

DIN EN 15051-2



ICS 13.040.30

Einsprüche bis 2024-08-21
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 15051-2:2017-03

Entwurf

**Exposition am Arbeitsplatz –
Messung des Staubungsverhaltens von Schüttgütern –
Teil 2: Verfahren mit rotierender Trommel;
Deutsche und Englische Fassung prEN 15051-2:2024**

Workplace exposure –
Measurement of the dustiness of bulk materials –
Part 2: Rotating drum method;
German and English version prEN 15051-2:2024

Exposition sur les lieux de travail –
Mesurage du pouvoir de resuspension des matériaux pulvérulents en vrac –
Partie 2: Méthode du tambour rotatif;
Version allemande et anglaise prEN 15051-2:2024

Anwendungswarnvermerk

Dieser Entwurf mit Erscheinungsdatum 2024-06-21 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil das beabsichtigte Dokument von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe 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/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe 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 oder Am DIN-Platz, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.

Es wird gebeten, mit den Kommentaren zu diesem Entwurf jegliche relevanten Patentrechte, die bekannt sind, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 59 Seiten

DIN-Normenausschuss Sicherheitstechnische Grundsätze (NASG)

Nationales Vorwort

Das Dokument prEN 15051-2:2024 wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 137 „Bewertung der chemischen und biologischen Stoffbelastung am Arbeitsplatz“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN (Deutschland) gehalten wird.

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.

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

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

Dieses Dokument enthält neben den gesetzlichen Einheiten auch die Einheit Inch, die in Deutschland nicht zugelassen ist. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Anwendung dieser Einheit im nationalen amtlichen und geschäftlichen Verkehr auf Grund des Gesetzes über Einheiten im Messwesen und die Zeitbestimmung (EinhZeitG) nicht zulässig ist. Die Angabe dieser Einheit dient lediglich als Hilfe im amtlichen und geschäftlichen Verkehr (z. B. bei Einfuhr und Ausfuhr) mit solchen Staaten, die diese Einheit anwenden.

Umrechnung:

Nicht zugelassene Einheit	Zugelassene Einheit	Umrechnung
in (inch)	mm	1 inch = 25,4 mm

Für die in diesem Dokument zitierten internationalen Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

ISO 15767 siehe DIN ISO 15767

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 15051-2:2017-03 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- Einleitung zur besseren Erläuterung des Zwecks der Prüfung des Staubungsverhaltens überarbeitet;
- Grenzabweichung der relativen Luftfeuchte in 4.3 von $(50 \pm 10) \%$ auf $(50 \pm 5) \%$ verringert;
- “In-house“-Prüfpulver mit hohem Staubungsverhalten für Qualitätszwecke und zur Sicherstellung der Wiederholpräzision beim Prüfen in 4.8 eingeführt;
- neuer Unterabschnitt 5.10 zur Nachweisgrenze (LOD) und Bestimmungsgrenze (LOQ) im Zusammenhang mit dem Wägen der Filter aufgenommen;
- Mindestanzahl an durchzuführenden Wiederholungsprüfungen in 5.7 von drei auf fünf erhöht sowie Festlegung des Vorgehens zur Mitteilung der Ergebnisse basierend auf der relativen Standardabweichung;

- f) Obergrenze der Einteilung für sehr geringes Staubungsverhalten für den Massenanteil an alveolengängigem Staub in Tabelle 1 von Abschnitt 6 von unter 10 mg/m^3 bis unter 20 mg/kg zu (10 bis 60) mg/m^3 bis (20 bis 60) mg/m^3 geändert;
- g) Anforderungen an die Konditionierung für Standardprüfungen und Ringvergleiche zusätzlich zu den Prüfungen im Anlieferungszustand in 7.1.1 ergänzt;
- h) normativer Anhang A zur Durchflussrate und Undichtigkeitsprüfung ergänzt;
- i) informativer Anhang B zur Qualitätskontrolle von Metallschäumen ergänzt;
- j) informativer Anhang C hinsichtlich eines (statischen) Tests ergänzt, um Ausreißerwerte unter den bei Wiederholungsprüfungen erhaltenen Werte zu identifizieren;
- k) informativer Anhang D hinsichtlich eines Beispiels für ein Verfahren zur Evaluierung der Nachweisgrenze (LOD) und Bestimmungsgrenze (LOQ) von gravimetrischen Filtern und Schäumen ergänzt;
- l) Norm redaktionell überarbeitet.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN ISO 15767, *Arbeitsplatzatmosphäre — Kontrolle und Charakterisierung der Unsicherheit beim Wägen von gesammelten Aerosolen*

Juli 2024

prEN 15051-2

**Exposition am Arbeitsplatz – Messung des Staubungsverhaltens von Schüttgütern –
Teil 2: Verfahren mit rotierender Trommel**

Workplace exposure – Measurement of the dustiness of bulk materials – Part 2: Rotating drum method

Exposition sur les lieux de travail – Mesurage du pouvoir de resuspension des matériaux pulvérulents en vrac –
Partie 2: Méthode du tambour rotatif

