

DIN EN 16966



ICS 13.040.30

Einsprüche bis 2016-04-05

Entwurf

**Exposition am Arbeitsplatz –
Für Messungen der Exposition gegenüber eingeatmeten Nanopartikeln
(Nano-Objekte und nanostrukturierte Materialien) zu verwendende
Metriken, wie Massenkonzentration, Anzahlkonzentration und
Oberflächenkonzentration;
Deutsche und Englische Fassung prEN 16966:2016**

Workplace exposure –

Metrics to be used for the measurements of exposure to inhaled nanoparticles (nano-objects and nanostructured materials) such as mass concentration, number concentration and surface area concentration;

German and English version prEN 16966:2016

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2016-02-05 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal des DIN unter www.entwuerfe.din.de bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nasg@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/stellungnahme oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Sicherheitstechnische Grundsätze (NASG), 10772 Berlin (Hausanschrift: Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin).

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 88 Seiten

DIN-Normenausschuss Sicherheitstechnische Grundsätze (NASG)

Nationales Vorwort

Der hiermit der Öffentlichkeit zur Stellungnahme vorgelegte Norm-Entwurf enthält die deutsche und englische Fassung des vom Technischen Komitee CEN/TC 137 „Bewertung der chemischen und biologischen Stoffbelastung am Arbeitsplatz“ (Sekretariat: DIN, Deutschland) ausgearbeiteten europäischen Norm-Entwurfs prEN 16966:2016.

Die Erstellung des vorliegenden Norm-Entwurfs erfolgte im Rahmen des an CEN, CENELEC und ETSI erteilten Mandats M/461 für Normungsaktivitäten hinsichtlich Nanotechnologie und Nanomaterialien.

Der Norm-Entwurf wird gleichzeitig national und europäisch zur Stellungnahme verteilt.

Die Mitarbeit von DIN in der zuständigen Arbeitsgruppe des Technischen Komitees CEN/TC 137 wird über den Arbeitskreis NA 095-03-01-01 AK „Staub“ des Arbeitsausschusses „Messstrategien und Anforderungen an Messverfahren“ (NA 095-03-01 AA) im DIN-Normenausschuss Sicherheitstechnische Grundsätze (NASG) wahrgenommen.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung des prEN 16966 beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Bei dem in den Literaturhinweisen fälschlicherweise als Internationalen Norm referenzierten bibliographischen Eintrag [2] handelt es sich tatsächlich um eine ISO Technische Spezifikation (i.e. ISO/TS 27687), die europäisch als CEN ISO/TS 27687 und seitens DIN als DIN SPEC 1121 (DIN ISO/TS 27687) übernommen wurde. ISO/TS 27687 wurde in 2015 durch ISO/TS 80004-1 ersetzt und wird europäisch als CEN ISO/TS 80004-1 und national als DIN CEN ISO/TS 80004-1 (DIN SPEC 52400-1) übernommen werden.

Für die weiteren in diesem Dokument zitierten Internationale Dokumente wird, sofern vorhanden, im Folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen und Spezifikationen hingewiesen:

ISO 9277 siehe DIN ISO 9277

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

- [1] DIN SPEC 1121, *Nanotechnologien — Terminologie und Begriffe für Nanoobjekte — Nanopartikel, Nanofaser und Nanoplättchen (ISO/TS 27687); Deutsche Fassung CEN ISO/TS 27687*
- [2] DIN CEN ISO/TS 80004-1 (DIN SPEC 52400-1)¹⁾, *Nanotechnologien — Fachwörterverzeichnis — Teil 1: Kernbegriffe (ISO/TS 80004-1); Deutsche Fassung CEN ISO/TS 80004-1*
- [3] DIN ISO 9277, *Bestimmung der spezifischen Oberfläche von Festkörpern mittels Gasadsorption — BET-Verfahren (ISO 9277)*

1) In Vorbereitung.

— Leerseite —

Exposition am Arbeitsplatz — Für Messungen der Exposition gegenüber eingeatmeten Nanopartikeln (Nano-Objekte und nanostrukturierte Materialien) zu verwendende Metriken, wie Massenkonzentration, Anzahlkonzentration und Oberflächenkonzentration

Workplace exposure — Metrics to be used for the measurements of exposure to inhaled nanoparticles (nano-objects and nanostructured materials) such as mass concentration, number concentration and surface area concentration

ICS:

Deskriptoren

Dokument-Typ: Europäische Norm
Dokument-Untertyp:
Dokument-Stage: CEN-Umfrage
Dokument-Sprache: D

STD Version 2.7g

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	6
4 Symbole und Abkürzungen	12
5 Relevanz der ISO-Definition für die Bewertung der gesundheitlichen Auswirkungen von luftgetragenen NOAAs	13
6 Partikelmetriken und deren Auswahl	13
6.1 Aus Nanopartikeln bestehende Arbeitsplatz aerosole	13
6.2 Toxikologische Aspekte	14
6.3 Nanopartikelmetriken	14
6.4 Metriken der Nanopartikelanzahl, der Nanopartikeloberfläche und der Nanopartikelmasse	15
6.5 Arbeitsplatzgrenzwerte für Nanopartikel	15
7 Strategie zur Bewertung der Exposition, basierend auf WI 00137053	16
7.1 Allgemeines	16
7.2 Grundlegende Bewertung nach WI 00137053	16
7.3 Umfassende Bewertung nach WI 137053	17
7.4 Personengetragene Sammler/Monitore im Vergleich zu stationären Sammelern/Monitoren	17
8 Bestimmung der Exposition	18
8.1 Allgemeines	18
8.2 Einleitende Bemerkungen zur Messung von Partikelmetriken	19
8.2.1 Allgemeines	19
8.2.2 Kontinuierliche Messung und Anzeige (mit einem Monitor) oder analytische Bestimmung einer Nanopartikelmetrik nach der Probenahme	20
8.2.3 Berechnung/Abschätzung einer auf der größen aufgelösten NOAA-Verteilung basierenden NOAA-Metrik	21
8.2.4 Berechnung der Metrik der Gesamtheit der Nanopartikelmasse aus der größen aufgelösten Nanopartikelmasse	21
8.3 Informationen zur Messung der Partikelmetriken	21
Anhang A (informativ) Quelldomänen von Expositionsszenarien am Arbeitsplatz für synthetische/hergestellte NOAAs	22
Anhang B (informativ) Entwicklung der verfügbaren instrumentellen Technik seit der Veröffentlichung von ISO/TR 27628 und ISO/TR 12885	23
Anhang C (informativ) Monitore zur Messung der NOAA-Anzahlgesamtheitsmetrik	24
C.1 Allgemeines	24
C.2 Kondensationspartikelzähler	24
C.2.1 Funktionsprinzip	24
C.2.2 Annahmen, Einschränkungen und potenzielle Probleme	24
C.2.3 Genauigkeit und Vergleichbarkeit von WI 00137052	25
C.2.4 Internationale Normen für die Anwendung von CPCs	25
C.3 Messgeräte für Diffusionsaufladung	25
C.3.1 Allgemeines	25

C.3.2	Annahmen, Einschränkungen und potenzielle Probleme	25
C.3.3	Genauigkeit und Vergleichbarkeit	26
Anhang D (informativ) Monitore zur Messung der NOAA-Oberflächengesamtheitsmetrik		27
D.1	Allgemeines	27
D.1.1	Einführung	27
D.1.2	Annahmen, Einschränkungen und potenzielle Probleme	27
D.1.3	Genauigkeit und Vergleichbarkeit	29
Anhang E (informativ) Sammler für die Bestimmung der NOAA-Massenmetrik (chemisches Element) durch Offline-Analyse		30
E.1	Allgemeines	30
E.2	Gesamtheit aller gesammelten analysierten Partikel	30
E.2.1	Allgemeines	30
E.2.2	Annahmen, potenzielle Probleme und Vergleichbarkeit	31
E.3	Einzelne analysierte Partikel	31
E.3.1	Allgemeines	31
E.3.2	Annahmen, potenzielle Probleme und Vergleichbarkeit	32
Anhang F (informativ) Monitore zur Messung der größen aufgelösten NOAA-Anzahlmetrik (anzahlgewichtete Verteilung des elektrischen Mobilitätsäquivalentdurchmessers)		33
F.1	Allgemeines	33
F.2	DMAS unterschiedlicher Bauarten	33
F.2.1	Allgemeines	33
F.2.2	Annahmen, potenzielle Probleme und Vergleichbarkeit	34
F.2.3	Internationale Normen für die Anwendung von DMAS	35
Anhang G (informativ) Sammler zur Bestimmung der größen aufgelösten NOAA-Massenmetrik (massengewichtete Verteilung des Diffusionsäquivalentdurchmessers) durch Offline-Analyse		36
G.1	Allgemeines	36
G.2	Diffusionsspektrometer	36
G.2.1	Allgemeines	36
G.2.2	Annahmen und potenzielle Probleme	36
Anhang H (informativ) Sammler zur Bestimmung der größen aufgelösten NOAA-Massenmetrik (chemisches Element/Verbindung) (massengewichtete Verteilung des aerodynamischen Äquivalentdurchmessers) durch Offline-Analyse		37
H.1	Allgemeines	37
H.2	Kaskadenimpaktoren	37
H.2.1	Allgemeines	37
H.2.2	Annahmen und potenzielle Probleme	37
Anhang I (informativ) Monitore zur Bestimmung der größen aufgelösten NOAA-Anzahlmetrik (anzahlgewichtete Verteilung des aerodynamischen Äquivalentdurchmessers)		38
I.1	Allgemeines	38
I.2	Annahmen und potenzielle Probleme	38
Anhang J (informativ) Anzahlgewichtete kleinste Feret-Durchmesserverteilung der Primärpartikel von Aggregaten und Bestandteilen von Aggregaten		39
J.1	Der Unterschied zwischen einem NOAA- und einem Nicht-NOAA-Partikel	39
J.2	Agglomerate und Aggregate	39
J.3	Probenanalyse in einem Elektronenmikroskop	40
J.3.1	Allgemeines	40
J.3.2	Annahmen und mögliche Probleme	40
Literaturhinweise		41

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 16966:2016) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 137 „Bewertung der chemischen und biologischen Stoffbelastung am Arbeitsplatz“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wurde unter einem Mandat erarbeitet, das die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelszone dem CEN erteilt haben.

