_Nanopartikeln.pdf
- [19] Schutzleitfäden für Biozidprodukte (abgerufen am 20.11.2019)
BP 2082 Holzschutzmittel: Bekämpfender Holzschutz in Sprühanwendungen
<https://www.baua.de/DE/Themen/Arbeitsgestaltung-im-Betrieb/Gefahrstoffe/EMKG/pdf/Schutzleitfaden-BP2082.pdf>
- BP 2183 Bekämpfung von Insekten: Sprühen
<https://www.baua.de/DE/Themen/Arbeitsgestaltung-im-Betrieb/Gefahrstoffe/EMKG/pdf/Schutzleitfaden-BP2183.pdf>
- [20] Staubarme Bearbeitungssysteme (abgerufen am 20.11.2019)
<https://www.bgbau.de/themen/sicherheit-und-gesundheit/staub/staubarme-bearbeitungssysteme/>
- [21] Verband der chemischen Industrie e.V. (VCI), Leitfaden: Sichere Entsorgung von Abfällen, die Nanomaterialien enthalten (abgerufen am 20.11.2019)
<https://www.vci.de/themen/chemikaliensicherheit/nanomaterialien/sichere-entsorgung-von-abfallen2c-die-nanomaterialien-enthalten-leitfaden.jsp>
- [22] BAuA, BG RCI, IFA, IUTA, TUD, VCI: Ein mehrstufiger Ansatz zur Expositionsermittlung und -bewertung nanoskaliger Aerosole, die aus synthetischen Nanomaterialien in die Luft am Arbeitsplatz freigesetzt werden, 2011 (abgerufen am 20.11.2019)
<https://www.vci.de/services/leitfaeden/2012-02-28-expositionsermittlung-und-bewertung-nanoskaliger-aerosole-vci.jsp>

- [23] DGUV, Nanoportal: Sicheres Arbeiten mit Nanomaterialien Nanorama – E-Learning (abgerufen am 20.11.2019)
<http://nano.dguv.de/nanoramen/>
- [24] J. Lang, A. Meyer-Plath, Charakterisierung von nanoskaligen Eigenschaften chemischer Stoffe als Grundlage für die Regulierung im Rahmen der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 (REACH) (abgerufen am 20.11.2019)
https://www.baua.de/DE/Angebote/Publicationen/Berichte/F2261.pdf?__blob=publicationFile&v=5
- [25] S. Plitzko, A. Meyer-Plath, N. Dziurowitz, B. Simonow, P. Steinle, M. Mattenklott. Messung nano- und mikroskaliger faserförmiger Materialien an Arbeitsplätzen - Teil 1. Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft, Volume 78, Nr. 5 2018. Seiten 187-192. (abgerufen am 20.11.2019)
<https://www.baua.de/DE/Angebote/Publicationen/Aufsaeetze/artikel1672.pdf>
- [26] S. Plitzko, A. Meyer-Plath, N. Dziurowitz, B. Simonow, P. Steinle, M. Mattenklott. Messung nano- und mikroskaliger faserförmiger Materialien an Arbeitsplätzen - Teil 2. Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft, Volume 78, Nr. 6 2018. Seiten 251-256. (abgerufen am 20.11.2019)
<https://www.baua.de/DE/Angebote/Publicationen/Aufsaeetze/artikel1688.pdf>