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	7
4 Anforderungen	8
4.1 Allgemeines	8
4.2 Konditionierung des Schüttguts	8
4.2.1 Erhaltener Zustand	8
4.2.2 Konditionierungs-Spezifikationen	8
4.3 Überprüfung der Probe und Regelung der Umgebungsbedingungen	9
4.4 Feuchtigkeitsgehalt („Gutfeuchte“)	9
4.5 Schüttdichte	9
4.6 Durchführung der Prüfung	9
4.7 Wiederholungsprüfungen	9
4.8 Hausinternes/Prüfpulver	9
5 Verfahren mit rotierender Trommel	9
5.1 Beschreibung der Prüfeinrichtung	9
5.2 Teilchengrößenselektive Filterschäume	12
5.3 Filter	12
5.4 Zusatzausrüstung	13
5.5 Vorbereitung der Untersuchungsprobe	13
5.6 Vorbereitung der Prüfeinrichtung	13
5.7 Einsatz der Prüfeinrichtung	13
5.8 Wägen der Filterschäume und Filter	14
5.9 Bestimmung der Massenanteile an einatembarem, thorakalem und alveolengängigem Staub	15
5.10 Nachweisgrenze (LOD) und Bestimmungsgrenze (LOQ)	16
6 Bewertung des Staubungsverhaltens	16
7 Prüfbericht	17
Anhang A (normativ) Prüfung des Volumenstroms und der Dichtigkeit der rotierenden Trommel	19
Anhang B (informativ) Qualitätskontrolle von Metallschäumen	20
B.1 Einleitung	20
B.2 Struktur	20
B.3 Porengröße	21
B.4 Chemische Zusammensetzung	21
B.5 Zellendurchmesser	22
Anhang C (informativ) Prüfung zur Identifizierung von Ausreißern unter den Werten aus Wiederholungsprüfungen	23
Anhang D (informativ) LOD- und LOQ-Verfahren für gravimetrische Filter und Schäume	25
Literaturhinweise	29

Bilder

Bild 1 — Schematische Darstellung der Prüfeinrichtung für das Verfahren mit rotierender Trommel	10
Bild 2 — Abmessungen der rotierenden Trommel	11
Bild 3 — Austrittseinheit/Probenahmesystem (zwei teilchengrößenselektiv wirkende Filterschäume und ein Absolutfilter)	11

Bild B.1 — Bild eines typischen 20-ppi-Schaums	20
Bild B.2 — Bild eines typischen 20-ppi-Schaums	21
Bild B.3 — Bild eines typischen 80-ppi-Schaums	21
Bild C.1 — Beispiel für eine Prüfung zur Identifizierung von Ausreißern	24

Tabellen

Tabelle 1 — Kategorisierung für das Staubungsverhalten nach dem Verfahren mit rotierender Trommel	17
Tabelle D.1 — Typische Staubbelastung auf dem Filter und in den Schäumen für drei Pulver . . .	25
Tabelle D.2 — Gewichtsdaten von Blindwertfiltern, die in einem kontrollierten Wägeraum gewogen wurden	26

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 15051-2:2024) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 137 „Bewertung der chemischen und biologischen Stoffbelastung am Arbeitsplatz“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN 15051-2:2013+A1:2016 ersetzen.

prEN 15051-2:2024 beinhaltet die folgenden wesentlichen technischen Änderungen im Vergleich zu EN 15051-2:2013+A1:2016:

- die Einleitung wurde überarbeitet, um den Zweck der Prüfung des Staubungsverhaltens besser zu erläutern;
- Unterabschnitt 4.2.2: Aufnahme von Konditionierungsspezifikationen für Standardprüfungen und Quervergleiche zusätzlich zu den Prüfungen im Lieferzustand;
- Unterabschnitt 4.3: Änderung bei der Toleranz der relativen Luftfeuchte (RH): Bisher war die RH auf $50 \% \pm 10 \%$ RH festgelegt; jetzt ist sie auf $50 \% \pm 5 \%$ festgelegt;
- Unterabschnitt 4.8: Einführung eines hausinternen Pulvers oder eines Prüfpulvers mit relativ ausgeprägtem Staubungsverhalten für Qualitätszwecke und zur Sicherstellung der Vergleichspräzision der Prüfungen;
- Unterabschnitt 5.7: Änderung der Mindestanzahl der durchzuführenden Wiederholungsprüfungen von drei auf fünf und Festlegung des Verfahrens für die Angabe der Ergebnisse auf der Grundlage der relativen Standardabweichung;
- Unterabschnitt 5.10: Nachweisgrenze (en: limit of detection, LOD) und Bestimmungsgrenze (LOQ, en: limit of quantification) wurden für die Bestimmung und Angabe von LOD und LOQ des Wägens der Filter und die 80-ppi- und 20-ppi-Schäume hinzugefügt;
- Abschnitt 6: In Tabelle 1 wurde die Obergrenze für den Massenanteil an alveolengängigem Staub ($w_{R,A}$) für die Kategorie mit sehr geringem Staubungsverhalten von $< 10 \text{ mg/m}^3$ auf $< 20 \text{ mg/kg}$ geändert. Infolgedessen wurde die niedrige Kategorie von 10 mg/m^3 bis 60 mg/m^3 auf 20 mg/m^3 bis 60 mg/m^3 geändert;
- Anhang A: „Prüfung des Volumenstroms und der Dichtigkeit“ wurde hinzugefügt. Er stellt ein Verfahren zur Verfügung, um den Volumenstrom und mögliche Undichtigkeiten in der rotierenden Trommel zu prüfen, zu bewerten und anzugeben;
- Anhang B (informativ) für die Qualitätskontrolle von Metallschäumen wurde hinzugefügt;
- Anhang C (informativ) enthält eine Prüfung zur Identifizierung von Ausreißern unter den Werten aus Wiederholungsprüfungen;
- Anhang D (informativ) enthält ein Beispiel für ein Verfahren zur Bewertung der LOD und LOQ für gravimetrische Filter und Schäume.

EN 15051, *Exposition am Arbeitsplatz — Messung des Staubungsverhaltens von Schüttgütern*, besteht aus den folgenden Teilen:

- Teil 1: Anforderungen und Auswahl der Prüfverfahren

- Teil 2: Verfahren mit rotierender Trommel
- Teil 3: Verfahren mit kontinuierlichem Fall

Einleitung

Dieses Dokument befasst sich speziell mit den Einzelheiten der Auslegung und Ausführung des Prüfverfahrens mit rotierender Trommel, mit dem das Staubungsverhalten von festem Schüttgut im Hinblick auf die gesundheitsrelevanten Massenfraktionen kategorisiert wird.