Einleitung

In der Vergangenheit wurde die berufsbedingte Exposition von Arbeitern gegenüber luftgetragenen, nicht-radioaktiven Partikeln als Massenkonzentration angegeben. Die wichtigste Ausnahme waren Fasern unterschiedlicher Zusammensetzungen, die für Fasern als Anzahlkonzentration innerhalb festgelegter Durchmesser und Längengrenzen angegeben wurden. Weitere Ausnahmen sind für Enzyme die Glycin-einheiten je Kubikmeter und für luftgetragene mikrobiologische Organismen die Anzahl der kolonie-bildenden Einheiten.

Derzeit werden synthetische/hergestellte Nanomaterialien im großen Umfang eingesetzt. Nur bei einigen wenigen Nanomaterialien gibt es ausreichend umfangreiche Kenntnisse, welche Expositionsparameter für bestimmte gesundheitsrelevante Endpunkte kritisch sind. Dokumente zu den Kriterien von luftgetragenen Nanoobjekten und deren Agglomeraten und Aggregaten (NOAAs) sind selten und Angaben über maximal zulässige Arbeitsplatzkonzentrationen (OELs), speziell für NOAAs, fehlen. Gegenwärtig gibt es keine allgemeine Einigung zur Metrik der Exposition am Arbeitsplatz gegenüber luftgetragenen NOAAs. Dennoch sollten alle maximal zulässigen Arbeitsplatzkonzentrationen eingehalten werden, ganz gleich ob die luftgetragenen Partikel als NOAAs eingestuft sind oder nicht. Die Konzentrationen von luftgetragenen Partikeln können als Anzahl-, Oberflächen- oder Massenkonzentrationen angegeben werden. Bei kugelförmigen Partikeln beziehen sich diese mathematisch auf das Integral über alle Partikelgrößen der Anzahl von Partikeln (je Größe) mal der entsprechenden Partikelgröße potenziert mit null, zwei bzw. drei. Die unterschiedlichen Bezeichnungen der Partikelkonzentrationen werden allgemein als verschiedene Metriken bezeichnet.

Messgeräte für die Bestimmung von Konzentrationen der luftgetragenen Partikel basieren im Allgemeinen auf einem bestimmten Messprinzip, entsprechend dem die Partikel in nur einer der Metriken gemessen werden. Partikelkonzentrationen die sich aus diesen Metriken ergeben, sind miteinander über die Partikelgrößenverteilung verbunden, aber im Allgemeinen ist es schwierig, wenn nicht gar unmöglich, eine in einem metrischen Maß gegebene Konzentration in eine andere umzurechnen, wenn die gesamte Größenverteilung unbekannt ist und die Partikel nicht kugelförmig oder von unterschiedlicher/unbekannter effektiver Dichte sind. Es ist deshalb wichtig, dass der Anwender von Messdaten über die berufliche Exposition gegenüber Nanopartikeln die Konzepte der Partikelmetriken versteht.

Aufgrund der Bewertung ist es empfehlenswert, dass die berufliche Exposition gegenüber luftgetragenen NOAAs parallel mit mehr als einer Metrik bestimmt wird, weil gegenwärtig unbekannt ist, welche Metrik später bei den kritischen Auswirkungen auf die Gesundheit als am relevantesten in Betracht kommen wird.

1 Anwendungsbereich

Die Europäische Norm bietet eine Orientierungshilfe zu den Auswirkungen der Wahl der Partikelmetrik, um die Exposition gegenüber luftgetragenen NOAAs zum Ausdruck zu bringen, die z. B. aus Nanomaterialien¹⁾ freigesetzt werden, und zeigt die Arbeitsweisen sowie die Vor- und Nachteile der verschiedenen Techniken auf, mit denen die verschiedenen Aerosol-Metriken gemessen werden. Die Norm legt fest, welche Metriken während einer Grundbewertung und einer umfassenden Bewertung, wie in WI 00137053 [1] beschrieben, gemessen werden sollten.

Mögliche Probleme und Einschränkungen werden beschrieben und sind anzusprechen, wenn die Grenzwerte der maximalen Arbeitsplatzkonzentration künftig angenommen werden könnten und Messungen in Bezug auf deren Einhaltung durchgeführt werden.

Besondere Informationen werden vor allem für die folgenden Metriken/Messverfahren gegeben:

- Anzahlkonzentration/Kondensationspartikelzähler durch optischen Nachweis;
- Anzahlgrößenverteilung durch Elektromobilität;
- Oberfläche (elektrische Ladung auf der zur Verfügung stehenden Fläche);
- Massen-/chemische Analysen [z. B. durch Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-MS), Röntgenfluoreszenzanalyse (XRF)] an grössenselektiven Proben (z. B. durch Impaktion oder Diffusion).

Dieses Dokument ist für diejenigen vorgesehen, die für die Auswahl von Messverfahren für die berufsbedingte Exposition gegenüber luftgetragenen Nanoobjekten verantwortlich sind.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

EN 1540, *Exposition am Arbeitsplatz — Terminologie*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN 1540 und die folgenden Begriffe.

**3.1
aerodynamischer (Partikeläquivalent-)Durchmesser**
Durchmesser einer Kugel mit der Dichte $1\,000\text{ kg/m}^3$ und der gleichen Sinkgeschwindigkeit in ruhender Luft wie das Partikel unter den vorherrschenden Bedingungen bezüglich Temperatur, Druck und relativer Feuchte

Anmerkung 1 zum Begriff: Der aerodynamische Partikeldurchmesser hängt von dessen Größe, Dichte und Form ab.

Anmerkung 2 zum Begriff: Im menschlichen Atemwegsbereich wird die Ablagerung von Partikeln mit einem aerodynamischen Durchmesser von weniger als etwa $0,4\text{ }\mu\text{m}$ besser durch den diffusionsäquivalenten Partikeldurchmesser gekennzeichnet.

[QUELLE: EN 1540, Begriff 2.3.2, modifiziert]

1) Gegenwärtig hat die EU eine Empfehlung für eine Definition von Nanomaterialien herausgegeben [Quelle: *Amtsblatt der Europäischen Union* L275/38 vom 20. Oktober 2011]. In dieser Norm wird die ISO-Definition für Nanomaterialien usw. angewendet.

3.2

Agglomerat

Ansammlung schwach gebundener Partikel oder Aggregate bzw. Gemische der beiden, in welcher die resultierende (äußere) Oberfläche ähnlich der Summe der Oberflächen der einzelnen Bestandteile ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Die ein Agglomerat zusammenhaltenden Kräfte sind schwache Kräfte, beispielsweise Van-der-Waals-Kräfte oder einfache physikalische Verhakungen.

Anmerkung 2 zum Begriff: Agglomerate werden auch als Sekundärpartikel bezeichnet und die ursprünglichen Ausgangspartikel werden als Primärpartikel bezeichnet.

[QUELLE: ISO/TS 27687, Begriff 3.2] [2]

3.3

Aggregat

Partikel aus fest gebundenen oder verschmolzenen Partikeln, bei dem die resultierende (äußere) Oberfläche wesentlich kleiner als die Summe der berechneten Oberflächen der einzelnen Bestandteile ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Die ein Aggregat zusammenhaltenden Kräfte sind starke Kräfte, zum Beispiel kovalente Bindungen oder solche Kräfte, die sich auf Sintern oder komplexen physikalischen Verhakungen beruhen.

Anmerkung 2 zum Begriff: Aggregate werden auch als Sekundärpartikel bezeichnet und die ursprünglichen Ausgangspartikel werden als Primärpartikel bezeichnet.

[QUELLE: ISO/TS 27687, Begriff 3.3]

3.4

luftgetragene Hintergrundpartikel

Partikel, die zum Zeitpunkt und der Position vorkommen, wo die Proben entnommen oder die Messungen mit unterschiedlichen Metriken der NOAAs durchgeführt werden, die jedoch einen anderen Ursprung als die NOAAs haben

Anmerkung 1 zum Begriff: Eine Teilmenge der Hintergrundpartikel sind ultrafeine Partikel. Der Ausdruck ultrafeine Partikel wird oft verwendet, um unbeabsichtigt hergestellte Nanopartikel zu beschreiben.

3.5

Brunauer, Emmett und Teller-Verfahren (BET-Verfahren)

Verfahren zur Bestimmung der gesamten spezifischen äußeren und inneren Oberfläche von dispergierten Pulvern und/oder porösen Feststoffen je Masseneinheit durch Messung der Menge an physikalisch adsorbiertem Gas unter Anwendung des durch Brunauer, Emmett und Teller entwickelten Modells zur Interpretation von Gasadsorptionsisothermen

Anmerkung 1 zum Begriff: Das Verfahren stammt von Brunauer, Emmett und Teller [3].

