

DIN EN ISO 21083-1

ICS 91.140.30

Einsprüche bis 2017-11-29

Entwurf

**Prüfverfahren zur Messung der Effizienz von Luftfiltrationsmedien gegen
sphärische Nanomaterialien –
Teil 1: Partikelgrößenbereich von 20 bis 500 nm (ISO/DIS 21083-1:2017);
Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 21083-1:2017**

Test method to measure the efficiency of air filtration media against spherical nanomaterials –
Part 1: Particle size range from 20 to 500 nm (ISO/DIS 21083-1:2017);
German and English version prEN ISO 21083-1:2017

Méthode d'essai pour mesurer l'efficacité des médias de filtration d'air par rapport aux
nanomatériaux sphériques –
Partie 1: Spectre granulométrique de 20 à 500 nm (ISO/DIS 21083-1:2017);
Version allemande et anglaise prEN ISO 21083-1:2017

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2017-09-29 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und
Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm 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 nam@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 Maschinenbau (NAM), 60498 Frankfurt am Main, Postfach 71 08 64, Lyoner Str. 18, 60528 Frankfurt am Main.

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 113 Seiten

DIN-Normenausschuss Maschinenbau (NAM)

Nationales Vorwort

Dieser Norm-Entwurf beinhaltet die Deutsche Fassung der vom Technischen Komitee ISO/TC 142 „Cleaning equipment for air and other gases“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 195 „Luftfilter für die allgemeine Raumluftechnik“ im Europäischen Komitee für Normung (CEN) ausgearbeiteten prEN ISO 21083-1:2017.

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.

Die nationalen Interessen bei der Erarbeitung werden vom Ausschuss NA 060-09-21 AA „Luftfilter (SpA CEN/TC 195 und ISO/TC 142)“ im Fachbereich „Allgemeine Lufttechnik“ des DIN-Normenausschusses Maschinenbau (NAM) wahrgenommen. Vertreter der Hersteller und Anwender von Luftfilter sowie aus Forschungs- und Prüfinstituten sind an der Erarbeitung beteiligt.

Die im Abschnitt 2 und den Literaturhinweisen zitierten Internationalen Normen sind, sofern diese gleichzeitig als Europäische Normen übernommen worden sind, als DIN EN ISO-Normen mit gleicher Zählnummer veröffentlicht.

Für die zitierten Internationalen Normen und Dokumente, sofern sie nicht als DIN ISO-Normen mit gleicher Zählnummer veröffentlicht sind, gibt es keine nationalen Entsprechungen, außer für:

ISO 29464 siehe DIN EN 14799

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 14799, *Luftfilter für die allgemeine Luftreinigung — Terminologie*

**Prüfverfahren zur Messung der Effizienz von Luftfiltrationsmedien gegen
sphärische Nanomaterialien — Teil 1: Partikelgrößenbereich von 20 bis 500
nm (ISO/DIS 21083-1:2017)**

*Méthode d'essai pour mesurer l'efficacité des médias de filtration d'air par rapport aux nanomatériaux sphériques —
Partie 1 : Spectre granulométrique de 20 à 500 nm (ISO/DIS 21083-1:2017)*

*Test method to measure the efficiency of air filtration media against spherical nanomaterials — Part 1: Particle size
range from 20 to 500 nm (ISO/DIS 21083-1:2017)*

ICS:

Deskriptoren:

Dokument-Typ: Europäische Norm
Dokument-Untertyp:
Dokumentstufe: parallele Umfrage
Dokumentsprache: D

STD Version 2.8l

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Vorwort	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe, Symbole und Abkürzungen	7
3.1 Begriffe	7
3.2 Symbole und Abkürzungen	7
4 Prinzip	9
5 Prüfmaterialien	10
5.1 Allgemeines	10
5.2 Flüssigphasen-Aerosol	11
5.2.1 DEHS-Prüfaerosol	11
5.2.2 Erzeugung von Flüssigphasen-Aerosol	11
6 Prüfaufbau	12
6.1 Allgemeines	12
6.2 Festlegung des Prüfaufbaus	14
6.2.1 Aerosolerzeugungssystem	14
6.2.2 Rohre	14
6.2.3 Trockner	14
6.2.4 Elektrostatischer Klassierer (DEMC)	14
6.2.5 Ausgeglichene Ladungsverteilung und Neutralisierung von Aerosolen	17
6.2.6 Neutralisierung von Aerosolen	17
6.2.7 Zuluftleitung	20
6.2.8 Zusammenbau der Prüffilterhalterung	20
6.2.9 Kondensationspartikelzähler (CPC)	21
6.2.10 Endfilter	23
6.3 Ausführlicher Prüfaufbau für die Verwendung von DEHS- oder DEHP-Partikeln	23
6.4 Bestimmung der Filtermediumsgeschwindigkeit	25
7 Qualifizierung des Prüfstands und des Geräts	26
7.1 CPC-Prüfungen	26
7.1.1 CPC – Stabilitätsprüfung des Volumenstroms	26
7.1.2 CPC – Nullprüfung	26
7.1.3 CPC – Überlastprüfung	26
7.1.4 Kalibrierung der Zählgenauigkeit	27
7.2 DEMC-Prüfungen	29
7.3 Qualifizierung der Neutralisierung	29
7.3.1 Allgemeines	29
7.3.2 Qualifizierung der Neutralisierung durch Prüfung der durch den Neutralisator strömenden Fraktion der Partikel mit mehrfacher Ladung	29
7.3.3 Qualifizierung der Neutralisierung	30
7.4 Systemleckprüfungen	30
7.4.1 Luftleckprüfungen	30
7.4.2 Sichterkennung durch Kaltrauch	30

7.4.3	Druckbeaufschlagung des Prüfsystems	31
7.4.4	Anwendung von Filtermedien mit hohem Wirkungsgrad.....	31
7.5	Gleichmäßigkeit der Prüfaerosolkonzentration	31
8	Durchführung der Prüfung	31
8.1	Bestimmung des Korrelationsverhältnisses/Nullwirkungsgradprüfung	31
8.2	Protokoll der Filtrationswirkungsgradmessung.....	33
8.2.1	Vorbereitende Prüfungen	33
8.2.2	Gerätevorbereitung.....	33
8.2.3	Aerosolgenerator	33
8.2.4	Aerosolgenerator - Neutralisator	34
8.2.5	Neutralisierung des Filtermediums.....	35
8.2.6	Neutralisierung des Filtermediums.....	35
8.2.7	Messung des Luftdurchflusses.....	38
8.2.8	Messung des Druckabfalls.....	38
8.2.9	Nullzählprüfung.....	38
8.2.10	Dichtigkeitsprüfung.....	38
8.2.11	Belastungswirkungsprüfung.....	38
8.2.12	Angegebene Werte	38
8.2.13	Messung des Filtrationswirkungsgrads - DEHS- oder DEHP-Partikel.....	38
8.3	Auswertung der Prüfung	40
8.4	Messprotokoll für eine Probe - Zusammenfassung.....	40
9	Instandhaltungsaspekte	43
10	Angabe der Ergebnisse.....	44
10.1	Messunsicherheiten	44
10.2	Allgemeines	45
10.3	Erforderliche Berichtselemente	45
10.3.1	Berichtszusammenfassung.....	45
10.3.2	Berichtsdetails.....	47
Anhang A (informativ) Instrumentenspezifikationen.....		51
Anhang B (informativ) Statistische Analyse der Genauigkeit eines Experiments (nach ISO 5725-2)		55
B.1	Allgemeines	55
B.2	Terminologie.....	56
B.3	Verfahren.....	56
B.3.1	Allgemeines	56
B.3.2	Untersuchung der Prüfergebnisse auf Konsistenz und Ausreißer	56
B.3.3	Berechnung des allgemeinen Mittelwerts und der Varianz	58
Literaturhinweise.....		60

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 21083-1:2017) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 142 „Cleaning equipment for air and other gases“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 195 „Luftfilter für die allgemeine Raumluftechnik“ erarbeitet, dessen Sekretariat von UNI gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur parallelen Umfrage vorgelegt.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/DIS 21083-1:2017 wurde von CEN als prEN ISO 21083-1:2017 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsorganisationen (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von ISO Technischen Komitees durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die in engem Kontakt mit ISO stehen, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet bei allen elektrotechnischen Themen eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

Internationale Normen werden in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet.

Die Hauptaufgabe der Technischen Komitees besteht in der Erarbeitung Internationaler Normen. Die von den Technischen Komitees angenommenen Norm-Entwürfe werden den Mitgliedsorganisationen zur Umfrage zur Verfügung gestellt. Für eine Veröffentlichung als Internationale Norm wird eine Zustimmung von mindestens 75 % der abstimmenden Mitgliedsländer benötigt.

Andernfalls, besonders wenn seitens des Marktes ein dringender Bedarf an diesen Dokumenten besteht, kann sich das Technische Komitee für eine Veröffentlichung in Form einer anderen Dokumentenart entscheiden:

- eine Öffentlich Verfügbare Spezifikation der ISO (ISO/PAS) stellt eine Einigung zwischen technischen Sachverständigen in einer ISO-Arbeitsgruppe dar und wird zur Veröffentlichung angenommen, wenn eine Zustimmung von mehr als 50 % der abstimmenden Mitglieder des übergeordneten Komitees vorliegt;
- eine Technische Spezifikation der ISO (ISO/TS) stellt eine Einigung zwischen den Mitgliedern eines Technischen Komitees dar und wird zur Veröffentlichung angenommen, wenn eine Zustimmung von zwei Dritteln der abstimmenden Mitglieder des Komitees vorliegt.