Die Werte des Staubungsverhaltens eines spezifischen Verfahrens können verwendet werden, um Pulver miteinander zu vergleichen und einzustufen und sind zudem nützlich zum Zwecke der konstruktionsbedingten Sicherheit und der Risikobeurteilung. Die Kategorisierung des Staubungsverhaltens dient dazu, die Anwender (z. B. Produzenten, Hersteller, Fachkräfte für Arbeitshygiene und Beschäftigte) über das Potential von Staubemissionen zu informieren, die bei Handhabung oder Aufbereitung von Schüttgut am Arbeitsplatz auftreten. Die Hersteller des Schüttguts erhalten durch die Kategorisierung Informationen, die für eine Verbesserung der Produkte nützlich sein können. Ferner ist es den Personen, die Schüttgüter handhaben, mithilfe der Kategorisierung möglich, den Einfluss von Vorbehandlungen einzuschätzen und weniger staubende Produkte, sofern verfügbar, auszuwählen. Es besteht auch die Möglichkeit, dass unterschiedliche Industriezweige ihre eigenen Kategorisierungssysteme entwickeln können, wobei sie experimentell bestimmte Werte des Staubungsverhaltens des jeweiligen Schüttguts verwenden können.

Jedoch messen Prüfverfahren zum Staubungsverhalten den Staub an der Quellemission und berücksichtigen nicht den Transport der Schwebepartikel innerhalb einer Arbeitsplatzumgebung zum Atembereich der Beschäftigten. Konzentrationen von alveolengängigem oder einatembarem Staub in der Arbeitsplatzluft, die aus der Verarbeitung und Handhabung von Schüttgütern resultieren, sind von einer Vielzahl von Faktoren abhängig (z. B. Umgebungsfaktoren, verwendete Menge, technische Schutzmaßnahmen, Transport von Partikeln von der Quelle zum Atembereich der Beschäftigten, Art der Tätigkeiten). Deshalb geben die Werte des Staubungsverhaltens keinen Aufschluss über die Konzentrationen der Exposition am Arbeitsplatz.

Bei dem Prüfverfahren werden Proben gewonnen, an denen eine chemische Analyse der Inhaltsstoffe durchgeführt werden kann, auch wenn die Analyse des von Schüttgütern freigesetzten Staubs (mit Ausnahme der gravimetrischen Analyse) in diesem Dokument nicht ausführlich behandelt wird. Es ist jedoch wichtig zu verstehen, dass sich bei einem Gemisch der prozentuale Massenanteil einer Substanz im Schüttgut unterscheidet (geringer oder höher ist) vom prozentualen Massenanteil derselben Substanz im mit Schäumen und Filtern mit Hilfe der rotierenden Trommel gesammelten Staub.

Dieses Dokument wurde ursprünglich auf der Grundlage der Ergebnisse des europäischen Projekts SMT4-CT96-2074 „Development of a Method for Dustiness Testing“ (siehe [1]) erstellt. Im Rahmen dieses Projekts wurde das Staubungsverhalten von 12 Schüttgütern untersucht, um ein möglichst breit gefasstes Spektrum an Schüttgütern zu prüfen, d. h. Größenordnung des Staubungsverhaltens, industrieller Anwendungsbereich, chemische Zusammensetzung und Teilchengrößenverteilung. In der ersten Überarbeitung wurden wichtige Anregungen von Normanwendern aus der Industrie (z. B. Industrial Minerals Association) und eine Anzahl von Forschungsarbeiten (zum Beispiel [2] und [3]) sowie auch die stetig wachsende Datenbank mit Ergebnissen zum Staubungsverhalten berücksichtigt. In dieser überarbeiteten Fassung wurden die Leistung und Merkmale der Metallfilterschäume für die Probenahme der alveolengängigen Fraktion sowie wichtige Anregungen von Normanwendern aus der Industrie berücksichtigt.

Für die Bestimmung des Staubungsverhaltens von Schüttgütern, die möglicherweise Nanoobjekte und deren Agglomerate und Aggregate (NOAA) enthalten oder freisetzen, mittels des Verfahrens mit rotierender Trommel sollte die Normenreihe EN 17199 [6] [7] herangezogen werden.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt das Prüfverfahren mit rotierender Trommel sowie die entsprechende Prüfeinrichtung fest, die bei der reproduzierbaren Erzeugung von Staub aus einem Schüttgut unter Normbedingungen angewendet wird; außerdem wird die Messung der Massenanteile an einatembarem, thorakalem und alveolengängigem Staub festgelegt, gegebenenfalls unter Verweisung auf bestehende Europäische Normen (siehe Abschnitt 6).

Dieses Verfahren ist für allgemeine Handhabungsprozesse von Schüttgütern geeignet, einschließlich all jener Prozesse, bei denen das Schüttgut herabfällt oder herabfallen kann. Es unterscheidet sich von dem in EN 15051-3 [4] vorgestellten Verfahren mit kontinuierlichem Fall. In EN 15051-2 fällt dasselbe Schüttgut wiederholt herab, während das Schüttgut in EN 15051-3 nur einmal, dafür aber kontinuierlich fällt.

Ferner legt dieses Dokument die Umgebungsbedingungen, den Umgang mit den Proben und die Analyseverfahren sowie die Verfahren zur Berechnung und Darstellung der Ergebnisse fest. Um eine genormte Grundlage für die Angabe und Weiterleitung der Ergebnisse an die Anwender von Schüttgütern zu schaffen, wird ein Kategorisierungssystem für das Staubungsverhalten festgelegt.