Anmerkung 2 zum Begriff: Unzugängliche Poren werden nicht nachgewiesen. Das BET-Verfahren kann auf Feststoffe, die das Messgas absorbieren, nicht zuverlässig angewendet werden.

[QUELLE: ISO 9277, modifiziert] [4]

3.6

Sammelprobe (von Nanopartikeln)

eine aus einem Behälter mit synthetischen/hergestellten Nanopartikeln gesammelte Probe, in dem das Material zur anschließenden Verwendung an eine andere Stelle transportiert wird

3.7

Koagulation

durch Relativbewegung zwischen den Partikeln hervorgerufener Prozess, der bewirkt, dass die Partikel miteinander kollidieren und danach aneinander haften

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei nanoskaligen Partikeln ist die Brownsche Diffusion die dominierende Quelle der Relativbewegung zwischen den Partikeln, während bei Partikeln, die sich in der Größe wesentlich unterscheiden, die entsprechenden Absetzgeschwindigkeiten die dominierende Quelle sein können. Koagulation führt zu einer Verringerung der Anzahlkonzentration von luftgetragenen Partikeln und einer gleichzeitigen Zunahme der Partikelgröße. Die Oberflächenkonzentration und Massenkonzentration bleiben von der Koagulation unbeeinflusst.

3.8

Koinzidenz

zwei Partikel befinden sich gleichzeitig im Erfassungsbereich eines Messgeräts, werden aber als ein (möglicherweise größeres) Partikel registriert

3.9

Kriteriendokument

nationales oder internationales Dokument, das als Grundlage für die Festlegung einer maximalen Arbeitsplatzkonzentration (OEL) entwickelt wurde

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Dokumente enthalten im Allgemeinen eine kritische Überprüfung der zur Verfügung stehenden wissenschaftlichen und technischen Angaben über die Häufigkeit von Gefährdungen, das Bestehen von Sicherheitsrisiken und Gesundheitsgefährdungen und die Eignung von Verfahren zur Identifizierung und Eindämmung der Gefährdungen.

3.10

Gesamtheit

Ensemble

(Adjektiv) Bezugnahme auf die Gesamtheit aller Partikel

Anmerkung 1 zum Begriff: Dies könnte sich zum Beispiel auf Partikelanzahl-, Oberflächen- oder Massenkonzentrationen beziehen.

3.11

äquivalente Dichte (effektive Dichte)

Verhältnis der Masse eines Agglomerats/Aggregats zu dem durch einen Äquivalentdurchmesser festgelegten Volumen einer Kugel

Anmerkung 1 zum Begriff: Die äquivalente Dichte nimmt in der Regel ab, während die Größe eines Agglomerats/Aggregats zunimmt.

3.12

Äquivalentdurchmesser

Durchmesser einer Kugel, die bei einem bestimmten Messgerät zur Partikelgrößenbestimmung ein Ansprechverhalten zeigt, das dem erhaltenen Ansprechverhalten des gemessenen Partikels gleicht

Anmerkung 1 zum Begriff: Die physikalische Eigenschaft, auf die sich der Äquivalentdurchmesser bezieht, wird mithilfe eines geeigneten Index angegeben (siehe ISO 9276-1).

[QUELLE: ISO/TS 27687, A.3.3, modifiziert]

3.13

extern gemischtes Aerosol

ein Aerosol, das aus mehr als einer Art von Partikeln besteht, wobei jede Partikelart aus einer eigenen (einzelnen) chemischen Verbindung besteht

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein Beispiel für ein extern gemischtes Aerosol ist ein Arbeitsplatz-aerosol, das aus Dieselrauch und Kohlebergwerksstaub besteht.

3.14

Feret-Durchmesser

Abstand zwischen zwei parallelen Tangenten an gegenüberliegenden Seiten des Bildes eines Partikels

[QUELLE: ISO 26824, 8.6] [5]

3.15

intern gemischtes Aerosol

ein Aerosol, bei dem alle Partikel aus mehr als einer chemischen Verbindung bestehen

Anmerkung 1 zum Begriff: Schweißrauch ist ein Arbeitsplatzaerosol, bei dem sämtliche Partikel zusätzlich zu den amorphen Verbindungen kleinere Kristalle unterschiedlicher Elementarzusammensetzung enthalten.

3.16

(Partikel) i -tes Moment

M_i

Eigenschaft der durch die Integration von d potenziert mit i über die gesamte Größenverteilung erhaltenen Partikelgrößenverteilung

Anmerkung 1 zum Begriff: Das i -te Moment der Partikelgröße d wird wie folgt berechnet

$$M_i = \int_0^{\infty} d^i f(d) dd$$

Dabei ist:

d die Partikelgröße, und

$f(d)$ die anzahlgewichtete Partikelgrößenverteilung.

Anmerkung 2 zum Begriff: Das Maß des i -ten Moments der Partikelgröße d ist [LÄNGE] ^{i} , oft angegeben in μm hoch i je Volumen. Das heißt, dimensionslos für $i = 0$, μm^2 für $i = 2$ und μm^3 für $i = 3$.

3.17

(Partikel-)Massendichte

Verhältnis der Partikelmasse zum Partikelvolumen abzüglich aller Poren, Hohlräume und anderen gashaltigen Kompartimente

3.18

Anzahlmedian(partikel)durchmesser

Mediandurchmesser der gezählten Partikel

Partikelgröße einer Partikelverteilung, bei der eine Hälfte der Gesamtanzahl der Partikel größer und eine Hälfte kleiner ist

[QUELLE: ISO 16972:2010, 3.47] [6]

3.19

Metrik (der luftgetragenen Nanopartikelkonzentration)

Menge einer ausgewählten Nanopartikelcharakteristik, in der die Partikelkonzentration angegeben wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Nanopartikelmetriken, angegeben als (Partikel)Momente der nullten, zweiten und dritten Ordnung, entsprechen der Partikelanzahl-, der (geometrischen) Partikeloberflächen- bzw. der Partikelvolumen-(Massen-)konzentration.

Anmerkung 2 zum Begriff: Als Beispiel kann alveolengängiges (einatembares) kristallines Siliziumdioxid (Quarzfeinstaub) als Teilmenge (kristallines Siliziumdioxid) einer Teilmenge (alveolengängige Aerosolfraction) der Partikel-massenmetrik in Betracht kommen.

3.20

minimaler-Feret-Durchmesser

minimale Länge eines Objekts unabhängig von dessen Orientierung

[Angepasst von ISO/TR 945-2, 2.1] [7]

3.21

(elektrischer) Mobilitäts(äquivalent)durchmesser

Durchmesser einer Kugel, die eine einzige Elementarladung mit der gleichen Driftgeschwindigkeit in einem elektrischen Feld trägt, wie das Partikel unter den vorherrschenden Temperaturbedingungen und Druck

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Mobilitätsdurchmesser eines Partikels hängt von dessen Größe, Form und elektrischem Ladungszustand ab (der vom Ladevorgang seiner involvierten Kapazität abhängt, d. h. von dessen Fähigkeit durch bipolare Luftionen elektrisch aufgeladen zu werden), jedoch nicht von dessen Dichte.

3.22

(Echtzeit-)Monitor

ein Messgerät, das kontinuierlich ein Objekt misst und zum Zweck der Messungen eine permanente Anzeige liefert/den Messwert aufzeichnet

Anmerkung 1 zum Begriff: Die betreffenden Messgeräte zeigen üblicherweise jede Sekunde oder sogar noch schneller einen Wert an. Messgeräte mit einer Zeitauflösung von 1 min bis zu mehreren Minuten werden im Allgemeinen als Quasi-Echtzeitmessgeräte bezeichnet.

3.23

Nanomaterial

Material mit beliebigen Außenmaß im Nanomaßstab oder mit einer internen Struktur oder Oberflächenstruktur im Nanomaßstab

[QUELLE: ISO/TS 8004-1, 2.4] [8]

3.24

Nanoobjekt

Material mit einem, zwei oder drei Außenmaß(en) im Nanomaßstab

Anmerkung 1 zum Begriff: Dies ist ein generischer Begriff für alle einzelnen **nanoskaligen** Objekte.

[QUELLE: ISO/TS 27687, Begriff 2.2]

3.25

Nanoobjekte und deren Agglomerate und Aggregate (NOAA)

Partikel, die entweder Nanoobjekte sind, oder deren Agglomerate oder deren Aggregate

Anmerkung 1 zum Begriff: Agglomerate und Aggregate können größer als 100 nm sein.

3.26

Nanopartikel

Nanoobjekt mit allen drei Außenmaßen im Nanomaßstab

Anmerkung 1 zum Begriff: Wenn sich die Längen der längsten und der kürzesten Achsen des Nanoobjekts wesentlich unterscheiden (üblicherweise um mehr als das Dreifache), sollten die Begriffe Nanofaser oder Nanoplättchen statt des Begriffs Nanopartikel verwendet werden.

[QUELLE: ISO/TS 27687, Begriff 4.1]

3.27

nanoskalig

Größenbereich von etwa 1 nm bis 100 nm

Anmerkung 1 zum Begriff: Eigenschaften, die keiner Extrapolation von einer größeren Größe entsprechen, zeigen sich üblicherweise, jedoch nicht ausnahmslos, in diesem Größenbereich. Für derartige Eigenschaften sind die Größengrenzwerte als ungefähre Werte zu betrachten.