Eine ISO/PAS oder ISO/TS wird nach drei Jahren überprüft, um entweder für weitere drei Jahre bestätigt, als Internationale Norm übernommen oder zurückgezogen zu werden. Werden die ISO/PAS oder die ISO/TS bestätigt, so erfolgt die nächste Überprüfung nach drei Jahren. Zu diesem Zeitpunkt muss das Dokument dann entweder in eine Internationale Norm überführt oder zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

ISO 21083-1 wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 195, *Air cleaning for general ventilation*, in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee ISO/TC 142, *Cleaning Equipment for air and other gases* erarbeitet.

ISO 21083 besteht unter dem allgemeinen Titel *Test method to measure the efficiency of air filtration media against spherical nanomaterials* aus den folgenden Teilen:

- *Part 1: Size range from 20 nm to 500 nm*
- *Part 2: Size range from 3 nm to 30 nm (ISO/TS)*

Einleitung

Der Begriff „Nanopartikel“ bezeichnet Partikel mit hoher Mobilität und einer Größe unter 100 nm. Diese Partikel können aufgrund ihrer hohen Mobilität und erhöhten Toxizität durch die große spezifische Oberfläche ein schwerwiegendes Gesundheitsrisiko darstellen. Aerosolverschmutzungen mit einer hohen Nanopartikelkonzentration können daher die schädliche Wirkung auf die menschliche Gesundheit und die Mortalitätsrate erhöhen (siehe Literaturhinweis [12]).

Die Filtration von Nanopartikeln in der Luft gewinnt zunehmend an Bedeutung, da sie in großen Mengen durch Materialsynthese und Verbrennungsluftemissionen produziert werden. Die Aerosolfiltration kann für verschiedene Anwendungen wie etwa Luftverschmutzungskontrolle, Emissionsreduzierung, Atemschutz für Menschen und die Verarbeitung von Gefahrstoffen eingesetzt werden. Der Filterwirkungsgrad kann durch Messungen der Prüfpartikelkonzentrationen vor und hinter dem Filter bestimmt werden. Die Partikelkonzentration kann auf der Masse, der Oberfläche oder der Anzahl basieren. Unter diesen ist die Zahlenkonzentration der empfindlichste Parameter für Nanopartikel. Moderne Instrumente ermöglichen genaue Messungen der Partikelzahlkonzentration in der Luft und daher eine genaue Bestimmung des fraktionalen Filtrationswirkungsgrads. Das Verständnis des Filtrationswirkungsgrads bei Nanopartikelgrößen ist wichtig in Programmen zur Beseitigung von Nanopartikeln und der Eindämmung ihrer Auswirkungen auf die Gesellschaft. Ziel dieser Norm ist es, die Verfahren zur Bestimmung des Wirkungsgrads von in den häufigsten Luftfiltrationsprodukten verwendeten Filtermedien zu standardisieren.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt die Prüfinstrumente und Prüfverfahren zur Bestimmung des partikelgrößenspezifischen Filtrationsfraktionsabscheidegrads von planen Filtermedien gegen Nanopartikel im Größenbereich zwischen 20 und 500 nm in der Luft fest. Die Prüfverfahren in diesem Dokument sind auf die Anwendung kugelförmiger oder fast kugelförmiger Partikel beschränkt, um Unsicherheiten aufgrund der Partikelgröße zu vermeiden.

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).

ISO 5167-1, *Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full — Part 1: General principles and requirements*

ISO 5725-1, *Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results — Part 1: General principle and definitions*

ISO 5725-2, *Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results — Part 2: Basic method for determination of repeatability and reproducibility of a standard measurement method*

ISO 27891, *Aerosol particle number concentration — Calibration of condensation particle counters*

ISO 15900, *Determination of particle size distribution — Differential electrical mobility analysis for aerosol particles*

ISO/TS 19713-1:2010, *Road vehicles — Inlet air cleaning equipment for internal combustion engines and compressors — Part 1: Fractional efficiency testing with fine particles (0,3 µm to 5 µm optical diameter)*

ISO 29461-1, *Air intake filter systems for rotary machinery — Test methods — Part 1: Static filter elements*

ISO 29464, *Cleaning of air and other gases — Terminology*

3 Begriffe, Symbole und Abkürzungen

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die in ISO 29464, ISO 5725-2, ISO 15900 und ISO 27891 angegebenen Begriffe.

3.2 Symbole und Abkürzungen

Symbole

- A – Quellenstärke der radioaktiven Quelle
- A_0 – ursprüngliche Quellenstärke der radioaktiven Quelle
- A_f – effektive Filtrationsoberfläche
- CF – Korrekturwert
- C_{up} – Aerosolkonzentration vor dem Filtermedium

$C_{up,i}$	– Konzentration von Partikeln mit der i -ten monodispersen Größe vor dem Filtermedium
C_{down}	– Aerosolkonzentration hinter der Filtermedium
$C_{down,i}$	– Konzentration von Partikeln mit der i -ten monodispersen Größe hinter dem Filtermedium
C_{ni}	– Partikelkonzentration nach dem zweiten DEMC für Partikeln mit i Ladung(en)
d_d	– Durchmesser des Anfangströpfchens einschließlich des Lösungsmittels
d_p	– Durchmesser des Prüfparkels nach vollständiger Verdampfung des Lösungsmittels
E	– Filtrationswirkungsgrad des Prüffiltermediums
E_i	– Filtrationswirkungsgrad des Prüffiltermediums gegen Partikel mit der i -ten monodispersen Größe
e	– Elektronenladung
F_v	– Volumenfraktion des DEHS oder DEHP in der Lösung
$t_{0,5}$	– Halbwertszeit der radioaktiven Quelle
N_{up}	– Gesamtpartikelzahl vor dem Filtermedium innerhalb eines bestimmten benutzerdefinierten Zeitintervalls
$N_{up,i}$	– Zahl der Partikelzählungen mit der i -ten monodispersen Größe vor dem Filtermedium innerhalb eines bestimmten benutzerdefinierten Zeitintervalls
N_{down}	– Gesamtpartikelzahl hinter dem Filtermedium innerhalb eines bestimmten benutzerdefinierten Zeitintervalls
$N_{down,i}$	– Zahl der Partikelzählungen mit der i -ten monodispersen Größe hinter dem Filtermedium innerhalb eines bestimmten benutzerdefinierten Zeitintervalls
N_{ni}	– Gesamtpartikelzahl nach dem zweiten DEMC für Partikeln mit i Ladung
n_p	– Anzahl der Elementarladungen
P	– Teilpenetration des Prüffiltermediums
P_i	– Teilpenetration von Partikeln mit der i -ten monodispersen Größe für das Prüffiltermedium
Q	– Durchflussmenge durch das Filtermedium
q_e	– Volumenstrom durch das Elektrometer
R	– Korrelationsverhältnis
Res	– Widerstand des Widerstandskörpers
R_i	– Korrelationsverhältnis für die i -te monodisperse Partikelgröße, ermittelt als Penetration ohne Filtermedium
P_m	– Penetration mit dem Filtermedium vor Anwendung des Korrelationsverhältnisses
$P_{m,i}$	– gemessene Penetration gegen Partikel mit der i -ten monodispersen Größe bei in dem Filterhalter installiertem Filtermedium und vor Anwendung des Korrelationsverhältnisses
t	– Zeit
U_f	– Filteranströmgeschwindigkeit
V	– Spannung
α	– Winkel des Ein-/Ausmündungsbereichs im Filterhalter

- Δp – Druckabfall aufgrund des Filtermediums
 ΔEv – Differenz des Filtrationswirkungsgrads
 λ – radioaktive Zerfallskonstante, d. h. $0,693/t_{0,5}$

Abkürzungen

- AC – Wechselstrom
CAS – Chemical Abstracts Service
CL – Konzentrationsgrenzwert
CMD – mittlerer Zähl Durchmesser
CPC – Kondensationspartikelzähler
DEHS – Di(2-ethylhexyl)-Sebacat
DEHP – Di(2-ethylhexyl)-Phthalat
DEMC – Elektrostatischer Klassierer
DMAS – Differentielles Mobilitätsanalysesystem
HEPA – Hochleistungsschwebstofffilter
Kr – Krypton
IPA – Isopropanol
MPPS – Partikelgröße im Abscheidegradminimum
Po – Polonium
PSL – Polystyrol-Latex-Partikel
RH – Relative Feuchte
SRM – Normprüfmaterial

4 Prinzip

Der Filtrationswirkungsgrad des Filtermediums wird durch Messung der Partikelzahlkonzentrationen vor und hinter dem Filter bestimmt. Die Teilpenetration P steht für den Teil der Aerosole, der den Filter passieren kann, definiert als

$$P = C_{down}/C_{up} \quad (1)$$

dabei sind C_{down} und C_{up} die Aerosolkonzentrationen respektive vor und hinter dem Filter. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die Partikelzahlen vor und hinter dem Filtermedium über ein bestimmtes benutzerdefiniertes Zeitintervall zu messen. In diesem Fall entspricht die Penetration dem Verhältnis zwischen der Zahl N_{down} und der Zahl N_{up} vor dem Filter.

$$P = N_{down}/N_{up} \quad (2)$$

Der Filterwirkungsgrad E ist die durch den Filter entfernte Fraktion des Aerosols.