Dieses Dokument gilt für pulverförmige, granulierte oder pelletierte Schüttgüter. Es wird eine Probe mit einem genormten Volumen verwendet.

Dieses Dokument gilt nicht für die Prüfung von Staub, der bei der mechanischen Zerkleinerung fester Schüttgüter (z. B. beim Schneiden, Brechen) freigesetzt wird.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. 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*

prEN 15051-1:2024, *Exposition am Arbeitsplatz — Messung des Staubungsverhaltens von Schüttgütern — Teil 1: Anforderungen und Auswahl der Prüfverfahren*

ISO 15767, *Workplace atmospheres — Controlling and characterizing uncertainty in weighing collected aerosols*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN 1540 und prEN 15051-1.

ANMERKUNG Insbesondere werden in diesem Dokument die folgenden Begriffe aus EN 1540 verwendet: Schwebstaub, gesammelte Probe, Staubungsverhalten, Massenanteil an Staub, einatembare Fraktion, Nachweisgrenze, Bestimmungsgrenze, alveolengängige Fraktion, thorakale Fraktion und gesundheitsrelevante Fraktionen.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: verfügbar unter <https://www.electropedia.org/>

3.1

Porenanzahl eines Schaums

Gütezah eines Schaums

Bereich oder Anzahl der Poren je linearem Inch in einem Schaum

Anmerkung 1 zum Begriff: Zum Beispiel: Die Güte 1723 steht für 17 bis 23 Poren/Zoll (ppi).

3.2

relative Dichte eines Schaums

Massenverhältnis zwischen dem porösen Schaum aus Metall und der Masse desselben Volumens des festen Grundstoffs

3.3

Nachweisgrenze

LOD

dreifacher Wert der für die Masse der Blindwertfilter geschätzten Standardabweichung, unter Berücksichtigung der Doppelwägung, der Feld-Blindproben, der Handhabung der Filter und der Konditionierungsverfahren

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Wert von LOD entsprechend dieser Definition berücksichtigt keine über das Wägen hinausgehenden Variabilitätsquellen.

3.4

Bestimmungsgrenze

BG

zehnfacher Wert der für die Masse der Blindwertfilter geschätzten Standardabweichung

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Wert von LOQ kann als Grenzwert verwendet werden, um eine genaue Messung eines Stoffes sicherzustellen.

4 Anforderungen

4.1 Allgemeines

Es sind die in prEN 15051-1:2024, Abschnitt 5, beschriebenen Prüfverfahren anzuwenden.

4.2 Konditionierung des Schüttguts

4.2.1 Erhaltener Zustand

Für die Charakterisierung des Schüttguts unter Arbeitsplatzbedingungen muss das Schüttgut in der in Verkehr gebrachten oder von dem anschließenden Nutzer verwendeten Form in luftdichten Behältern an die Organisation geliefert werden, die die Prüfung des Staubungsverhaltens durchführt. Das Material muss in dem erhaltenen Zustand geprüft werden.

4.2.2 Konditionierungs-Spezifikationen

Für Standardprüfungen und Quervergleiche müssen Prüfmaterialien vor der Prüfung bei einer relativen Feuchte (RH) von $(50 \pm 5) \%$ konditioniert werden, bis sie ein stabiles Gewicht erreichen. Die Konditionierungszeit hängt von der Menge des zu konditionierenden Schüttguts ab und muss mindestens 48 h betragen, wenn der Gewichtsausgleich unbekannt ist. Falls das Prüfverfahren eine große Menge des Schüttguts erfordert, muss das Schüttgut während der Konditionierung in kleinere Mengen aufgeteilt werden, um die der konditionierten Luft ausgesetzte Fläche des Materials zu vergrößern (siehe ISO 14488 [5]).

Eine zusätzliche Konditionierung der Filter und Metallschäume ist nach dem Zusammenbau unter Umständen erforderlich, wenn sich die Bedingungen bei der Übertragung und beim Zusammenbau erheblich von den oben angegebenen Bereichen unterscheiden.

4.3 Überprüfung der Probe und Regelung der Umgebungsbedingungen

Schüttgüter mit großer wirksamer Oberfläche sind empfindlich gegenüber den Umgebungsbedingungen, z. B. der relativen Luftfeuchte, der Temperatur und elektrostatischen Effekten, aber auch gegenüber ihrer eigenen Gutfeuchte, ihrer Verdichtung und Agglomeration. Um exakte Ergebnisse zu erreichen, muss die Prüfatmosphäre daher innerhalb eines schmalen Temperatur- und Luftfeuchtebereichs liegen. Die Umgebungsbedingungen müssen in allen Fällen dokumentiert werden.

Folgende Prüfbedingungen sind anzuwenden:

- relative Luftfeuchte (RF): $(50 \pm 5) \%$;
- Temperatur: $(21 \pm 3) ^\circ\text{C}$.

Die Prüfeinrichtung muss elektrisch geerdet sein.

ANMERKUNG In vielen Fällen kann eine gesonderte Bestimmung der Teilchengröße von Nutzen sein.

4.4 Feuchtigkeitsgehalt („Gutfeuchte“)

Die Gutfeuchte des Schüttguts muss nach dem in prEN 15051-1:2024, 5.5 und Anhang A, angegebenen Verfahren bestimmt und dokumentiert werden.

4.5 Schüttdichte

Die Schüttdichte des Prüfmateri als muss nach dem in prEN 15051-1:2024, Anhang B, angegebenen Verfahren bestimmt und dokumentiert werden.

4.6 Durchführung der Prüfung

Das Staubungsverhalten muss nach dem in Abschnitt 5 beschriebenen Verfahren mit rotierender Trommel geprüft werden.

4.7 Wiederholungsprüfungen

Wiederholungsprüfungen müssen nach 5.7 durchgeführt werden.