Anmerkung 2 zum Begriff: Der untere Grenzwert in dieser Definition (etwa 1 nm) wird eingeführt, um zu vermeiden, dass einzelne Atome oder kleine Atomgruppen als Nanoobjekte oder Bestandteile von Nanostrukturen bezeichnet werden, was bei Abwesenheit eines unteren Grenzwerts impliziert werden könnte.

[QUELLE: ISO/TS 27687, Begriff 2.1]

3.28

Partikel

sehr kleines Stück einer Substanz mit definierten physikalischen Grenzen

Anmerkung 1 zum Begriff: Eine physikalische Grenze kann auch als Grenzfläche beschrieben werden.

Anmerkung 2 zum Begriff: Ein Partikel kann sich als eine Einheit bewegen.

Anmerkung 3 zum Begriff: Diese allgemeine Partikeldefinition gilt für Nanoobjekte.

Anmerkung 4 zum Begriff: Der physikalische Zustand der Partikel kann entweder fest oder flüssig sein.

[QUELLE: ISO/TS 27687, Begriff 3.1]

3.29

Primärpartikel

(gewöhnlich kugelförmiges) Partikel, das nicht aus einer Ansammlung von kleineren nicht-koaleszierten Partikeln gebildet wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Begriff bezieht sich üblicherweise auf Partikel, die durch Keimbildung aus der Dampfphase gebildet werden, bevor die Koagulation stattfindet.

Anmerkung 2 zum Begriff: Diese Partikel sind im Allgemeinen die ursprünglichen Ausgangspartikel von Agglomeraten oder Aggregaten oder Gemischen von beiden.

[QUELLE: ISO/TS 27628, Begriff 2.16, modifiziert] [9]

3.30

größenaufgelöst

(Adjektiv) zeigt an, dass die Verteilung von einer bestimmten Eigenschaft bei einer Reihe von Partikelgrößen bekannt ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Dies könnte sich zum Beispiel auf Partikelanzahl-, Oberflächen(bereichs)- oder Massenkonzentrationen beziehen.

3.31

(Partikel-)Oberfläche

externe (geometrische) Oberfläche eines Partikels

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Partikeloberfläche kann nur bei kugelförmigen Partikeln durch die Partikelgrößenverteilung direkt bestimmt werden.

Anmerkung 2 zum Begriff: Der Messwert der Oberfläche eines Partikels hängt vom angewendeten Messverfahren ab. Die Verwendung von kleinen Gasmolekülen (BET-Verfahren), Diffusionsaufladung von Partikeln mit Luftionen (siehe Anhang D) oder Bildanalysen in einem Elektronenmikroskop (siehe Anhang J) führt gewöhnlich aufgrund von impliziten Annahmen/Einschränkungen der jeweiligen Verfahren zu unterschiedlichen Messwerten.

3.32

thermodynamischer (Partikel-) Äquivalentdurchmesser, diffusions(äquivalenter)(Partikel-) Durchmesser

Durchmesser einer Kugel mit dem gleichen Diffusionskoeffizienten wie das Partikel unter den vorherrschenden Bedingungen von Temperatur und Druck

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Diffusionsdurchmesser eines Partikels hängt von dessen Größe und Form ab, jedoch nicht von dessen Dichte.

Anmerkung 2 zum Begriff: Im menschlichen Atemwegsbereich wird die Ablagerung von Partikeln mit einem Diffusionsdurchmesser größer als etwa 400 nm besser durch den aerodynamischen Partikeläquivalentdurchmesser beschrieben.

3.33

Volumen(äquivalent)durchmesser

Durchmesser einer Kugel mit dem gleichen Volumen wie das Partikel unter vorherrschenden Bedingungen von Temperatur und Druck

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Volumendurchmesser eines Partikels hängt von dessen Größe und Form ab, jedoch nicht dessen Dichte.

Anmerkung 2 zum Begriff: Intern gasgefüllte Hohlräume und Poren sind nicht im Volumen eines Partikels enthalten.

4 Symbole und Abkürzungen

BET	Brunauer – Emmet - Teller (ein Verfahren zur Bestimmung der äußeren und inneren Oberfläche einer Substanz durch Adsorption von N ₂ -Molekülen, benannt nach den Erfindern, siehe ISO 9277)
CMD	Mediandurchmesser der gezählten Partikel (der anzahlgewichtete Durchmesser)
CNT	Kohlenstoffnanoröhre
CPC	Kondensationspartikelzähler
DC	Partikeldiffusionsauflader
DEMC	differentieller elektrischer Mobilitätsklassierer
DMAS	differentielles Mobilitätsanalysesystem (differentielles Mobilitätsspektrometer)
EC	elementarer Kohlenstoff
EDX	energiedispersive Röntgenfluoreszenz
EELS	Elektronenenergieverlustspektroskopie
ELPI	Elektrischer Niederdruckimpaktor
ICP-MS	Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma
OEL	maximale Arbeitsplatzkonzentration
ROS	reaktive Sauerstoffspezies
SEM	Rasterelektronenmikroskop
TEM	Durchstrahlungsmikroskop (Transmissionselektronenmikroskop)
XRF	Röntgenfluoreszenz

5 Relevanz der ISO-Definition für die Bewertung der gesundheitlichen Auswirkungen von luftgetragenen NOAAs

Luftgetragene Partikel, deren Morphologie und Größenverteilung so sind, dass davon auszugehen ist, dass sie NOAAs sind, können mehr oder weniger potenziell gesundheitsschädliche Auswirkungen als luftgetragene Partikel haben, die nicht in den Definitionsbereich der NOAA fallen. Die Aufgabe der Arbeitshygiene konzentriert sich daher weiterhin auf luftgetragene Partikel mit möglichen schädlichen Auswirkungen auf die Gesundheit; allerdings werden die Partikel klassifiziert.

Mit der zunehmenden Anwendung der Nanotechnologie und Exposition gegenüber luftgetragenen Nanopartikeln ist jedoch davon auszugehen, dass die Verfahren, um festzustellen, ob eine bestimmte Exposition NOAA enthält oder nicht, Bedeutung erlangen werden.

Eine derartige Klassifizierung kann nur mit einem Rasterelektronenmikroskop (SEM) mit hoher Auflösung oder in einem Transmissionselektronenmikroskop (TEM) durchgeführt werden. Gegenwärtig scheint kein validiertes Verfahren zur Verfügung zu stehen, weder von privaten Organisationen, Universitäten, nationalen Forschungsinstituten noch von internationalen Normungsorganisationen. Daher wird ein vorläufiges Verfahren vorgeschlagen. Es ist in Anhang J beschrieben.

ANMERKUNG Eine alternative Verfahrensweise besteht darin, anzunehmen, dass sich alle gemessenen Partikel in der alveolengängigen Fraktion befinden und größer als 100 nm NOAA sind, vorausgesetzt, dass das gehandhabte Nanomaterial Nanobjekte enthält, oder wenn der Medianwert der Verteilung von anzahlgewichteten, mobilitätsbemessenen Partikelgrößen kleiner als 100 nm ist.

6 Partikelmetriken und deren Auswahl

6.1 Aus Nanopartikeln bestehende Arbeitsplatz aerosole

An Arbeitsplätzen können Partikel von Nanomaterialien freigesetzt und als luftgetragene Partikel in die Luft am Arbeitsplatz emittiert werden. Die Aerosole existieren in der Regel auch in einer aus Partikeln anderer Herkunft bestehenden Mischung, z. B. Verbrennungsaerosole aus Dieselmotoren, bei Schleifprozessen [10] anfallende Nanopartikel und viel größere Partikel aus anderen Quellen (siehe Anhang A). Das Arbeitsplatz-aerosol kann intern und extern gemischt sein.

Synthetische/hergestellte Nanopartikel können in einer ähnlichen Größenordnung wie Hintergrundpartikel (bezogen auf das Herstellungsverfahren) vorliegen. Diese Partikel sind im Allgemeinen bei unterschiedlichen thermischen Vorgängen entstanden, zum Beispiel beim Heizen und aus Verbrennungsmotoren. Die Hintergrundpartikel können beispielsweise über die Belüftung an den Arbeitsplatz gelangen oder näher an der Quelle der luftgetragenen synthetischen/hergestellten Nanopartikel entstehen, beispielsweise durch einen Gabelstapler.

Die Quelle der Nanopartikelemissionen wird sich stark auf die Größenverteilung luftgetragener Partikel der hergestellten NOAAs auswirken, die von Interesse sind. Kleine, in hohen Konzentrationen ($\sim 1 \times 10^6 \text{ cm}^{-3}$) (mit einem Mediandurchmesser der gezählten Partikel (CMD) $\approx 20 \text{ nm}$) in eine Arbeitsplatzatmosphäre mit einer hohen Konzentration an Hintergrundpartikeln emittierte Nanopartikel (wenn auch weniger als 1 % der Nanopartikelkonzentration, $\sim 1 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$) mit einem beträchtlich größeren CMD als 100 nm, werden sich aufgrund von deren hoher Diffusionsfähigkeit bald selbst an die größeren luftgetragenen Partikel anheften (intern gemischtes Aerosol) [11] (dieser Vorgang wird auch als Spülung bezeichnet). Kleine, in hohen Konzentrationen in eine Arbeitsplatzatmosphäre mit einer geringen Konzentration an Hintergrundpartikeln emittierte Nanopartikel (mit einem CMD $\approx 20 \text{ nm}$) (z. B. durch ein Leck bei einem Prozess) werden aufgrund von deren hoher Diffusionsfähigkeit rasch zu größeren luftgetragenen Agglomeraten koagulieren [11]. Kleine, in geringen Konzentrationen in eine Arbeitsplatzatmosphäre mit einer geringen Konzentration an Hintergrundpartikeln emittierte Nanopartikel (mit einem CMD $\approx 20 \text{ nm}$) werden mit ihrer Größenverteilung nahezu unverändert bleiben (extern gemischte Aerosole) [11]. Pulver/Materialien, die aus ursprünglich im Nanogrößenbereich hergestellten Partikeln bestehen, die in

Säcken oder Fässern aufbewahrt wurden, werden bei der Handhabung und Lagerung agglomerieren. Werden diese bei der erneuten Handhabung verteilt, werden die ursprünglichen Nanopartikel als größere Agglomerate in die Luft getragen, möglicherweise mit aerodynamischen Größen, die sich bis in den Mikrometerbereich erstrecken (extern gemischt Aerosole).