$$E = 1 - P \quad (3)$$

Der Wirkungsgrad des Filtermediums hängt von der Größe des Belastungs aerosols ab. Wenn die Prüfung mit monodispersen Partikeln durchgeführt wird, kann der Ausdruck für die Penetration von Partikeln mit der i -ten monodispersen Größe P_i geschrieben werden als

$$P_i = C_{down,i}/C_{up,i} \quad (4)$$

dabei sind $C_{up,i}$ und $C_{down,i}$ die Partikelkonzentrationen mit der i -ten monodispersen Größe respektive vor und hinter dem Filter. Wenn die Messung mit der Partikelzahl durchgeführt wird, kann P_i geschrieben werden als

$$P_i = N_{down,i}/N_{up,i} \quad (5)$$

dabei sind $N_{up,i}$ und $N_{down,i}$ die Partikelzahlen mit der i -ten monodispersen Größe respektive vor und hinter dem Filtermedium über ein bestimmtes benutzerdefiniertes Zeitintervall. Dementsprechend ist der Filtrationswirkungsgrad E_i des Prüffiltermediums gegen die Partikel mit der i -ten monodispersen Größe:

$$E_i = 1 - P_i \quad (6)$$

Di(2-ethylhexyl)-Sebacat- (DEHS) oder di(2-ethylhexyl)-Phthalat-Partikel (DEHP), die mit einem Zerstäuber erzeugt werden, sind Beispiele für Prüfaerosole im Größenbereich zwischen 20 nm und 500 nm, da der CMD oftmals unter 100 nm liegt. Partikel aus anderen Materialien können angewendet werden, solange das Qualifizierungsverfahren durchgeführt wird. Der überlappende Bereich zwischen Teil 1 und Teil 2 der vorliegenden Norm zwischen 20 nm und 30 nm kann zur Prüfung der Konsistenz der beiden Verfahren angewendet werden. Da die Diffusion der vorherrschende Filtrationsmechanismus für Partikel weit unter 100 nm ist, hat das Partikelmaterial nahezu keinen Einfluss auf den Wirkungsgrad im Bereich zwischen 20 und 30 nm.

ANMERKUNG Beispielsweise lag der Unterschied im Filtrationswirkungsgrad für Silber- und DEHS-Partikel im überlappenden Größenbereich zwischen 20 und 30 nm in der Ringprüfung unter 8 % (siehe Literaturhinweis [14]).

Das Prüfaerosol aus dem Aerosolgenerator wird konditioniert (z. B. Verdampfung des Lösungsmittels und anschließend neutralisiert). Die Partikel werden homogen mit gefilterter Prüfluft gemischt, um im Bedarfsfall die gewünschte Konzentration zu erhalten, bevor die Partikel zur Belastung des Filters verwendet werden.

Eine Probe des planen Filtermediums wird in einer Prüffilterbaugruppe befestigt und dem Prüfluftstrom mit der vorgeschriebenen Strömungsgeschwindigkeit des Filtermediums ausgesetzt. Proben der Teilflüsse des Prüfaerosols werden vor und hinter dem Filtermedium entnommen und die Teilpenetration wird anhand der Partikelzahlkonzentrationen vor und hinter dem Filter bestimmt. Darüber hinaus wird der Druckabfall in dem Filtermedium mit der vorgeschriebenen Strömungsgeschwindigkeit des Filtermediums gemessen.

Zusätzliche Geräte sind erforderlich, um den absoluten Druck, die Temperatur und die relative Feuchte des Prüfaerosols zu ermitteln und den Prüfvolumenstrom zu messen und zu kontrollieren.

5 Prüfmaterialien

5.1 Allgemeines

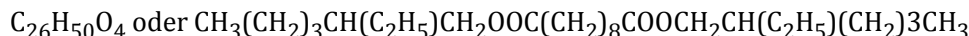
Jedes zur Prüfung der Filtrationsleistung nach diesem Prüfverfahren verwendete Aerosol darf nur lange genug in die Prüfvorrichtung eingeführt werden, um die Filtrationsleistungseigenschaften der Prüfvorrichtung zu prüfen, und nicht so lange, dass die Filtrationsleistungseigenschaften der geprüften Prüfvorrichtung aufgrund der Belastung, der Ladungsneutralisierung oder anderer physikalischer oder chemischer Reaktionen mit dem Filtermaterial verändert werden.

5.2 Flüssigphasen-Aerosol

5.2.1 DEHS-Prüfaerosol

Flüssiges DEHS-Prüfaerosol DEHS (Diethylhexylsebacat) wird beispielsweise weithin zur Prüfung von Filtern angewendet.

DEHS/DES/DOS – Formel:



DEHS-Eigenschaften:

Dichte	912 kg/m ³
Schmelzpunkt	225 K
Siedepunkt	529 K
Zündpunkt	> 473 K
Dampfdruck	$1,9 \times 10^{-6}$ Pa bei 273 K
Refraktionsindex	1,450 bei 600×10^{-9} m Wellenlänge
Dynamische Viskosität	0,022 Pa·s bis 0,024 Pa·s
CAS-Nummer	122-62-3

5.2.2 Erzeugung von Flüssigphasen-Aerosol

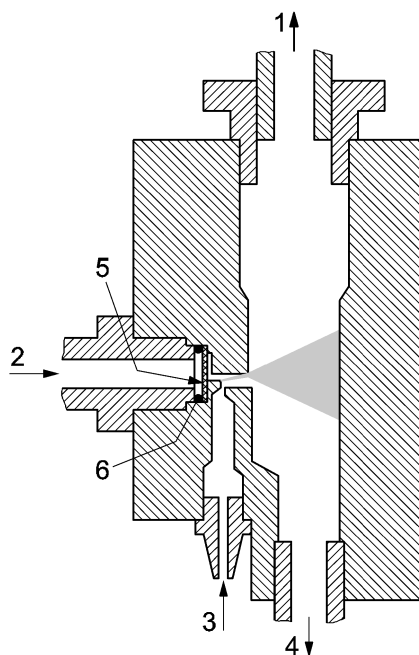
5.2.2.1 Prinzipien und Festlegungen

Das Prüfaerosol muss aus unbehandeltem DEHS oder DEHS in einem geeigneten Lösungsmittel oder anderen Flüssigphasen-Prüfaerosolen nach den Festlegungen des Herstellers bestehen. DEHS (Diethylhexylsebacat) wird weithin für die Leistungsprüfung von Filtern angewendet.

Bild 1 zeigt ein Beispiel für ein System zur Aerosol-Erzeugung. Im Einzelnen dehnt sich hier Druckluft durch eine Drosselblende zu einem Strahl mit hoher Geschwindigkeit aus. Anschließend wird die Flüssigkeit durch einen vertikalen Durchgang in den Zerstäuber gezogen und durch den Strahl zerstäubt. Große Tröpfchen werden durch Aufprall auf die Wand gegenüber dem Strahl entfernt und überschüssige Flüssigkeit am Boden des Zerstäuberblocks abgeleitet. Feines Spray tritt durch eine auf der Oberseite angebrachte Armatur aus dem Zerstäuber aus.

Jeder andere Generator, der in der Lage ist, Tröpfchen mit einer Mindestkonzentration von ungefähr 1 000 Partikeln pro Kubikzentimeter im Partikelgrößenbereich zwischen 20 nm und 500 nm zu erzeugen, kann verwendet werden. Die Festlegungen der verschiedenen Zerstäuber sind als Beispiele in Anhang A, Tabelle 5 angegeben.

Vor der Prüfung muss die Konzentration vor dem Filter auf einen stabilen Zustand mit einer Konzentration in dem von dem CPC messbaren Bereich eingestellt werden.



Legende

- | | | | |
|---|----------------------|---|---|
| 1 | Aerosolaustritt | 4 | überschüssige Flüssigkeit in geschlossenen Behälter |
| 2 | Drucklufteintritt | 5 | Loch |
| 3 | Flüssigkeitseintritt | 6 | O-Ring |

Bild 1 — Schematische Darstellung der Zerstäuberbaugruppe

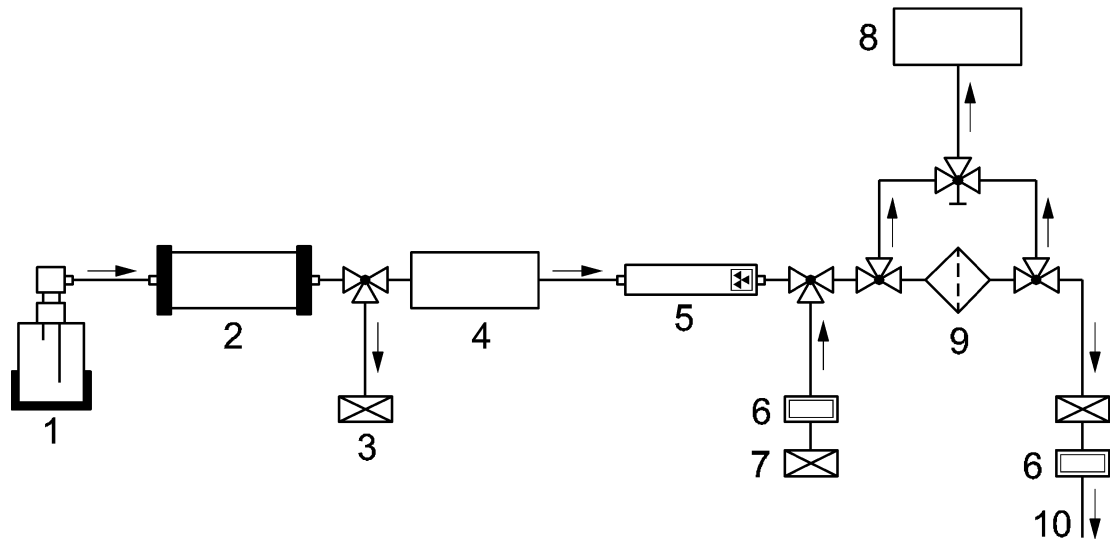
5.2.2.2 Instandhaltung des Zerstäubers

Der Zerstäuber muss sauber und frei von Rost gehalten werden. Auch wenn die meisten Zerstäuberteile aus Edelstahl bestehen, werden diese durch Lösungen wie etwa Natriumchlorid korrodiert. In diesem Fall wird empfohlen, die Zerstäuberbaugruppe zu reinigen und zu trocknen.