4.8 Hausinternes/Prüfpulver

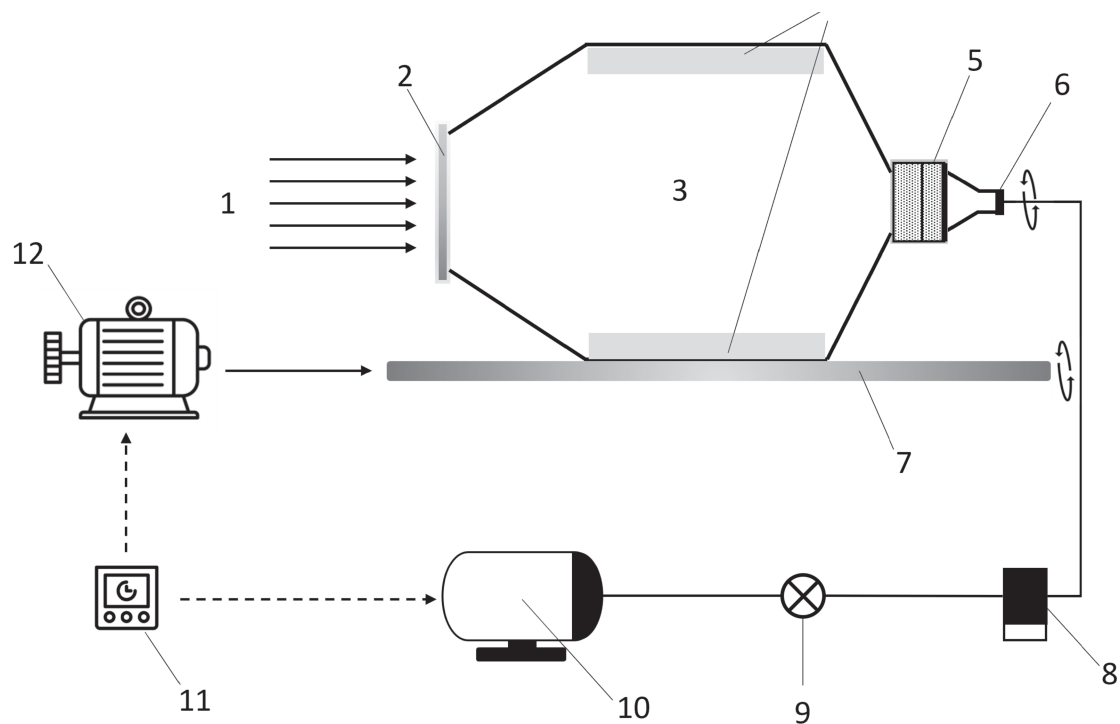
Für Qualitätssicherungszwecke und zur Sicherstellung der Vergleichspräzision bei der Prüfung muss ein Schüttgut mit relativ stark ausgeprägtem Staubungsverhalten erworben und regelmäßig nach dem in Abschnitt 5 beschriebenen Verfahren analysiert werden. Eine ausreichende Materialmenge muss erworben und ordnungsgemäß in luftdichten Behältern gelagert werden, um als hausinternes Referenzpulver zu dienen. Glasperlen von Ballotini, wie z. B. Spheriglass® 5000 CP00¹, sind ein Beispiel für ein geeignetes Pulver mit relativ ausgeprägtem Staubungsverhalten, das für diesen Zweck erworben werden könnte (siehe prEN 15051-1:2024, Anhang C).

5 Verfahren mit rotierender Trommel

5.1 Beschreibung der Prüfeinrichtung

Bild 1, Bild 2 und Bild 3 zeigen die zur Bestimmung des Staubungsverhaltens von Schüttgütern erforderliche Prüfeinrichtung.

1 Spheriglass® 5000 (CP00) ist ein Beispiel für ein geeignetes handelsübliches Produkt. Diese Angabe dient nur zur Unterrichtung der Anwender dieses Dokuments und bedeutet keine Anerkennung des genannten Produkts durch CEN.



Legende

- 1 Luftstrom
- 2 Eintrittseinheit (Schutzfilter)
- 3 Staubentwicklungseinheit – rotierende Trommel
- 4 Umlenkbleche (insgesamt acht)
- 5 Austrittseinheit/Probenahmesystem (zwei teilchengrößenselektiv wirkende Filterschäume und ein Absolutfilter)
- 6 Drehkoppler
- 7 Rollen
- 8 Inline-Massenflussmessgerät
- 9 Regelventil
- 10 Vakuumpumpe
- 11 Zeitschaltung
- 12 Antriebsmotor

Bild 1 — Schematische Darstellung der Prüfeinrichtung für das Verfahren mit rotierender Trommel