Werden Partikelgrößenverteilungen in dem Fall gemessen, bei dem Nanopartikel in eine Arbeitsplatzatmosphäre mit einem Hintergrund an beiläufig entstandenen Nanopartikeln (ultrafeine Partikel) emittiert werden, z. B. kontinuierlich oder intermittierend erzeugte Dieselabgase, kann es schwierig werden, die Partikel von den beiden Quellen zu trennen, wenn die Probenahme-/Monitoringstrategie nicht speziell für diese Situation optimiert wurde.

Wenn die Exposition gegenüber synthetischen/hergestellten Nanopartikeln für den Fall eines extern gemischten Aerosols bestimmt wird (d. h. ein Aerosol, das aus mehr als einer Partikelart besteht, wobei jede Partikelart aus einer eigenen (einheitlichen) chemischen Verbindung besteht), wird es notwendig sein, die Nanopartikel vom Hintergrund zu unterscheiden. Mit dem Einsatz von Monitoren könnte es durch Messung der Konzentration mit identischen Monitoren möglich sein, festzustellen, wann/wo die Anwesenheit synthetischer/hergestellter Nanopartikel vermutet wird und wann/wo nur Hintergrundpartikel/beiläufig entstandene/natürliche Partikel vorhanden sind.

WI 00137053 bietet ein statistisches Verfahren, um festzustellen, ob die Konzentration bei vermutlich anwesenden synthetischen/hergestellten Nanopartikeln tatsächlich höher sein kann als Konzentrationen, die zeitlich oder räumlich voneinander getrennt gemessen werden. Der Unterschied zwischen synthetischen/hergestellten Nanopartikeln und Hintergrundnanopartikeln lässt sich in einigen Fällen auch durch chemische Analyse bestimmen. Das Vorhandensein von luftgetragenen synthetischen/hergestellten Nanopartikeln im Atembereich muss verifiziert werden.

Für den Fall eines intern gemischten Aerosols (d. h. eines Aerosols, bei dem alle Partikel aus mehr als einer chemischen Verbindung bestehen), wird es praktisch unmöglich sein, zwischen den synthetischen/hergestellten Nanopartikeln und den Hintergrundpartikeln/beiläufig entstandenen Partikeln unter Anwendung von Messverfahren zu unterscheiden, die nicht in der Lage sind (entweder durch physikalische oder chemische Mittel) Partikel zu identifizieren, die zum Teil ein ursprünglich synthetisch hergestelltes Nanopartikel enthalten.

6.2 Toxikologische Aspekte

Bei toxikologischen Untersuchungen (*in vitro* und *in vivo*) wurde herausgefunden, dass in einigen Fällen der Einfluss auf den toxikologischen Endpunkt proportional zur Partikeloberflächenkonzentration (gemessen nach dem BET-Verfahren) oder zu den Partikelanzahlkonzentrationen ist. In manchen Fällen fällt der Einfluss bei unterschiedlichen Materialien in einer linearen Funktion zusammen. Das ist jedoch *nicht immer* der Fall.

6.3 Nanopartikelmetriken

Die gegenwärtig in Gebrauch befindlichen Metriken für Proben von luftgetragenen Partikeln sind auf Partikelgrößenverteilungen, Konzentrationen von Partikelanzahl, Partikeloberfläche, Partikelgesamt- oder Partikelelementarmasse und unspezifische Parameter, beispielsweise elementarer Kohlenstoff (EC) und reaktive Sauerstoffspezies (ROS), begrenzt.

Beim gegenwärtigen unübersichtlichen Zustand, welche von den Parametern von Nanopartikeln mit spezifischen toxikologischen Endpunkten korrelieren, könnte es sich sehr wohl herausstellen, dass unterschiedliche Partikelmetriken mit unterschiedlichen gesundheitlichen Endpunkten korrelieren. Infolgedessen wird der Arbeitshygiene bei Untersuchungen der Exposition gegenüber Nanopartikeln empfohlen, so viele Metriken der Exposition wie möglich zu bestimmen.

Die vorliegende Norm legt nur die Anforderungen an die Auswahl der Metriken dar, die bei der Messung der Konzentration von luftgetragenen NOAAs bezüglich der Partikelgröße zur Anwendung kommen — Nanopartikelanzahl-, Nanopartikeloberflächen- bzw. Nanopartikelmassenkonzentration.

ANMERKUNG Definitionsgemäß braucht ein Nanopartikel nicht kleiner als 100 nm zu sein. Es ist deshalb keine Frage der Begrenzung der Messungen auf Partikel mit Größen von weniger als 100 nm.

6.4 Metriken der Nanopartikelanzahl, der Nanopartikeloberfläche und der Nanopartikelmasse

Die Nanopartikelkonzentration kann nach verschiedenen Metriken gemessen werden. Die wichtigsten bei der Arbeitshygiene verwendeten Messgrößen sind Partikelanzahlkonzentration, Partikeloberflächenkonzentration und Partikel(volumen)massenkonzentration. In der vorliegenden Norm wird die Anwendung dieser Partikelmetriken auf Nanopartikel dargestellt. Potentielle Messfehler aufgrund der Anwesenheit von Nicht-Nanopartikeln werden diskutiert.

ANMERKUNG Eine Folge der Definition des Moments der Partikelgröße ist, dass bei einer Metrik (einem Moment) höherer Ordnung größere Partikel eine größere relative Bedeutung haben werden. Bei einer Größenverteilung von sphärischen Partikeln ist die Zahl (Anzahl) der Mediandurchmesser kleiner als der Mediandurchmesser des Oberflächenbereichs, der wiederum kleiner ist als der Mediandurchmesser des Volumens (der Masse). Bei einem agglomerierten Aerosol oder einem aus intern vermischten Partikeln bestehenden Aerosol ist dieser Effekt deutlich verringert.

Die Massenkonzentration eines Arbeitsplatzaerosols (d.h. entweder durch gravimetrische Analyse der Gesamtheit von gesammelten Partikeln bestimmt oder als Massenkonzentrationen abgeschätzt aus Messungen der Partikelgrößenverteilung aller luftgetragenen Partikel) wird meist nie ein guter Indikator für die Exposition gegenüber Nanopartikeln sein, es sei denn, diese ist chemisch spezifiziert, so dass die synthetischen/hergestellten Nanopartikel aus dem Hintergrund entweder anhand der Größe oder zeitlich unterschieden werden können. Die Massenkonzentration von luftgetragenen synthetischen/hergestellten Nanopartikeln ist nur dann von Interesse, wenn diese für das interessierende spezifische Nanomaterial chemisch bestimmt werden kann, und lediglich in diesem Fall kann die Metrik der Nanopartikelmasse bestimmt werden.

Die Analyse von Partikelproben (entweder von Nanopartikeln und Nicht-Nanopartikeln oder nur von Nanopartikeln) kann entweder auf der Gesamtheit aller Partikel oder auf einzelnen Partikeln basieren. Eine Metrik kann entweder größenintegriert (das heißt für die Summe aller Partikelgrößen), größen aufgelöst (d.h. in Abhängigkeit von der Partikelgröße) oder größen selektiv bestimmt werden. Die größen selektive Probenahme ist eindeutig definiert und wird durch eine Probenahmekonvention beschrieben. Beispielsweise sind die größen selektive, alveolengängige, thorakale und einatembare Fraktion bei der Arbeitshygiene in EN 481 [12] und ISO 7708 [13] festgelegt. Zu der Definition von Aerosolfraktionen der abgelagerten Partikel siehe EN ISO 13138 [14]

6.5 Arbeitsplatzgrenzwerte für Nanopartikel

Zum Zeitpunkt der Erarbeitung dieser Norm war für jede Art von Nanopartikeln kein gesetzlich durchsetzbarer OEL-Wert von irgendeiner Organisation festgelegt gewesen. Für einen chemischen Arbeitsstoff, für den ein OEL vorhanden ist, muss die Exposition nach EN 689 sowie nach dieser Europäischen Norm bewertet werden. Die allgemeine Entwicklung, um einen OEL für ein synthetisches/hergestelltes Nanomaterial festzulegen ist in ISO/AWI TR18637 [15] beschrieben.