6 Prüfaufbau

6.1 Allgemeines

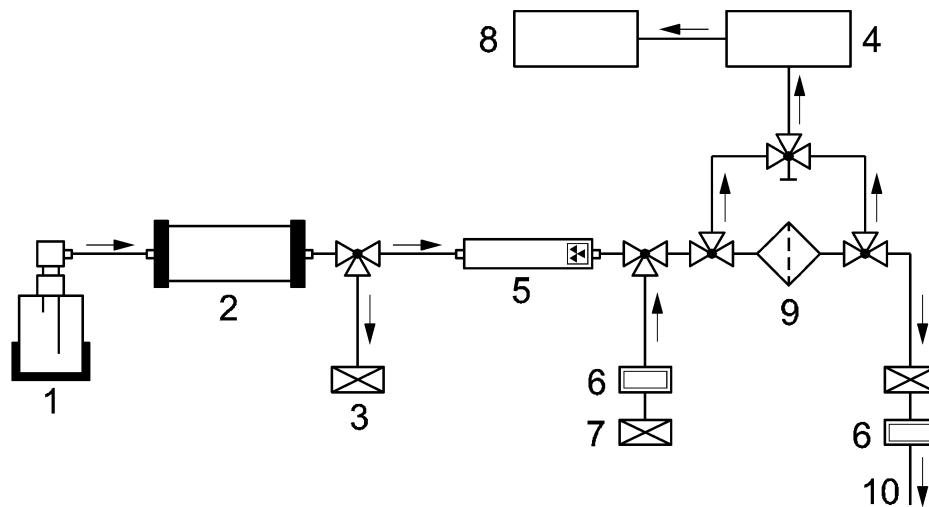
Der Prüfaufbau wird in Bild 2 für monodisperse Belastungspartikel und in Bild 3 für polydisperse Belastungspartikel dargestellt. Im Fall monodisperser Belastungspartikel besteht der Prüfaufbau aus drei Abschnitten: dem Abschnitt, der die Aerosolpartikel erzeugt (Aerosolgenerator), dem Partikelklassierungsabschnitt (DEMC) und dem Partikelmessabschnitt (CPC). Im Fall polydisperser Belastungspartikel muss die Partikelklassierung nach der Probenahme des Aerosols aus dem Abschnitt vor und hinter dem Filter erfolgen.



Legende

- | | |
|----------------------|--------------------|
| 1 Zerstäuber | 6 Durchflussregler |
| 2 Diffusionstrockner | 7 Zuluft |
| 3 Bypass | 8 CPC |
| 4 DEMC | 9 Filterhalter |
| 5 Kr-85 | 10 Vakuum |

Bild 2 — Prüfaufbau für monodisperse Belastungspartikel



Legende

- | | |
|----------------------|--------------------|
| 1 Zerstäuber | 6 Durchflussregler |
| 2 Diffusionstrockner | 7 Zuluft |
| 3 Bypass | 8 CPC |
| 4 DEMC | 9 Filterhalter |
| 5 Kr-85 | 10 Vakuum |

Bild 3 — Prüfaufbau für polydisperse Belastungspartikel

6.2 Festlegung des Prüfaufbaus

6.2.1 Aerosolerzeugungssystem

Das Aerosolerzeugungssystem ist in 5.2.2 beschrieben.

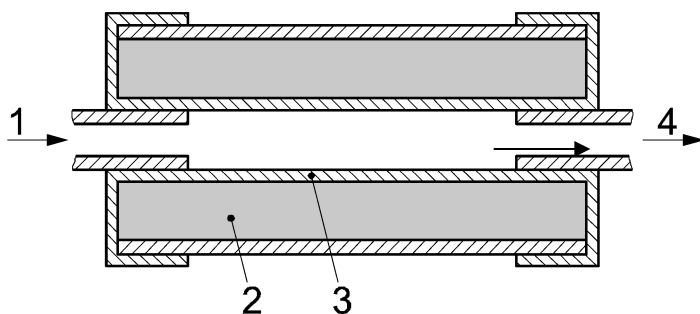
6.2.2 Rohre

Rohre müssen aus elektrisch leitfähigem Material (Edelstahl, Silikonrohr mit Carbonummantelung usw.) bestehen, um Partikelverluste durch elektrostatische Absetzung zu vermeiden. Darüber hinaus muss die Länge der Rohre minimiert werden, um Partikelverluste durch Diffusion zu vermeiden. Die vor- und nachgelagerten Probenahmeleitungen müssen die gleiche Nenngeometrie haben.

6.2.3 Trockner

6.2.3.1 Prinzipien

Wenn Aerosol durch Zerstäubung erzeugt wird, kann den aus dem Zerstäuber austretenden Partikeln Lösungsmittel anhaften, das verdampft werden muss. Ein Ansatz hierfür besteht darin, das Aerosol durch einen Diffusionstrockner zu leiten. Der Diffusionstrockner besteht aus einem porösen Rohr, in dem die Luft durch eine Bettung aus Adsorptionsmaterial wie etwa Kieselgel strömt. Der Lösungsmitteldampf in der Luft hat ein hohes Diffusionsvermögen und kann durch das Material in dem Diffusionstrockner adsorbiert werden. Ein Kieselgel-Trockner ist in Bild 4 dargestellt.



Legende

- | | | | |
|---|--|---|----------------------------------|
| 1 | Trockenaerosoleintritt | 3 | inneres Rohr aus Drahtsiebgewebe |
| 2 | ringförmiger Raum mit Kieselgelfüllung | 4 | Trockenaerosolaustritt |

Bild 4 — Diffusionstrockner

6.2.3.2 Instandhaltung

Um eine Teildruckreduzierung des Lösungsmittels sicherzustellen, darf das Adsorptionsmaterial nicht gesättigt sein. Wenn Kieselgel verwendet wird, muss es regelmäßig regeneriert werden.

6.2.4 Elektrostatischer Klassierer (DEMC)

6.2.4.1 Prinzipien und Festlegungen

Der elektrostatische Klassierer besteht hauptsächlich aus einem bipolaren Ladegerät, das die Ladungen der Partikel neutralisiert, einem Regler, der den Durchfluss und die Hochspannung regelt, und einem elektrostatischen Klassierer (Bild 5), der die Partikel auf der Grundlage ihrer elektrischen Mobilität separiert. Der DEMC sollte in der Lage sein, Partikel im Größenbereich zwischen 20 und 500 nm zu klassieren und das in 7.2 festgelegte Qualifizierungsverfahren zu erfüllen. Im Fall eines Instruments auf der Basis eines unipolaren Ladegeräts sollte der geeignete Größenbereich bei dem Hersteller erfragt werden, um

Messfehler durch den mehrfachen Ladungseffekt zu vermeiden (für weitere Informationen wird auf ISO 15900 verwiesen).

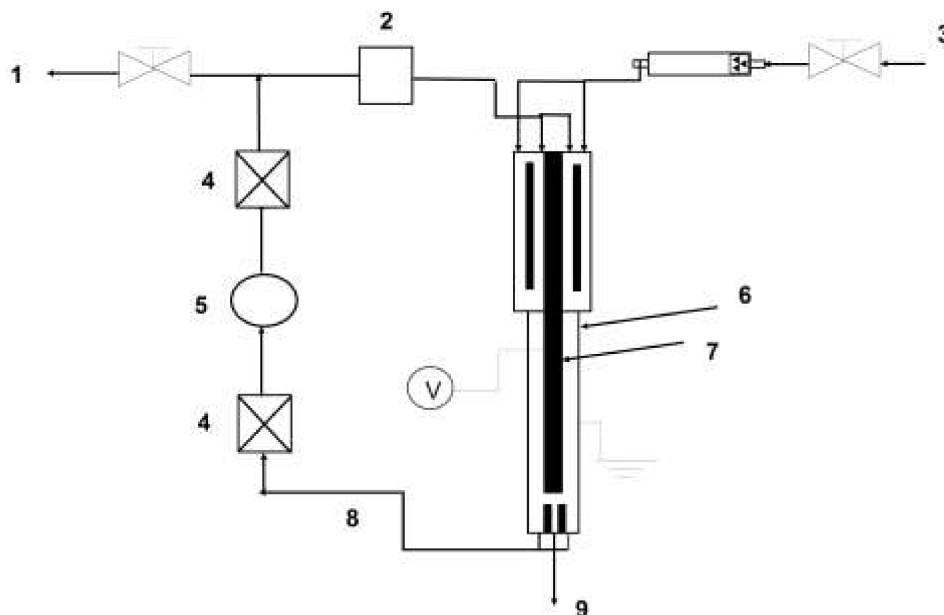
Partikel werden in den Umfang eines Hohlrohrs eingeführt. Ein kreisförmiges elektrisches Feld wird über die Außenwände dieses Rohrs und eine zentrale Elektrode aufrechterhalten. Wenn die geladenen Partikel durch das Rohr strömen, werden sie aufgrund des elektrischen Felds von der zentralen Elektrode angezogen. Die Partikel werden durch Öffnungen in der zentralen Elektrode entfernt.