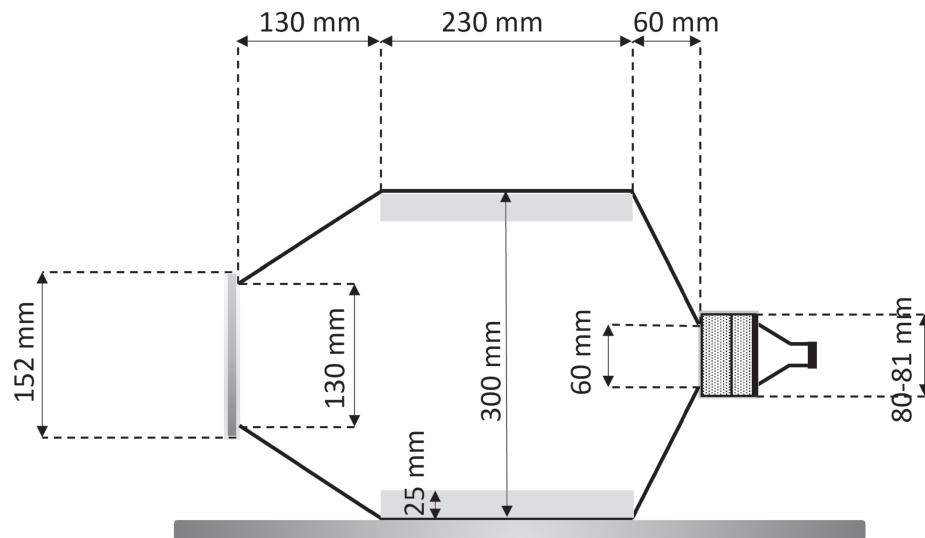
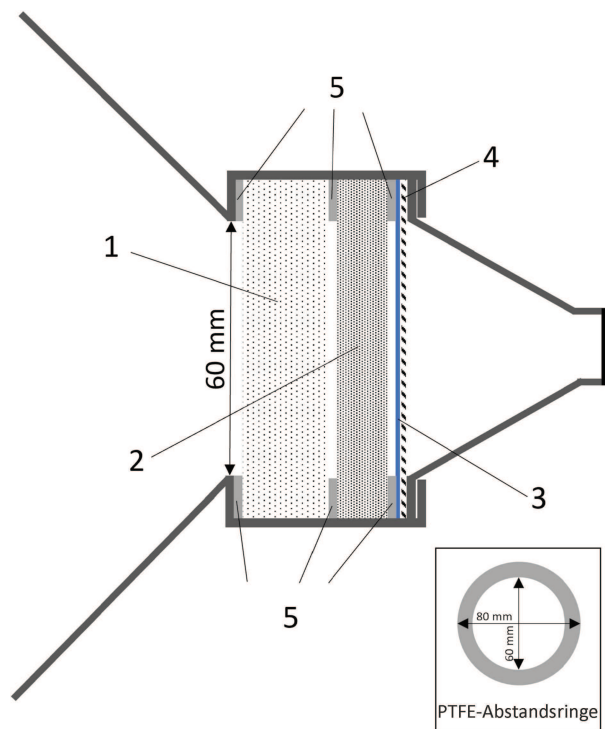


Bild 2 — Abmessungen der rotierenden Trommel



Legende

- 1 20-ppi-Schaum/-Schäume (80 mm Durchmesser)
- 2 80-ppi-Schaum (80 mm Durchmesser)
- 3 Filter (80 mm Durchmesser)
- 4 Edelstahlgitter/Filterträger
- 5 PTFE-Abstandsringe

Bild 3 — Austrittseinheit/Probenahmesystem (zwei teilchengrößenselektiv wirkende Filterschäume und ein Absolutfilter)

Als Prüfeinrichtung wird eine Trommel aus nicht rostendem Stahl mit einem Durchmesser von 300 mm verwendet, die mit einer Drehzahl von 4 min^{-1} rotiert und an deren Innenwand acht Umlenkleche (Flügel) ange-

bracht sind (die Staubentwicklungseinheit (3)), mit denen ein bestimmtes Volumen des zu untersuchenden Schüttguts innerhalb der Trommel zunächst nach oben befördert und dann wieder fallen gelassen wird; die dabei entstehende Staubwolke wird durch einen von einer Vakuumpumpe (8) erzeugten Luftstrom mit einem Durchsatz von 38 l min^{-1} über die Prüfdauer aus der Trommel ausgetragen und in ein dreistufiges System zur Staub-Probenahme übergeführt (Austrittseinheit (4)). Die Flügel aus nicht rostendem Stahl mit einer Länge von 230 mm und einer Höhe von 25 mm sind entlang der Innenflächen der Trommel befestigt und weisen radial zum Trommelzentrum hin nach innen. Die Prüfeinrichtung muss geerdet sein.

Das Probenahmesystem (4) besteht aus zwei hintereinander angeordneten teilchengrößenselektiv wirkenden Filterschäumen und einem Absolutfilter (siehe Bild 2). Um Querverunreinigungen zu vermeiden, werden zur Trennung der Filterschäume vom Absolutfilter Abstandsringe aus Polytetrafluorethylen (PTFE) verwendet, die einen Innendurchmesser von 60 mm und eine Dicke von 2 mm aufweisen. Der Innendurchmesser des Eintritts der dreistufigen Austrittseinheit zur Staub-Probenahme muss 60 mm betragen und ein zusätzlicher PTFE-Abstandsring mit einem Innendurchmesser von 60 mm (2 mm Dicke) kann am Eintritt der dreistufigen Austrittseinheit zur Staub-Probenahme angebracht werden (siehe Bild 2). Aus dem Staub, der in den konischen Übergangsbereich und in das Probenahmesystem eintritt, wird die einatembare Fraktion bestimmt. Die teilchengrößenselektiv wirkenden Metall-Filterschäume in Form zylindrischer Stopfen mit 800 Poren je Meter (20 Poren je Inch) bzw. 3 200 Poren je Meter (80 Poren je Inch) werden zur Trennung der thorakalen bzw. alveolengängigen Fraktion ausgewählt. Die Filterschäume und der Absolutfilter werden vor und nach der Prüfung gewogen, um die Schätzwerte für das Staubungsverhalten in den drei Größenfraktionen zu ermitteln. Ein Glasfaser-Schutzfilter mit einem Durchmesser von 150 mm befindet sich am Trommeleintritt (2), um eine Staubkontamination zu verhindern und den Luftstrom beim Eintritt in die Trommel zu verteilen.

Undichtigkeiten im System müssen minimiert werden. An der neu erworbenen Eintritts- und Austrittseinheit der rotierenden Trommel können zusätzliche Dichtungen angebracht werden, um Undichtigkeiten zu minimieren.