ANMERKUNG 1 Um die Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen zu beurteilen, hat in Deutschland die IFA/DGUV zwei anzahlbasierte, auf einen Bezugswert (Benchmark) bezogene Niveaus für Konzentrationen von Partikeln aus granulierten Materialien im Größenbereich von 1 nm bis 100 nm vorgeschlagen. Für Materialien mit einer Dichte von mehr als 6 g/cm^3 beträgt der Bezugswert $20 \times 10^3 \text{ cm}^{-3}$ und für Materialien mit einer geringeren Dichte ist das Niveau des Bezugswerts doppelt so groß [16]. Basierend auf dem Konzept der Bezugswertniveaus haben die niederländischen Behörden die sogenannten Nanoreferenzwerte als ein brauchbares Werkzeug für das vorbeugende Risikomanagement bestätigt [17]. Andererseits hat der deutsche Ausschuss für Gefahrstoffe die Mitteilung Nr. 527 zu *synthetisch hergestellten Nanopartikeln* veröffentlicht, in der dieser einen massebasierten technischen Grenzwert für die Exposition gegenüber körnigen biopersistenten Partikeln von $0,5 \text{ mg/m}^3$ [18] vorschlägt. US NIOSH hat zwei empfohlene Grenzwerte, für Nano-TiO₂ [19] und Kohlenstoffnanoröhrchen (CNTs) und Kohlenstoffnanofasern [20] vorgeschlagen. Beide sind massenbasiert und wurden als alveolengängige Fraktion beprobt.

Es ist zu erwarten, dass sich die gegenwärtige Situation ohne gesetzlich durchsetzbare nanospezifische Arbeitsplatzgrenzwerte über einen längere Zeitspanne fortsetzen wird, und dass deshalb in absehbarer Zukunft das Monitoring/die Probenahme zur Feststellung der Exposition gegenüber synthetischen/hergestellten Nanopartikeln weder mit einem Kriteriendokument noch mit einem OEL-Wert durchgeführt werden wird, um einen Rahmen zu bieten und den Maßstab für die Bewertung der Expositionen zu setzen. Deshalb muss in Ermangelung guter Kenntnisse über die gesundheitlichen Auswirkungen von Nanomaterialien mehr als eine Metrik gemessen werden, siehe Anhang B.

ANMERKUNG 2 Grenzwerte für unvorhergesehene Nanopartikel, beispielsweise Schweißrauch und Dieselrauch, basieren gegenwärtig auf der Elementarmasse, entweder in der alveolengängigen oder der einatembaren Fraktion.

7 Strategie zur Bewertung der Exposition, basierend auf WI 00137053

7.1 Allgemeines

WI 137053 legt die Strategie für die Bewertung der Exposition gegenüber Nanoobjekten und deren Agglomeraten und Aggregaten fest. Die anfängliche Bewertung erfordert keine direkten Messungen und/oder Entnahmen von Proben. Bei den beiden höheren Bewertungsstufen müssen mehrere Metriken bestimmt werden.

Protokolle oder Analysen müssen zeigen, dass die angewendete Metrik auf die untersuchte NOAA bezogen ist.

7.2 Grundlegende Bewertung nach WI 00137053

Zum Verifizieren der Existenz von luftgetragenen NOAAs durch chemische Analyse bildet die Messung einer zeitaufgelösten und größenintegrierten NOAA-Metrik mit einem Monitor und (einer) Probe(n) die Grundlage der Bewertung. Abhängig vom Ergebnis der Analyse und dem vorgesehenen nächsten Schritt nach WI 137053 (Unbedenklichkeitserklärung von luftgetragenen NOAA, Risikominderung oder umfassende Bewertung) könnte es notwendig sein, nur eine der oder beide Analysen durchzuführen.

Nach WI 00137053 müssen diese beiden Ergebnisse negativ sein, um zu dem Schluss zu kommen, dass es keinen Beweis für die Exposition gibt. Wenn die Bewertungen nach WI 00137053 in einem „mehrstufigen Ansatz“ zur Anwendung kommen und eine der Messungen der grundlegenden Bewertung positiv ist, ist es möglich, entweder unmittelbar zur Risikominderung oder einer umfassenden Bewertung (siehe 7.3) überzugehen.

Eine oder beide dieser Metriken müssen angewendet werden:

- zeitaufgelöste und größenintegrierte Anzahl und/oder Oberfläche, entweder mit Monitoren und/oder der Analyse von Proben;
- zeitintegrierte Probenahme der alveolengängigen Fraktion für die größenintegrierte Offline-Charakterisierung, z. B. elementare Massenkonzentration durch chemische Analyse. Wenn kein chemisches Verfahren existiert, das zur quantitativen Bestimmung der Massenkonzentration des untersuchten Stoffes empfindlich genug ist, müssen Proben für die EM-Analyse gesammelt und analysiert werden.

ANMERKUNG 1 Die chemische Offline-Analyse wird durchgeführt, um zu festzustellen, ob die Partikel, die mit der möglichen Exposition im Zusammenhang stehen, tatsächlich die chemische Zusammensetzung haben wie das untersuchte synthetische/hergestellte Nanomaterial.

ANMERKUNG 2 Alveolengängige Proben können zugunsten von Proben für die EM-Analyse verworfen werden.

7.3 Umfassende Bewertung nach WI 137053

Zusätzlich zu den bei der grundlegenden Bewertung bestimmten Metriken muss auch mindestens eine der folgenden Metriken bestimmt werden:

- Metrik der größenintegrierten NOAA-Oberfläche (für die durch Diffusion im Alveolar- (Gasaustausch-) bereich abgelagerte Fraktion und gegebenenfalls auch für die durch Diffusion im tracheobronchialen Bereich abgelagerte Fraktion);
- Metrik der größen aufgelösten NOAA-Anzahl, die alle erheblich zur Konzentration der Gesamtpartikelanzahl beitragenden Modi einbezieht;

Falls hohe Konzentrationen an agglomerierten/aggregierten Partikeln mit Partikelgrößen von mehr als etwa 0,4 µm vorhanden sind, muss die Metrik von mehreren Messgeräten abgedeckt werden, die auf unterschiedlichen Äquivalentdurchmessern basieren. Neben diesem Mobilitätsäquivalentdurchmesser müssen dann Messgeräte eingesetzt werden, die auf dem aerodynamischen Äquivalentdurchmesser und/oder optischen Äquivalentdurchmesser basieren.

Die physikalischen Zusammenhänge zwischen diesen unterschiedlichen, auf Partikelform und Dichte basierenden Äquivalenzdurchmessern können weiter angewendet werden, um die von den verschiedenen Messgeräten herrührenden Daten zusammenzuführen.

- Metrik der größen aufgelösten NOAA-Massen, die alle erheblich zur Gesamtpartikelmassenkonzentration beitragenden Modi einbezieht;

Falls hohe Konzentrationen an Partikelmasse bei Partikelgrößen im aerodynamischen Größenbereich auftreten, muss die Probe mikroskopisch untersucht werden, um dabei zu helfen festzustellen, ob diese Partikel Agglomerate/Aggregate sind, bei denen die Primärpartikel der Agglomerate oder der Teilstrukturen der Aggregate im Größenbereich von ungefähr 1 nm bis 100 nm liegen. Wenn diese großen Partikel nicht als Nanopartikel, sondern beispielsweise als zusammengewachsen und/oder kompakt und annähernd isometrisch bewertet werden, ist die Massenkonzentration dieser Partikel kein Bestandteil der Metrik der Nanopartikelmasse.

Außerdem muss die folgende Probe gesammelt und analysiert werden:

- zeitintegrierte Probenahme für die Offline-Charakterisierung der Morphologie und chemischen Elementarzusammensetzung der luftgetragenen Partikel in einem TEM oder SEM mit hoher Auflösung.

ANMERKUNG 1 Die Offline-Analyse wird durchgeführt, um festzustellen, ob die Partikel, die mit der möglichen Exposition im Zusammenhang stehen, tatsächlich NOAAs der untersuchten synthetischen/hergestellten Nanomaterialien sind.

ANMERKUNG 2 Um zu bewerten, ob die gesammelten luftgetragenen Partikel NOAAs sind, kann die morphologische Analyse, durchgeführt werden, wie in Anhang J vorgeschlagen.

7.4 Personengetragene Sammler/Monitore im Vergleich zu stationären Sammlern/Monitoren

Im Allgemeinen wird bei der Arbeitshygiene die Exposition bei einzelnen Arbeitern während der gesamten Arbeitsschicht oder bei bestimmten Arbeitsaufgaben, anstatt z. B. der Exposition an verschiedenen Arbeitsplätzen, ermittelt. Vorzugsweise erfolgt die Probenahme unter Anwendung von personengetragenen Sammlern (en: personal sampler)/Monitoren im Atembereich. In vielen Fällen ist das z. B. wegen der Masse, der Größe und/oder des Strombedarfs der Sammler/Monitore nicht möglich. In einigen Fällen können flexible Schläuche mit minimalen Innenablagerungsverlusten verwendet werden, um einen Sammler/Monitor mit dem Atembereich eines Arbeiters zu verbinden. Wenn sich der Arbeiter zwischen einigen Arbeitsplätzen bewegt, könnte es möglich sein, einen Sammler/ein Monitor an jedem Arbeitsplatz

einzusetzen. Die persönliche Exposition in der Schicht kann dann aus den Konzentrationen und der je Arbeitsplatz verbrachten Zeit abgeschätzt werden. Falls dies nicht möglich ist, besteht der „ungünstigste Fall“, um die persönliche Exposition abzuschätzen darin, die Sammler/Monitore an den Stellen anzubringen, von denen angenommen wird, dass der Beitrag zur Dosis des Arbeiters dort am höchsten ist.