Kleine Partikel benötigen kleine elektrische Felder, um sie zu der zentralen Elektrode zu bewegen. Größere Partikel benötigen stärkere Felder. Durch die Einstellung des elektrischen Felds werden daher Partikel mit einer bekannten Größe zu der Öffnung in dem zentralen Stab gezogen und zur Messung entfernt. Auf diese Weise können Partikel in einem engen Größenbereich für jede Spannungseinstellung extrahiert werden. Die Enge des Größenbereichs wird hauptsächlich durch die Geometrie und die Gleichmäßigkeit der Luftströmung in der Vorrichtung bestimmt. Durch die schrittweise Veränderung der Spannung oder elektrischen Feldstärke in einem bestimmten Bereich kann die Anzahl der Partikel mit verschiedenen Größen in der Probe gemessen und die Partikelgrößenverteilung der Probe bestimmt werden.

Alternativ, da der DEMC Partikel nach ihrer elektrischen Mobilität klassiert, und wenn die Anzahl der Ladungen eines Partikels bekannt ist, kann dies genutzt werden, um monodisperse von polydispersen Partikeln trennen. Da für diese Norm Partikel mit kleinen Größen ohne starke mehrfache Ladungen betrachtet werden, ist der DEMC ein effektives Mittel zur Lieferung monodisperser Artikel. (Siehe ISO 15900 für ausführliche Informationen.)

Ein für die in dieser Norm vorgeschriebenen Verfahren geeigneter DEMC sollte in der Lage sein, monodisperse Partikel in einem Größenbereich zwischen 20 und 500 nm mit einer geometrischen Standardabweichung von weniger als 1,10 zu separieren und zu liefern. Das Verhältnis zwischen der Manteldurchflussmenge und der Aerosoldurchflussmenge in den DEMC bestimmt grundsätzlich die Größenauflösung des DEMC. Ein höheres Verhältnis ermöglicht eine genauere Bemaßung und vermeidet eine übermäßige Diffusionsverbreiterung der Aerosolgrößenverteilung, sodass eine bessere Monodispersität des aus dem DEMC austretenden Aerosols erreicht wird (siehe Literaturhinweis [6]). In der Praxis hat sich ein Verhältnis von mindestens 5 zwischen dem Manteldurchfluss und dem Aerosoldurchfluss als akzeptable Größenauflösung im betrachteten Größenbereich für Filtrationsmessungszwecke erwiesen (siehe Literaturhinweis [13]). Die Vorgabe von Festlegungen für geeignete Geräte ist nicht im Anwendungsbereich dieser Norm enthalten.

Für weitere Informationen zu DEMC-Prinzipien wird auf die Norm ISO 15900 verwiesen.



Legende

- | | |
|-------------------------|--------------------------------|
| 1 Mantelluft | 6 Äußerer Zylinder |
| 2 Massenflussmessgerät | 7 Hochspannungsstab |
| 3 polydisperses Aerosol | 8 überschüssiger Durchfluss |
| 4 HEPA-Filter | 9 monodisperser Durchfluss |
| 5 Pumpe | v Hochspannungsstromversorgung |

Bild 5 — Schematische DEMC-Darstellung

6.2.4.2 Instandhaltung

Der DEMC muss regelmäßig gereinigt werden, um sicherzustellen, dass er in Übereinstimmung mit den Festlegungen des Herstellers funktioniert. Wenn Aerosolablagerungen sich an den Elektroden oder anderen Komponenten des DEMC sammeln, kann dies zu einem elektrischen Ausfall der Hochspannung führen oder die Leistung der Einheit verändern. Das Instandhaltungsintervall sollte den Empfehlungen des Herstellers für die Anwendung des Geräts folgen. Wenn das Instrument zur Lieferung des Aerosols verwendet wird, ist die Eingangsaerosolkonzentration üblicherweise hoch und der DEMC muss daher häufiger gereinigt werden. In Abwesenheit von Empfehlungen des Herstellers ist das Standardinstandhaltungsintervall in Tabelle 1 angegeben.

Tabelle 1 — Instandhaltungsaufgabe

	Betriebsstunden
Reinigung des Aufprallgeräts	5-50
Reinigung des Kollektorstabs und des äußeren Rohrs des DEMC	4 000
Reinigung des Dacron-Siebs des DEMC	8 000
Reinigung des bipolaren Ladegeräts	8 000
Austausch der Filterkerzen	8 000

6.2.5 Ausgegliche Ladungsverteilung und Neutralisierung von Aerosolen

In der Atmosphäre sind Partikel aller Größen vorhanden. Die Ladung an der Population dieser Partikel erreicht durch den verlängerten Kontakt mit natürlich auftretenden bipolaren Ionen einen stabilen Zustand oder Ladungsgleichheit. Diese Partikel sind kollektiv nahezu neutral, d. h. die Anzahl der negativ und positiv geladenen Teilchen ist nahezu gleich. Tabelle 2 gibt die Ladungsverteilung für einige ausgewählte Partikelgrößen in diesem stabilen Zustand an. Die Ladungsverteilung im stabilen Zustand ist auch als Boltzmann-Ladungsverteilung bekannt.

Der ausgeglichene Ladungszustand ist in Tabelle 2 angegeben. Hierbei ist darauf hinzuweisen, dass die Partikel in dem betrachteten Größenbereich größtenteils einfach geladen sind.

6.2.6 Neutralisierung von Aerosolen

Der Prozess der Herstellung der ausgeglichenen Ladungsverteilung eines Aerosols oder Boltzmann-Verteilung wird oftmals auch als Neutralisierung des Aerosols bezeichnet. Der Begriff „neutralisiertes Aerosol“ bezieht sich in dem vorliegenden Dokument daher hauptsächlich auf Partikel mit ausgeglichener Ladungsverteilung und nicht auf vollständig ungeladene Partikel. Während einzelne Partikel eine oder mehrere Ladungen haben können, ist das Aerosol selbst neutral. Die Neutralisierung der Ladung kann erreicht werden, indem das Aerosol hohen Konzentrationen von Ionen mit bipolarer Ladung über einen ausreichenden Zeitraum ausgesetzt wird, bis das Aerosol eine ausgeglichene Ladungsverteilung annimmt. Es gibt verschiedene bipolare Ionenquellen einschließlich radioaktiver Quellen, die α -Partikel oder β -Strahlen produzieren, sowie Koronaentladungsquellen mit Wechselspannung und Röntgenstrahlen und weitere Quellen. Alternativ, wenn unipolare anstatt bipolarer Ionen verwendet werden, besteht der Prozess in der unipolaren Aufladung. Die unipolare Aufladung ist besonders nützlich bei der Weitergabe einer großen Anzahl von Ladungen der gewünschten Polarität an die Partikel.

Der Neutralisierungsprozess in dem bipolaren Ladegerät richtet sich nach dem Produkt aus der Ionenkonzentration und der Partikelverweilzeit. Wenn die Ionenkonzentration gering ist (z. B. aufgrund einer alten radioaktiven Quelle) oder die Verweildauer kurz ist (z. B. aufgrund einer hohen Durchflussmenge), erreichen die Partikel eventuell nicht die vollständig ausgeglichene Boltzmann-Ladungsverteilung. Aus diesem Grund ist es wichtig, den Wirkungsgrad der Neutralisierung zu prüfen.

Unterschiedliche Partikelerzeugungsverfahren erzeugen verschiedene Ladungsverteilungen. Ohne Neutralisierung kann sich der Unterschied in der Ladungsverteilung auf die Ergebnisse der Filtrationsprüfung auswirken. Aus diesem Grund muss der Neutralisator auf die Belastungspartikel angewendet werden, bevor diese in den Filterhalter gelangen.

Tabelle 2 — Ausgegliche Distribution (siehe Literaturhinweis [8], [17])

Partikel- durch- messer (nm)	Mobilität (m ² /vs) ×10 ^{−4}	Fraktion der Gesamtpartikelkonzentration mit dieser Ladungszahl (−6 bis +6)												
		−6	−5	−4	−3	−2	−1	0	1	2	3	4	5	6
2,21	4,22E-01	0	0	0	0	0	0,009 1	0,982 68	0,008 2	0	0	0	0	0
2,55	3,16E-01	0	0	0	0	0	0,010 5	0,980 07	0,009 4	0	0	0	0	0
2,94	2,38E-01	0	0	0	0	0	0,012 3	0,976 91	0,010 8	0	0	0	0	0
3,4	1,78E-01	0	0	0	0	0	0,014 4	0,973 1	0,012 5	0	0	0	0	0
3,92	1,34E-01	0	0	0	0	0	0,016 9	0,968 5	0,014 6	0	0	0	0	0
4,53	1,01E-01	0	0	0	0	0	0,02	0,962 97	0,017	0	0	0	0	0
5,23	7,55E-02	0	0	0	0	0	0,023 7	0,956 34	0,019 9	0	0	0	0	0
6,04	5,68E-02	0	0	0	0	0	0,028 2	0,948 42	0,023 4	0	0	0	0	0
6,98	4,27E-02	0	0	0	0	0	0,033 5	0,939	0,027 5	0	0	0	0	0
8,06	3,21E-02	0	0	0	0	0	0,039 8	0,927 87	0,032 3	0	0	0	0	0
9,31	2,41E-02	0	0	0	0	0	0,047 2	0,914 8	0,038	0	0	0	0	0
10,75	1,82E-02	0	0	0	0	0	0,055 9	0,899 58	0,044 5	0	0	0	0	0
12,41	1,37E-02	0	0	0	0	0	0,065 9	0,882 02	0,052	0	0	0	0	0
14,33	1,03E-02	0	0	0	0	0	0,077 4	0,861 98	0,060 6	0	0	0	0	0
16,55	7,77E-03	0	0	0	0	0	0,090 3	0,839 38	0,070 3	0	0	0	0	0
19,11	5,86E-03	0	0	0	0	0	0,104 7	0,814 25	0,081	0	0	0	0	0
22,07	4,43E-03	0	0	0	0	0,000 4	0,120 5	0,786 18	0,092 8	0,000 2	0	0	0	0
25,48	3,35E-03	0	0	0	0	0,000 8	0,137 5	0,755 88	0,105 4	0,000 4	0	0	0	0
29,43	2,54E-03	0	0	0	0	0,001 5	0,155 4	0,723 34	0,118 8	0,000 9	0	0	0	0
33,98	1,93E-03	0	0	0	0	0,002 9	0,173 9	0,688 83	0,132 7	0,001 7	0	0	0	0