Die Trommel muss aus nichtrostendem Stahl gefertigt und innen poliert sein, um eine gleichmäßig glatte Oberfläche sicherzustellen.

ANMERKUNG Die Qualität der Politur der inneren Trommeloberfläche oder die Rauheit kann die Werte des Staubungsverhaltens potentiell beeinflussen.

Der Luftvolumenstrom in der Prüfeinrichtung wird mit einem Inline-Massenflussmessgerät (6) überwacht, mit dem auch eine Schätzung des Volumens der beprobten Luft möglich ist. Der Volumenstrom beim Prüfverfahren mit rotierender Trommel sollte am Eintritt mit einem kalibrierten Massenflussmessgerät überprüft und bei Bedarf auf 38 l/min eingestellt werden (siehe Anhang A). Eine Zeitschaltung (9) steuert automatisch den Betrieb der Prüfeinrichtung.

5.2 Teilchengrößenselektive Filterschäume

Zur Trennung der thorakalen Fraktion und der alveolengängigen Fraktion werden teilchengrößenselektiv wirkende, poröse Filterschäume aus Metall mit vernetzter offenzelliger Struktur verwendet. Beide größenselektiven Filterschäume haben einen Durchmesser von 80 mm, der Filterschaum mit 800 Poren je Meter (20 Poren je Inch) besteht aus zwei Lagen mit jeweils einer Dicke von 10 mm oder einer einzelnen Lage mit 20 mm Dicke, während der Filterschaum mit 3 200 Poren je Meter (80 Poren je Inch) aus einer einzigen Lage mit einer Dicke von 12 mm besteht. PTFE-Band wird um die Kante jedes Schaums gespannt, so dass eine Abdichtung entsteht und ein möglicher Staubverlust durch die Kante während der Prüfung verhindert wird. Es wird empfohlen, mindestens zwei Lagen PTFE-Band zu verwenden.

Wenn neue Schäume erworben werden, ist das in Anhang B festgelegte Verfahren zu beachten.

5.3 Filter

Zur Aufnahme der alveolengängigen Partikel, die die Filterschäume durchdrungen haben, müssen Filter mit einem Durchmesser von 80 mm verwendet werden. Der Filter muss eine hohe Sammeleffizienz von mindestens

99 % aufweisen. Die Auswahl des Filtermaterials hängt davon ab, welche Analyse nachfolgend durchgeführt wird.

5.4 Zusatzausrüstung

Im Wägeraum oder in der Wägekammer, in der die Wägungen durchgeführt werden, müssen Temperatur und Luftfeuchte konstant gehalten werden, damit eine annehmbare Wägeunsicherheit erreicht wird, siehe ISO 15767.

Zum Wägen der Schüttgutproben muss eine Analysenwaage verfügbar sein, mit der 250 g mit einer Fehlergrenze von 0,1 g zu wägen sind.

Für die exakte Wägung der Filterschäume und Filter muss eine Analysenwaage verfügbar sein, mit der 150 g mit einer Fehlergrenze von 0,01 mg zu wägen sind. Die Waagenzelle der Analysenwaage muss groß genug sein, um einen 80-mm-Filter so aufzunehmen, dass er nicht die Wände berührt. Eine Hilfsvorrichtung zur Positionierung der Filterschäume und Filter auf der Waagschale darf verwendet werden.

5.5 Vorbereitung der Untersuchungsprobe

Untersuchungsproben müssen aus dem Schüttgut so entnommen werden, dass repräsentative Proben erhalten werden (siehe prEN 15051-1:2024, 5.3). Es werden mindestens sechs Proben vorbereitet. Die Probenbehälter müssen verschließbar sein, um eine Verunreinigung der Atmosphäre möglichst gering zu halten.

Es müssen Prüfproben mit einem Volumen von etwa 35 cm³ entnommen und auf 0,1 g gewogen werden.

5.6 Vorbereitung der Prüfeinrichtung

Bevor die Prüfungen durchgeführt werden, ist die rotierende Trommel mit einem geeigneten Staubsauger gründlich zu reinigen, mit einem feuchten Tuch abzuwischen und trocknen zu lassen. Wenn Schüttgut an den Innenflächen haftet, kann es notwendig sein, diese Flächen mit einem in Wasser gelösten Reinigungsmittel abzuwaschen und anschließend mit Wasser gründlich abzuspülen oder mit einem geeigneten Lösemittel (z. B. Propanol) zu reinigen. Die Eintritts- und Austrittseinheit (beladen mit den entsprechenden Schäumen/Filtern) sind an den Enden der Trommel anzubringen. Die Pumpe ist einzuschalten, der Volumenstrom am Eintritt ist zu messen und auf 38 l/min einzustellen, wie in Anhang A vorgegeben. Anschließend ist die Pumpe wieder abzuschalten. Die Prüfeinrichtung muss nur vor dem ersten Prüfdurchgang in der vorstehend beschriebenen Weise gereinigt werden. Zwischen den Prüfdurchgängen ist die Prüfeinrichtung nach Entfernung der Eintritts- und der Austrittseinheit zu reinigen, indem das verbliebene Schüttgut in ein Abfallbehältnis ausgeschüttet wird. Anschließend ist die Trommel bei senkrechter Ausrichtung der Trommel mit einem weichen Hammer abzuklopfen, um das lose Schüttgut von den Innenflächen der Trommel zu entfernen.

5.7 Einsatz der Prüfeinrichtung

Die Eintritts- und die Austrittseinheit sind von der Trommel abzunehmen. Die Untersuchungsprobe ist gleichmäßig über den Boden der Trommel zu verteilen. Die Eintrittseinheit ist zusammen mit einem unbenutzten Schutzfilter und die Austrittseinheit mit frischen Filtern und Filterschäumen wieder einzusetzen. Unbenutzte Substratstufen aus den gleichen Chargen, die für die Prüfung verwendet wurden, werden zur Wägekontrolle genommen.