Alternativ kann die Konzentration in einem Arbeitsraum in Abhängigkeit vom Arbeitsplatz bestimmt und ein Lageplan über die Konzentrationen [21 bis 24] gezeichnet werden. Die Exposition einer kompletten Arbeitsschicht jedes teilnehmenden Arbeiters wird dann als zeitgewichteter Mittelwert der Exposition an den verschiedenen Arbeitsplätzen, an denen die Arbeiter/innen ihre Aufgaben erledigen, abgeschätzt. Koehler und Volckens diskutieren mögliche Probleme mit der räumlichen Darstellung von Konzentrationen [25].

8 Bestimmung der Exposition

8.1 Allgemeines

Luftgetragene Partikel gibt es in einer Vielzahl von Morphologien. Nur bei sphärischen Partikeln hat die Größe eine einzige Bedeutung, die direkt mit der geometrischen Partikelgröße in Zusammenhang steht. Bei nicht-kugelförmigen Partikeln hat deren „Größe“ keinen direkten, einfachen und selbstverständlichen Bezug auf deren geometrische Größe.

Agglomerate und Aggregate bestehen aus kleineren mit einer bestimmten Morphologie angeordneten Teilstrukturen. Im Fall von Agglomeraten sind diese Teilstrukturen primäre sphärische Partikel, die eine logarithmische Normalverteilung aufweisen. Im Fall von Aggregaten sind die bestimmenden Teilstrukturen nicht kugelförmig, sondern (eine Reihe von) Fraktionen von Kugeln. Bei einem Agglomerat berühren sich die primären sphärischen Partikel gegenseitig mit einem fast unendlich kleinen und dünnen „Hals“. Andererseits ist bei einem Aggregat der „Hals“ zwischen den bestimmenden Teilstrukturen groß und dick.

ANMERKUNG 1 Im Rahmen der Arbeitshygiene bezieht sich die Größe eines luftgetragenen Partikels auf dessen Größe, während dieses luftgetragen ist, ganz gleich, ob das Partikel aus nur einem Primärpartikel besteht oder ein Agglomerat aus kugelförmigen Primärpartikeln oder ein Aggregat aus mehreren Teilstrukturen ist. (Die Größe der Primärpartikel und die Anzahl der Primärpartikel je Agglomerat wird hauptsächlich zum Abschätzen der Eigenschaften der Agglomerate/Aggregate verwendet.) Im Gegensatz dazu basiert die EG-Definition eines Nanomaterials auf der Messung der Außendurchmesser von Primärpartikeln oder Teilstrukturen, ganz gleich, ob diese „in einem ungebundenen Zustand, als Aggregat oder als Agglomerat vorliegen“.

Bei der Arbeitshygiene ist die Größe eines nicht kugelförmigen Partikels durch die Bestimmung einer ausgewählten Eigenschaft (von vielen) des Partikels und der Feststellung geprägt, welches sphärische Partikel einen identischen Anteil der ausgewählten Eigenschaft besitzt. Die Größe dieser nicht kugelförmigen Partikel wird dann als der Durchmesser dieses kugelförmigen Partikels präsentiert, und die Größe wird als „Äquivalenteigenschafts“-Durchmesser bezeichnet. Übliche Partikeläquivalentdurchmesser sind „Volumen-äquivalent“, „Oberflächenäquivalent“, „(elektrisches) Mobilitätsäquivalent“ (d. h. identische Größe in einem differentiellen elektrischen Mobilitätsklassierer (DEMC)), „diffusionsäquivalent“ (identischer Diffusionskoeffizient), „sinkgeschwindigkeitsäquivalent“, „aerodynamisch äquivalent“ (identische Endsinkgeschwindigkeit), „Äquivalentdurchmesser der Projektionsfläche“ (abgelagert auf einem Substrat und in einem optischen oder Elektronenmikroskop betrachtet), „optisch äquivalent“ (identische Lichtstreuung mit sphärischen Partikeln mit vorgegebenen optischen Parametern (Brechungsindex und Absorptionskoeffizient)) usw.

Messgeräte auf Basis unterschiedlicher Messtechniken ermöglichen Partikel entsprechend deren jeweiliger spezifischer Eigenschaften nach Größe zu ordnen/zu klassifizieren (d. h. deren Äquivalentdurchmesser festzustellen). Ein nicht kugelförmiges Partikel wird deshalb viele unterschiedliche Äquivalentdurchmesser haben. Jene, die am wichtigsten sind (die Nanopartikel, die sich beim Einatmen in den Atemwegen ablagern), sind der diffusionsäquivalente, der sinkgeschwindigkeitsäquivalente und der aerodynamisch-äquivalente Durchmesser.

ANMERKUNG 2 Eine Folge der Größenbestimmung von nicht kugelförmigen Partikeln in „Äquivalentdurchmessern“ ist, dass die Obergrenze für Nanopartikel – nominell 100 nm in mindestens einer Dimension (wenn *kein* Messprinzip angegeben wird) – (in den meisten Fällen) luftgetragene Partikel für verschiedene Äquivalentdurchmesser unterschiedlich in die komplementären Kategorien Nanopartikel und Nicht-Nanopartikel und auch unterschiedlich in Bezug auf die EG-Definition von Nanomaterialien klassifizieren wird. Das Verhältnis der Nanopartikel zu Nicht-Nanopartikeln wird vom ausgewählten „Äquivalentdurchmesser“ (Messverfahren) abhängen.

Messungen, um festzustellen, ob luftgetragene Partikel ein NOAA bilden, können nur durch morphologische Analyse an Proben von luftgetragenen Partikeln in einem Elektronenmikroskop durchgeführt werden. Die Größenverteilung der Primärpartikel eines Agglomerats oder der Teilstrukturen eines Aggregats wird verwendet, um zu bestimmen, ob eine bestimmte Probe von luftgetragenen Partikeln ein NOAA ist oder nicht. Diese Maße allein haben keinen unmittelbaren Einfluss auf die Wahrscheinlichkeit, dass sich ein Agglomerat/Aggregat im Atemwegsbereich ablagert, sondern hängt stattdessen von der Partikelgröße des Agglomerats/Aggregats als eine Einheit ab, unabhängig von der Tatsache, dass diese aus einer Gesamtheit von primären Partikeln/Teilstrukturen besteht, d. h. diffusionsäquivalenten, sinkgeschwindigkeitsäquivalenten und aerodynamisch-äquivalenten Durchmessern. Allerdings können die biochemischen Perspektiven eines Agglomerats/Aggregats, sobald es sich zum Beispiel im Alveolar- (Gasaustausch-)bereich abgelagert hat, von der Größe von dessen Primärpartikeln/Teilstrukturen abhängen. Diese Norm konzentriert sich auf die Messung der Partikelmetriken ohne explizite Bestimmung der Größenverteilung der Primärpartikel von Agglomeraten oder Teilstrukturen von Aggregaten.

ANMERKUNG 3 Anhang J gibt Empfehlungen, wie festzustellen ist, ob eine Probe luftgetragener Agglomerate oder Aggregate aus NOAA besteht.

ANMERKUNG 4 Die Wahrscheinlichkeit, dass sich im Alveolar- (Gasaustausch-)bereich abgelagerte Nanopartikel in Zellen anderer Körperteile verlagern, nimmt mit zunehmender Größe der Partikel ab. Die Neigung von einmal im Gasaustauschbereich abgelagerten Agglomeraten oder Aggregaten sich in Primärpartikel/Teilstrukturen aufzuspalten, könnte eine potentielle Metrik sein, um dieses Phänomen zu charakterisieren.

8.2 Einleitende Bemerkungen zur Messung von Partikelmetriken

8.2.1 Allgemeines

Tabelle 1 fasst die Querverweise bezüglich der Messverfahren für die Analyse der Gesamtheit von Partikeln in einer Probe/einem Luftstrom zusammen. Die Probenahme für die Analyse des Elementargehalts von einzelnen Partikeln in Elektronenmikroskopen wird in Anhang E beschrieben.

Tabelle 1 — Anzahl-, Oberflächen- und Massemetriken und Messverfahren für die Analyse der Gesamtheit an Partikeln in einer Probe/einem Luftstrom

Metrik	Gemessene oder berechnete Metrik	Größenintegrierte oder größen aufgelöste Aerosolfraction	Monitor oder Sammler	Gerätetyp	Anhang
Masse	berechnet	größen aufgelöst	Sammler	kaskadierte Diffusionssammler	G
				Kaskadenimpaktor	E und H
				diffusive Sammlung	E
	gemessen	Aerosolfraction	Sammler	Zyklon, Impaktor	E
				diffusive Sammlung	E
Anzahl	berechnet	größen aufgelöst	Monitor	DMAS	F
				ELPI	I
	gemessen	größen integriert	Monitor	DC	C
				CPC	C
Oberflächenbereich	gemessen	größen integriert	Monitor	DC	D
ANMERKUNG Ohne eine direkte Überprüfung, ob die resultierenden Fehler klein sind, zeigt sich nur bei kugelförmigen Partikeln, dass es möglich ist, die Metrik des Oberflächenbereichs mit kleinen Fehlern aus der Verteilung der Partikelanzahlgröße zu berechnen, und nur, wenn die Partikeldichte als Funktion der Partikelmobilitätsgröße bekannt ist, ist es möglich, die Massenmetrik mit kleinen Fehlern aus der Partikelgrößenverteilung zu berechnen.					