Tabelle 2 (fortgesetzt)

Partikel- durch- messer (nm)	Mobilität (m ² /vs) ×10 ⁻⁴	Fraktion der Gesamtpartikellkonzentration mit dieser Ladungszahl (–6 bis +6)												
39,24	1,47E-03	0	0	0	0	0,005 1	0,192 6	0,652 72	0,146 7	0,002 9	0	0	0	0
45,32	1,12E-03	0	0	0	0	0,008 4	0,210 9	0,615 45	0,160 5	0,004 8	0	0	0	0
52,33	8,53E-04	0	0	0	0	0,013 1	0,228 2	0,577 55	0,173 7	0,007 5	0	0	0	0
60,43	6,54E-04	0	0	0	0	0,019 5	0,244	0,539 69	0,185 7	0,011 1	0	0	0	0
69,78	5,03E-04	0	0	0	0	0,027 8	0,257 6	0,502 6	0,196 3	0,015 7	0	0	0	0
80,58	3,89E-04	0	0	0	0,001 2	0,037 9	0,268 6	0,465 39	0,205	0,021 3	0,000 5	0	0	0
93,06	3,01E-04	0	0	0	0,002 6	0,049 7	0,276 6	0,430 4	0,211 5	0,028	0,001 2	0	0	0
107,46	2,35E-04	0	0	0,000 1	0,005 1	0,062 8	0,281 2	0,397 28	0,215 5	0,035 6	0,002 3	0	0	0
124,09	1,84E-04	0	0	0,000 4	0,009 1	0,076 7	0,282 5	0,366 32	0,216 9	0,043 9	0,004 1	0,000 1	0	0
143,3	1,45E-04	0	0	0,001	0,014 6	0,090 9	0,280 4	0,337 74	0,215 8	0,052 5	0,006 6	0,000 4	0	0
165,48	1,15E-04	0	0,000 1	0,002 3	0,022	0,104 7	0,275 1	0,311 72	0,212 2	0,061 2	0,009 9	0,000 8	0	0
191,1	9,23E-05	0	0,000 3	0,004 4	0,030 9	0,117 4	0,267 1	0,288 41	0,206 5	0,069 4	0,013 9	0,001 5	0,000 1	0
220,67	7,43E-05	0,000 1	0,000 9	0,007 7	0,041 1	0,128 5	0,256 8	0,267 86	0,198 9	0,076 8	0,018 5	0,002 6	0,000 2	0
254,83	6,02E-05	0,000 2	0,001 9	0,012 5	0,052 2	0,137 6	0,244 8	0,250 06	0,189 8	0,082 9	0,023 4	0,004 3	0,000 5	0
294,27	4,91E-05	0,000 5	0,003 7	0,018 7	0,063 4	0,144 3	0,231 6	0,234 83	0,179 7	0,087 3	0,028 4	0,006 4	0,001	0,000 1
339,82	4,04E-05	0,001 2	0,006 6	0,026 2	0,074 2	0,148 6	0,217 8	0,221 84	0,169	0,090 1	0,033 3	0,009	0,001 7	0,000 2
392,42	3,34E-05	0,002 5	0,010 8	0,034 8	0,084 2	0,150 5	0,203 9	0,210 58	0,158 1	0,091	0,037 8	0,012	0,002 8	0,000 5
453,16	2,77E-05	0,004 6	0,016 2	0,044	0,092 9	0,150 3	0,190 4	0,200 35	0,147 4	0,090 3	0,041 7	0,015 1	0,004 3	0,000 9
523,3	2,32E-05	0,007 9	0,022 9	0,053 4	0,100 1	0,148 1	0,177 7	0,190 35	0,137 2	0,088 3	0,044 9	0,018 3	0,006	0,001 6

6.2.7 Zuluftleitung

Die Zuluftleitung muss angewendet werden, um die gewünschte Durchflussmenge zu erhalten und die Probe so zu verdünnen, dass die Aerosolkonzentration innerhalb der Grenzwerte des Partikelzählsystems liegt.

6.2.8 Zusammenbau der Prüffilterhalterung

Der Filterhalter besteht üblicherweise aus einem oberen und unteren Teil und verfügt über einen mittleren Abschnitt, in dem sich das plane Filtermedium befindet. Die effektive Filtrationsoberfläche A_f (die Oberfläche des Teils des Filtermediums, der direkt dem Belastungs-aerosoldurchfluss ausgesetzt ist) muss groß genug sein, um die makroskopischen Ungleichmäßigkeiten des Filtermediums auszugleichen. Die Größe der effektiven Filtrationsfläche ist nach oben unbegrenzt. Bei großen Filtergrößen kann es jedoch schwierig sein, die Gleichmäßigkeit und Mindestkonzentration der Belastungspartikel zu erreichen. Der Eintritt des Halters ist mit dem Transportrohr verbunden und hat üblicherweise einen kleinen Durchmesser, während der Durchmesser des mittleren Abschnitts üblicherweise sehr viel größer ist. Der Durchmesser des Übergangsteils zwischen dem Eintritt und dem mittleren Abschnitt muss gleichmäßig zunehmen, um die reibungslose Dehnung des Luftstroms ohne unnötige Turbulenzen und Verlust der Gleichmäßigkeit des Aerosols zu ermöglichen. Die Gleichmäßigkeit des Aerosols sollte nach 7.5 geprüft werden. Der Luftstrom muss idealerweise gleichmäßig über das Filtermedium verteilt sein und ein Luftstrahl, der auf die Mitte des Filtermediums konzentriert ist, sollte vermieden werden. Der Filterhalter könnte durch pneumatische Greifer oder Schrauben durch die oberen und unteren Teile geschlossen werden. Der Filterhalter muss während der Prüfung luftdicht sein. Hierzu kann eine notwendige Dichtung verwendet werden.

Die empfohlenen Werte für die Filterhalterparameter sind in Tabelle 3 aufgeführt. Bild 6 zeigt eine schematische Beispiel-Seitenansicht der Hälfte des Filterhalters. Die andere Hälfte kann symmetrisch sein.

Tabelle 3 — Empfohlene Werte für die Filterhalterparameter

Filterhalterparameter	Wert
Effektive Filtrationsoberfläche A_f	minimal 0,01 m ² (0,011 3 m Durchmesser)
Eintrittsdurchmesser	0,005 – 0,02 m
Winkel für den Übergangsabschnitt (Winkel α in Bild 6)	< 3,5 Grad

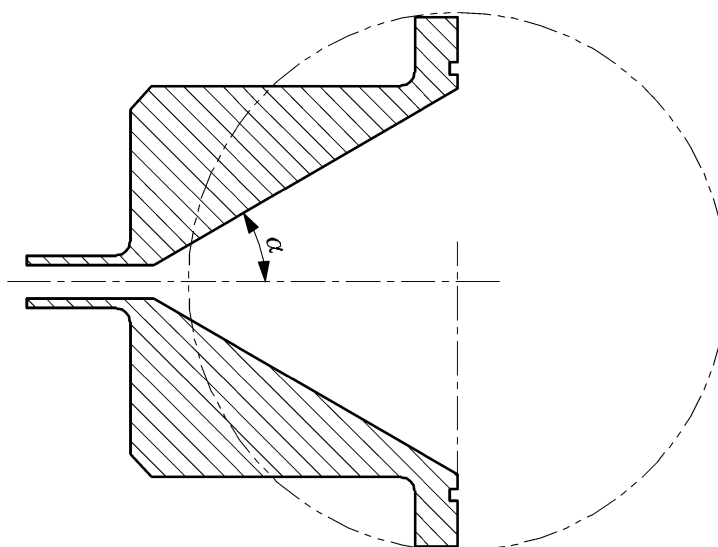


Bild 6 — Schematische Beispiel-Seitenansicht des halben Filterhalters.

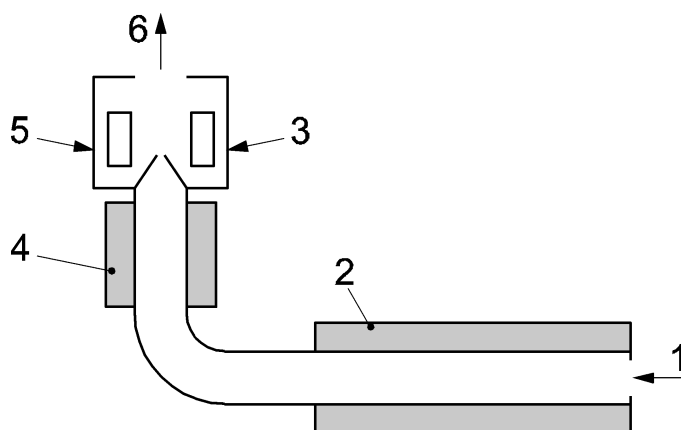
6.2.9 Kondensationspartikelzähler (CPC)

6.2.9.1 Prinzip und Betrieb

In einem Kondensationspartikelzähler (CPC) werden Partikel, die zu klein für eine direkte optische Messung sind, durch Kondensation einer verdampften Flüssigkeit wie etwa Butanol, Wasser oder Glykol vergrößert und anschließend der Lichtstreuungs- oder Lichtlöschungsmessung unterzogen. Die Konzentration der resultierenden Tröpfchen wird durch Zählung oder Fotometrie bestimmt. Bei Anwendung dieses Verfahrens gehen jedoch Informationen über die ursprüngliche Partikelgröße verloren.