Durch Aktivierung der Zeitschaltung ist das Prüfprogramm für 1 min 5 s fortzusetzen. Die Trommel wird für 5 s bei ausgeschalteter Pumpe und für weitere 1 min bei eingeschalteter Pumpe gedreht. Nach Beendigung der Prüfung sind die Filterschäume und der Filter vorsichtig aus der Austrittseinheit der Trommel zu entfernen und in einem Konditionierungsraum auf Umgebungsbedingungen zu bringen, wobei darauf zu achten ist, dass die gesammelte Probe nicht beeinträchtigt wird. Die Prüf- und Kontrollschäume und -filter werden nach 5.8 rückgewogen.

Am Ende aller Prüfdurchgänge ist ein frischer Filtersatz in die Eintrittseinheit und die Filter/Schäume in den Austritt einzusetzen und der Volumenstrom am Eintritt erneut zu messen.

Für jedes Schüttgut sind fünf Prüfungen durchzuführen, bei denen die Trommel gereinigt wird und die Schäume und Filter zwischen den einzelnen Prüfungen ausgetauscht werden. Für jeden Massenanteil an Staub (einatembarer, thorakaler und alveolengängiger Staub) muss die relative Standardabweichung (RSD) anhand der Gleichung (1) berechnet werden:

$$RSD = \frac{\sigma}{\overline{DI}} \quad (1)$$

Dabei ist

DI der Staubungsindex $w_{I,A}$ oder $w_{T,A}$ oder $w_{R,A}$;

σ die Standardabweichung der DI-Werte innerhalb der Gruppe von n Prüfungen.

- Wenn $RSD \leq 30 \%$ ist, muss das Ergebnis auf der Grundlage dieser fünf Prüfungen angegeben werden;
- Wenn $RSD > 30 \%$ ist, muss eine Prüfung durchgeführt werden, um den/die Ausreißer unberücksichtigt zu lassen. Wenn $RSD > 30 \%$ ist und nur drei Werte übrig bleiben, sollten die Ergebnisse der drei verbleibenden Prüfungen angegeben werden.

Anhang C enthält ein Beispiel für eine Prüfung, die zur Bestimmung von Ausreißern angewendet werden kann, wenn RSD größer als 30 % ist.

ANMERKUNG 1 Bei extrem staubigem Pulver können die Schäume verklumpen und Staub kann sich zwischen 20-ppi- und 80-ppi-Schäumen ansammeln. Die Menge des in die Prüfvorrichtung zur Bestimmung des Staubungsverhaltens eingebrachten Pulvers kann reduziert werden. Für diese Arten von Pulvern sind die Werte für das Staubungsverhalten möglicherweise weniger genau als für solche, die weniger staubig sind. Ihre Kategorisierung nach Tabelle 1 (Abschnitt 6) ist jedoch weiterhin gültig.

ANMERKUNG 2 So wies beispielsweise ein staubiges Pulver, bei dem die Schäume verklumpt waren, Staubungsindizes für die einatembare, thorakale und alveolengängige Fraktion auf, die nahe bei 50 000 mg/kg, 25 000 mg/kg bzw. 3 000 mg/kg lagen. Es liegt keine ausreichende Menge an Daten vor, um Grenzwerte für das Staubungsverhalten zu empfehlen, oberhalb derer es zu Verklumpungen kommen kann. Für Pulver mit Staubungsindizes für die drei gesundheitsrelevanten Fraktionen von mehr als 10 000 mg/kg, 6 000 mg/kg und 900 mg/kg müssten mehr Daten erhoben werden.

5.8 Wägen der Filterschäume und Filter

Die Masse der gesammelten Probe wird als Gewichts Differenz der Filterschäume und Filter vor und nach der Prüfung, korrigiert um die entsprechenden Kontrollstufenergebnisse, bestimmt. Alle Wägungen müssen nach ISO 15767 durchgeführt werden. Nach der Prüfung werden die Filterschäume und Filter erneut nach demselben Ablauf gewogen. Die Schäume müssen vor und nach der Prüfung mit dem PTFE-Band um die Kante gewogen werden. Da Prüfmaterialien und Filter empfindlich gegenüber der Luftfeuchte und den elektrostatischen Bedingungen der Atmosphäre sind, muss hinsichtlich des Zeitpunkts der Aufzeichnung der an der Waage abgelesenen Massen ein festgelegtes Prüfprotokoll exakt eingehalten werden. Vor dem Wägen werden die Filter und Schäume vor und nach der Prüfung für mindestens 24 h im Wägeraum konditioniert oder so lange, bis ihr Gewicht stabil ist. Nach dem Auflegen der Probe auf die Waagschale und dem Schließen der Waagentür darf die Ablesung an der Waage erst dann vorgenommen werden, wenn eine bestimmte Zeit (z. B. 30 s) verstrichen ist oder sich die Ablesung an der Waage stabilisiert hat.

Um das Risiko einer Beeinträchtigung und den Schüttgutverlust zu minimieren, müssen Filterschäume und Filter nur an den Rändern berührt oder angehoben werden und deren Handhabung muss auf ein Minimum beschränkt bleiben. Zum Anheben oder Handhaben der Filterschäume müssen Handschuhe getragen oder Pinzetten verwendet werden; Filter dürfen ausschließlich mit Pinzetten angefasst werden. Um während des Wägens von staubhaltigen Filterschäumen eine Verunreinigung der Waagschale und Staubverlust zu verhindern, darf die Verwendung massekonstanter Schalen in Betracht gezogen werden, in die die Schäume während des Wägens eingebracht werden.