Allein durch die Analyse der Proben von einzelnen Partikeln in einem Elektronenmikroskop ist es sowohl in Bezug auf die Größe der Primärpartikel als auch deren Zusammensetzung möglich, festzustellen, ob diese Partikel NOAA sind, siehe Anhang J.

8.2.2 Kontinuierliche Messung und Anzeige (mit einem Monitor) oder analytische Bestimmung einer Nanopartikelmetrik nach der Probenahme

8.2.2.1 Echtzeitmonitore für kontinuierliche Messung und Anzeige

Personengetragene Monitore stehen für eine Metrik, die Partikeloberflächenkonzentration, zur Verfügung (siehe Anhang D). Einige Bauarten dieses Messgerätetyps geben auch einen Hinweis auf die Partikelanzahlkonzentration und eine charakteristische Partikelgröße (siehe Anhang C). Für diese Metrik stehen auch tragbare Monitore zur Verfügung. Für die Partikelanzahlkonzentration stehen tragbare Monitore zur Verfügung (siehe Anhang C). Für die partikelanzahlgewichtete Verteilung der elektrischen Mobilitätsäquivalentdurchmesser stehen sowohl tragbare als auch ortsfeste Monitore zur Verfügung (siehe Anhang F). Derzeit werden tragbare Monitore zur Messung der Massenkonzentration von Nanopartikeln entwickelt, die aus einigen speziellen Verbindungen bestehen (siehe Anhang E).

Für Agglomerate/Aggregate, die zu einer Größe von mehr als etwa 0,5 µm angewachsen sind, können gewöhnliche Photometer verwendet werden. Auf diesem Messprinzip basierende personengetragene Monitore sind ebenfalls im Handel erhältlich.

8.2.2.2 Sammler

Gegenwärtig sind personengetragene Sammler für die Analyse von Kombinationen aller gesammelten Partikel und für die Analyse der einzelnen Partikel in Elektronenmikroskopen für Partikelmassenkonzentrationen der Fraktion verfügbar, die durch Diffusion im Atemwegsbereich abgelagert wird (siehe Anhang E). Für die Analyse mit dem Transmissionselektronenmikroskop (TEM) und Rasterelektronenmikroskop (EM) einzelner Partikel stehen auch ortsfeste Sammler zur Verfügung. Ein ortsfester Sammler für die Bestimmung der massengewichteten Verteilung diffusionsäquivalenter Durchmesser von Elementarpartikeln/chemischen Verbindungen steht ebenfalls zur Verfügung (siehe Anhang G). Für TEM-Raster mit anschließender EM-Bestimmung der anzahlgewichteten Primärpartikelverteilung auf der projizierten Fläche stehen sowohl personengetragene als auch ortsfeste Sammler zur Verfügung.

ANMERKUNG Im Rahmen der Arbeitshygiene besteht gegenwärtig an der anzahlgewichteten Verteilung der Primärpartikel der projizierten Fläche kein großes Interesse. Neben der Bestimmung der Größenverteilung der Primärpartikel und dem Zusammenhang zwischen dem äquivalenten Partikelmobilitätsdurchmesser und der Anzahl der Primärpartikel (der Fraktaldimension des Agglomerats), könnte diese verwendet werden, um festzustellen, ob ein aus Agglomeraten/Aggregaten bestehendes Aerosol entsprechend der Definition der Europäischen Kommission als ein Nanomaterial klassifiziert werden sollte.

8.2.3 Berechnung/Abschätzung einer auf der größen aufgelösten NOAA-Verteilung basierenden NOAA-Metrik

8.2.3.1 Allgemeines

Basierend auf der Metrik der größen aufgelösten Nanopartikelanzahl kann die Metrik der Gesamtheit der Nanopartikelanzahl durch Integration der Nanopartikelgrößenverteilung berechnet werden. Bei sphärischen Nanopartikeln ist es auch möglich, die geometrische Oberfläche der Nanopartikel (größen aufgelöst oder größenintegriert) und die Massenmetrik abzuschätzen. Zusätzlich können Nanopartikelmetriken für Aerosolfraktionen (z. B. die im Gasaustauschbereich abgelagerte Fraktion) aus der Metrik der größen aufgelösten Nanopartikelanzahl abgeschätzt werden.

ANMERKUNG Eine derartige Abschätzung erfordert, dass die Kugelform der Nanopartikel verifiziert wurde. In vielen bzw. den meisten Fällen werden Nanopartikel jedoch nicht kugelförmig sein, z. B. werden Agglomerate, die aus weniger als einigen hundert Primärpartikeln bestehen, nie sphärisch sein.

8.2.3.2 Echtzeit-Monitore für die Berechnung/Abschätzung

Für Echtzeitmessungen stehen tragbare und ortsfeste Monitore zur Verfügung. Häufig werden für Partikel, die kleiner als 600 nm sind, auf Mobilitätsäquivalentdurchmessern basierende Spektrometer eingesetzt. Die Messung der Größenverteilung bei größeren Partikeln erfordert den Einsatz von Verfahren, die auf anderen Äquivalentdurchmessern basieren, besonders aerodynamische Äquivalentdurchmesser und optische Äquivalentdurchmesser.

ANMERKUNG Lediglich in seltenen Ausnahmefällen kann ein nahtloser Übergang von einem Äquivalentdurchmesser zu einem anderen erwartet werden.

8.2.4 Berechnung der Metrik der Gesamtheit der Nanopartikelmasse aus der größen aufgelösten Nanopartikelmasse

Die Metrik der Gesamtheit der Nanopartikelmasse kann durch Integration der Nanopartikelgrößenverteilung aus der Metrik der größen aufgelösten Nanopartikelmasse berechnet werden.

8.3 Informationen zur Messung der Partikelmetriken

Die Anhänge A bis J geben Informationen darüber, wie Metriken für die Partikelanzahl, Oberfläche und Masse zu messen sind. Anhang B enthält Informationen über die Entwicklung von im Handel erhältlichen Geräten seit der Veröffentlichung von ISO/TR 27628 und ISO/TR 12885.

Anhang A (informativ)

Quelldomänen von Expositionsszenarien am Arbeitsplatz für synthetische/hergestellte NOAAs

Die Exposition am Arbeitsplatz gegenüber synthetischen/hergestellten Nanopartikeln kann in vier Bereiche von Aerosolquellen gefasst werden. Innerhalb jeder Domäne sind der Freisetzungsmechanismus und wichtige Parameter, die das Aerosol beschreiben, ähnlich. Die Quelldomänen sind:

- Eine Punktquelle oder ein Punkt von flüchtigen Emissionen (Leck) bei der Herstellung von Nanomaterial in Aerosol-Reaktoren, bevor das Produkt aufgefangen wird. Hohe Konzentrationen an Nanopartikeln mit einer Größe von einigen Zehnernanometern werden erwartet;
- Handhabung und Übertragung von in großen Mengen mit geringer Energie hergestellten Nanomaterialien. Das umfasst eine breite Palette von Operationen, z. B. Sammeln, Entnahme, Absacken, Ausschütten und Entleeren von Säcken, Portionieren und Wägen. Während der mechanischen Handhabung kleiner Nanopartikelagglomerate wird davon ausgegangen, dass diese zu viel größeren Partikeln, möglicherweise mit mittlerer Größen im Mikrometerbereich agglomerieren;
- Dispergierung mit relativ hoher Leistung von Nanopulvern oder flüssigen Vermittlern mit hohen Konzentrationen an Nanopartikeln (z. B. Gießen, Spritzgießen, Mahlen und Rühren/Mischen) und die Anwendung gebrauchsfertiger Sprays oder Beschichtungen mit niedrigen Konzentrationen an Nanopartikeln;
- Brechen, Schleifen und Brennen von hergestellten, Nanopartikel enthaltenden Produkten mit entweder niedriger oder hoher Leistung, z. B. Schleifen, Bohren und Schneiden. Die Größen der emittierten luftgetragenen Partikel hängen von den Materialeigenschaften und dem Energieniveau ab und umfassen in der Regel ein breites Spektrum. In den wenigen Fällen, in denen eine Umstellung des Größenmodus oder mittleren Durchmessers zwischen Nano- und Nicht-Nano-Kontrol-Matrizen beobachtet wurde, war die Tendenz, dass sich Nano-Matrizen in Richtung eines etwas größeren Größenmodus verschoben.

Zu einer ausführlicheren Beschreibung der Quelldomänen siehe Brouwer et al. [26].

Anhang B (informativ)

Entwicklung der verfügbaren instrumentellen Technik seit der Veröffentlichung von ISO/TR 27628 und ISO/TR 12885

Die folgenden Typen von Monitoren/Sammlern sind seit der Veröffentlichung der beiden ISO/TR im Handel erhältlich:

- personengetragene Monitore [basierend auf Diffusionsaufladung (von Partikeln)] für die Überwachung der abgelagerten Partikel auf der Oberfläche im Gasaustauschbereich. Diese Monitore schätzen auch die Anzahlkonzentration und eine charakteristische Partikelgröße ab;
- personengetragene Massensammler für die Partikelfraktion, die sich durch Diffusion im Atemwegsbereich ablagert;
- personengetragene Sammler für die anschließende Analyse von Einzelpartikelgröße, Morphologie und Zusammensetzung unter dem Elektronenmikroskop;
- tragbare Partikelanzahl-Spektrometer für Mobilitäts-Äquivalentdurchmesser und für eine Kombination von Mobilitäts- und optischen Äquivalentdurchmessern;
- tragbare Massenspektrometer für diffusionsäquivalente Durchmesser.