Die erforderliche Übersättigung für die Dampfkondensation kann für CPC mit kontinuierlichem Durchfluss grundsätzlich auf zwei Arten erzielt werden.

Im ersten Fall wird das Aerosol zunächst mit dem Dampf bei einer Temperatur über Raumtemperatur gesättigt und anschließend durch Kontakt mit der kalten Leitungswand (externe Kühlung) gekühlt. Bild 7 zeigt den Aufbau einer solchen Vorrichtung. Das Aerosol fließt durch eine Leitung, in der es mit Butanoldampf gesättigt wird, und anschließend durch eine Kondensationsleitung, in der es von außen gekühlt wird. Die hieraus resultierenden Tropfen werden anschließend durch einen Streulichtsensor erfasst.

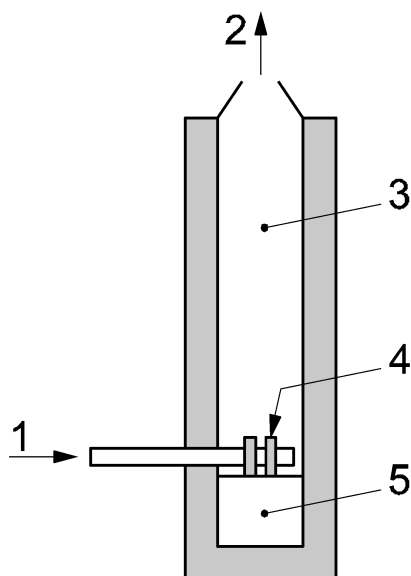


Legende

- | | | | |
|---|-----------------|---|---------------------------------------|
| 1 | Aerosoleintritt | 4 | Kondensatorrohr |
| 2 | Sättigungsrohr | 5 | Fotodetektor |
| 3 | Laser | 6 | zum Durchflussmessgerät und zur Pumpe |

Bild 7 — Aufbau eines Kondensationspartikelzählers unter Verwendung eines Sättigers und Kondensators

Im zweiten Fall wird Aerosol bei Raumtemperatur mit einem wärmeren, partikelfreien, dampfgesättigten Luftstrom vermischt. Die Mischung führt zu Übersättigung und Kondensation. Dieses Prinzip ist in Bild 8 dargestellt.



Legende

- | | | | |
|---|----------------------------|---|---------------|
| 1 | Aerosoleintritt | 4 | Mischdüse |
| 2 | zum Laser und Fotodetektor | 5 | Dampfeintritt |
| 3 | Kondensationsabschnitt | | |

Bild 8 — Aufbau eines Kondensationspartikelzählers unter Verwendung des Mischprinzips

Hierbei wird das Aerosol direkt und auf dem kürzesten Weg zu einer Mischdüse geleitet (siehe Literaturhinweis [11]). Die Tropfen der Arbeitsflüssigkeit, die sich entlang des Kondensatorabschnitts bilden, werden wiederum von einem Streulichtsensor erfasst.

6.2.9.2 Mindestfestlegungen für CPC

Der CPC muss in der Lage sein, Partikel im Größenbereich zwischen 3 und 500 nm mit einem Plateauzählwirkungsgrad von fast 100 % und 50 % unter der unteren Erkennungsgrenze (Ausschlussgrenze) zu messen.

6.2.9.3 Fehlerquellen und Fehlergrenzen

Wenn der CPC im Zählmodus verwendet wird, hängt die Bestimmung der Partikelkonzentration hauptsächlich von der Genauigkeit des Probenahmenvolumenstroms ab. Je nach verwendetem Mess- oder Kontrollverfahren sollte dies weniger als 5 % betragen.

In der fotometrischen Betriebsart hängt das Verhältnis zwischen der Zahlkonzentration und dem Ausgangssignal außerdem von der Größe der erzeugten Tröpfchen ab. Die fotometrische Betriebsart sollte vermieden werden, da die Messungenauigkeit in extremen Fällen bis zu 100 % betragen kann.

6.2.9.4 Instandhaltung und Inspektion

Der Pegel der Dampfsubstanz im Behälter muss regelmäßig geprüft werden. Die Dampfsubstanz muss regelmäßig gewechselt werden, da sich darin Wasser ansammelt und seine thermodynamischen Eigenschaften verändert.

Die Prüfung des korrekten Betriebs muss eine Prüfung des Durchflusses sowie regelmäßige Prüfungen der Nullzählrate durch Einführen eines geeigneten vorgeschalteten Filters der Klasse ISO 335 H oder höher enthalten.

Wenn mehrere Zähler verfügbar sind, ist eine weitere Betriebsprüfung durch Vergleichsmessungen eines Prüfaerosols möglich.

Es wird allgemein empfohlen, die von dem Hersteller empfohlenen Wartungspläne zu befolgen. Die Einheit sollte mindestens jährlich kalibriert werden.

6.2.9.5 Kalibrierung

Der Probenahmevolumenstrom muss von Zeit zu Zeit beispielsweise mit einem Schwimmer-Durchflussmessgerät geprüft werden.

Die Kalibrierung eines CPC und die Bestimmung seines Zählwirkungsgrads erfordern die Produktion monodisperser Aerosole mit bekannter Konzentration (unter Verwendung eines DEMC und eines Aerosol-Elektrometers). Einzelheiten sind in 7.1 angegeben. Ausführliche Informationen zur CPC-Kalibrierung sind in ISO 27891 verfügbar.

6.2.10 Endfilter

Der Endfilter (z. B. HEPA-Filter) ist ein hochwirksamer Filter und erfasst daher nahezu alle Partikel, die während der Experimente durch die Prüfvorrichtung strömen. Der Filter ist aus Sicherheitsgründen vor dem Pumpensystem installiert. Wenn der HEPA-Filter stark verstopft ist, kann dies die Prüfdurchflussmenge beeinträchtigen. Die Überwachung der Durchflussmenge ist daher eine Möglichkeit, sicherzustellen, dass der HEPA-Filter nicht stark verstopft ist. Wenn die Prüfdurchflussmenge nicht erreicht werden kann, sollte der HEPA-Filter gewechselt werden.

6.3 Ausführlicher Prüfaufbau für die Verwendung von DEHS- oder DEHP-Partikeln

Bild 9 zeigt einen Beispiel-Prüfaufbau für die Verwendung von DEHS- oder DEHP-Partikeln. Ein Zerstäuber wird angewendet, um Schwebstofftröpfchen aus einer DEHS- oder DEHP-Lösung mit einem Reinheitsgrad von mehr als 99,4 % zu erzeugen. Das Lösungsmittel in den Tröpfchen verdampft und lässt DEHS- oder DEHP-Schwebpartikel zurück. Ein Diffusionstrockner wird angewendet, um die Verdampfung des Lösungsmittels zu unterstützen. Die Partikelgrößenverteilung kann durch Veränderung der DEHS- oder DEHP-Konzentration angepasst werden. Eine geringere Konzentration ergibt eine kleinere mittlere Partikelgröße.

Die ausgeglichene Boltzmann-Ladungsverteilung der DEHS- oder DEHP-Partikel wird durch einen Neutralisator erzielt und die Partikel werden durch einen DEMC klassiert. Da die Prüfpartikel für diesen Prüfaufbau erwartungsgemäß im Bereich zwischen 20 nm und 500 nm liegen werden, sollte ein DEMC, der diesen Bereich abdecken kann, verwendet werden. Darüber hinaus sollte ein geeigneter DEMC gewählt werden, um einen ausreichenden Aerosoldurchfluss zu erzielen, der die Anforderungen an die nachgelagerte Mindestpartikelkonzentration oder die Partikelzahl erfüllt. Da eine große Partikelgröße eine relativ geringe Manteldurchflussmenge erfordert, muss die Manteldurchflussrate so begrenzt werden, dass die Partikelgröße von dem DEMC klassiert werden kann. Gleichzeitig muss die Manteldurchflussmenge hoch genug sein, um eine angemessene Genauigkeit des DEMC zu ermöglichen. Ein Verhältnis von mindestens 5 zwischen dem Manteldurchfluss und dem Aerosoldurchfluss erzielt erwiesenermaßen gute Ergebnisse (siehe Literaturhinweis [13]). Die Größe der aus dem DEMC austretenden monodispersen Partikel kann durch Veränderung der DEMC-Spannung eingestellt werden. ISO 15900 enthält umfangreiche Informationen zur richtigen Anwendung des DEMC.

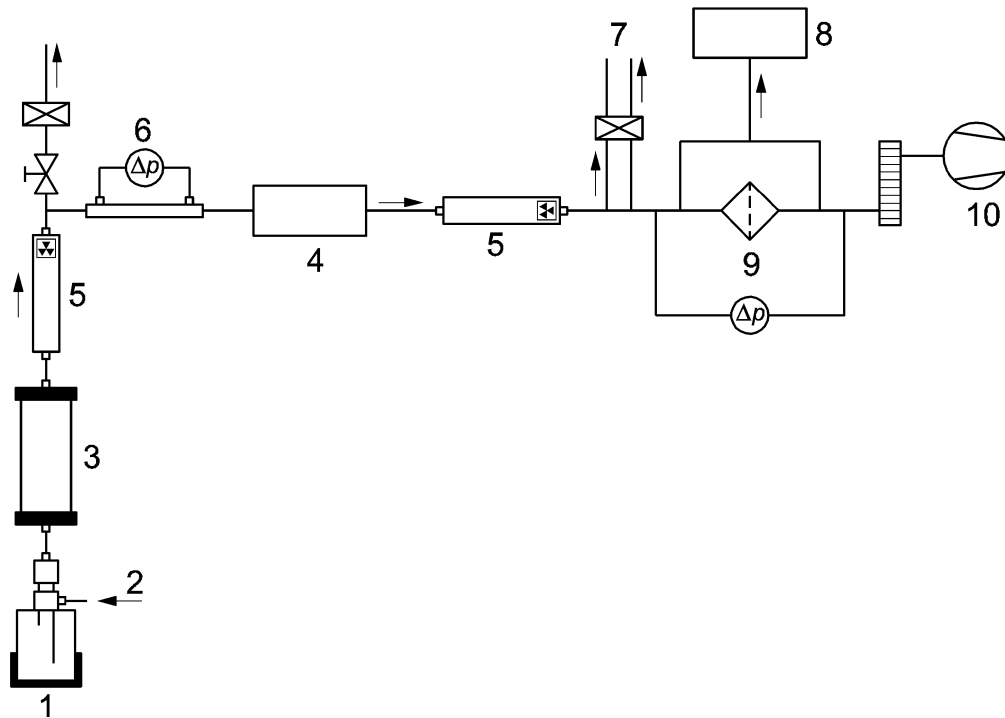
Monodisperse Partikel, die den DEMC verlassen, haben eine enge Größenverteilung und die meisten Partikel tragen eine elektrische Ladung und müssen erneut durch einen Neutralisator neutralisiert werden, bevor sie in den Filterhalter gelangen. Dieser Ansatz reduziert die elektrostatische Wirkung während der Filtration und die damit verbundenen Unsicherheiten. Vor dem Filter wird ein weiterer Flussweg für den Bypassdurchfluss bereitgestellt, wenn die Aerosoldurchflussmenge durch den Filterhalter höher als erforderlich ist, oder für Zuluft, wenn die Aerosoldurchflussmenge geringer ist. Die Durchflussmenge durch den Filter kann durch die Filtrationsoberfläche und die Lufteinströmgeschwindigkeit berechnet werden.

Wenn Zuluft benötigt wird, muss eine gute Mischung erzielt werden, sodass die Partikel gleichmäßig in der in den Filterhalter eintretenden Luft verteilt sind. Die Gleichmäßigkeit des Aerosols sollte nach 7.5 geprüft werden. Dies wird üblicherweise bei Partikeln mit einer Größe unter 500 nm aufgrund ihrer geringen Trägheit und ihres hohen Diffusionsvermögens direkt erreicht. Die Probe des planen Filtermediums wird in dem Filterhalter befestigt und dem Prüfluftstrom mit der vorgeschriebenen Filtrationslufteinströmgeschwindigkeit des Filtermediums ausgesetzt.

Partikel werden vor und hinter dem Filter entweder mit zwei parallelen CPC oder nur einem CPC zur abwechselnden Messung der Konzentrationen vor und hinter dem Filter gezählt. Das Verfahren mit zwei CPC vermeidet das Wechseln der Probenahmeposition und die damit verbundene Beeinträchtigung des Durchflusses. Die Messzeit kann erheblich reduziert werden, wenn viele verschiedene Partikelgrößen geprüft werden müssen. Wenn zwei CPC verwendet werden, müssen die Verbindungsleitungen von den Probenahmepunkten zu den CPC-Eintritten den gleichen Rohrdurchmesser und die gleiche Länge haben. Wenn ein CPC verwendet wird, müssen die Verbindungsleitungen von dem vorgelagerten und dem nachgelagerten Probenahmepunkt den gleichen Rohrdurchmesser und die gleiche Länge haben. Die Partikelzähler müssen einen unteren Erkennungsgrenzwert haben, der kleiner ist als die Prüfaerosolgröße. Die Probenahmedauer muss lang genug sein, um eine stabile und zuverlässige Partikelkonzentration zu messen.

Eine nachgelagerte platzierte Pumpe zieht das Prüfaerosol durch die Prüffilterbaugruppe. Die Durchflussmenge wird geregelt und gemessen, um sie an den Prüfvolumenstrom anzupassen.

Das Transportrohr für Aerosole muss aus leitenden Materialien wie etwa Metall oder in Carbon eingebettetem Silikon bestehen, um elektrostatische Wirkungen und einen übermäßigen Verlust von Prüfaerosolen zu vermeiden. Die Ventile und Anschlussstücke des Aerosoltransportwegs müssen ebenfalls aus leitenden Materialien bestehen. Die Rohre müssen möglichst kurz sein, um übermäßige Diffusionsverluste zu vermeiden.



Legende

- | | |
|----------------------|-----------------------------|
| 1 Zerstäuber | 6 Schichtströmungsmessgerät |
| 2 Druckluft | 7 Bypass- oder Zuluft |
| 3 Diffusionstrockner | 8 CPC |
| 4 DEMC | 9 Filterhalter |
| 5 Po-210 | 10 Pumpe |

Bild 9 — Prüfaufbau für die Anwendung von DEHS- oder DEHP-Partikeln.

6.4 Bestimmung der Filtermediumsgeschwindigkeit

Die Luftereintrömgeschwindigkeit des Luftstroms U_f , der auf das Filtermedium tritt, ist direkt mit der Volumenstromrate Q verbunden. Der Volumenstrom muss auf der Raumtemperatur und dem experimentellen Druck basieren. Die Beziehung ist gegeben durch

$$U_f = Q/A_f \quad (7)$$

Beispielwerte für U_f und Q mit $A_f = 0,01 \text{ m}^2$ sind in Tabelle 4 angegeben.

Tabelle 4 — Beispielwerte für U_f und Q mit $A_f = 0,01 \text{ m}^2$

Q (Liter pro Minute)	12	30	45	60	90	120	180	300
Q (m ³ /s)	200 × 10 ⁻⁶	500 × 10 ⁻⁶	750 × 10 ⁻⁶	1 000 × 10 ⁻⁶	1 500 × 10 ⁻⁶	2 000 × 10 ⁻⁶	3 000 × 10 ⁻⁶	5 000 × 10 ⁻⁶
U_f (m/s)	0,02	0,05	0,075	0,10	0,15	0,20	0,30	0,50

7 Qualifizierung des Prüfstands und des Geräts

7.1 CPC-Prüfungen

7.1.1 CPC – Stabilitätsprüfung des Volumenstroms

Unterschiede des Probenluftstroms durch den CPC können die Messfähigkeit während einer Prüfung erheblich verändern. Dieses potenzielle Problem wird verstärkt, wenn sich der Luftströmungswiderstand in dem Prüfstand erhöht.

7.1.1.1 Prüfprotokoll der Volumenstromstabilität

Eine Vorrichtung mit einem sehr hohen Luftströmungswiderstand oder eine perforierte Platte wird installiert.

Der Probenahmenvolumenstrom von dem Prüfstand wird an den vor- und nachgelagerten Probenahmestellen gemessen. Der Volumenstrom durch den CPC sollte innerhalb des festgelegten Bereichs liegen.

Wenn die Instrumente über eine eigene Luftdurchflussprüfung verfügen, muss die vorgenannte Prüfung durch die Instrumentenprüfung ersetzt werden.

7.1.1.2 Ergebnisse der Volumenstromstabilitätsprüfung

Der anhand der vorgelagerten und nachgelagerten Probenahmestellen ermittelte Volumenstrom des CPC muss innerhalb eines Bereichs von 5 % des festgelegten Volumenstroms des Instruments liegen. Die Differenz zwischen dem Probenvolumenstrom in den CPC aus den vor- und nachgelagerten Probenahmeleitungen darf nicht mehr als 2 % betragen.

7.1.2 CPC – Nullprüfung

Die Nullzählfähigkeit des CPC ist ein schneller Indikator dafür, wann der CPC einer Instandhaltung unterzogen werden muss.

7.1.2.1 Nullprüfungsprotokoll

Für jeden CPC im System wird mindestens ein Filter der HEPA-Klasse installiert und direkt mit dem Instrumenteneingang verbunden und für 1 Minute Zähldauer betrieben.

7.1.2.2 Nullprüfungsergebnisse

Die Nullzählung des/der CPC muss nach Prüfung < 2 Gesamtzählungen pro Minute betragen.

Um den vorgenannten Wert in die Konzentration umzurechnen, muss anschließend das folgende Verfahren angewendet werden: Wenn $x \text{ cm}^3$ durch den Messpunkt des Instruments strömen, muss die Konzentration $< 2/x \text{ Partikel/cm}^3$ betragen.

7.1.3 CPC – Überlastprüfung

Der CPC muss in der Einzelpartikelzählerbetriebsart verwendet werden. CPC können Partikelkonzentrationen unterschätzen, wenn ihr Konzentrationsgrenzwert (CL) überschritten wird. Aus diesem Grund muss der CL des angewendeten CPC bekannt sein. Die in den Prüfungen verwendete maximale Aerosolkonzentration muss anschließend ausreichend unter dem CL gehalten werden, damit Zählfehler durch das Zusammentreffen nicht mehr als 10 % betragen.

7.1.3.1 Überlastprüfprotokoll

Eine Reihe erster Fraktionsabscheidegradprüfungen muss für verschiedene Konzentrationen¹⁾ des Belastungs-aerosols durchgeführt werden, um einen Gesamtkonzentrationsgrad zu bestimmen und sicherzustellen, dass die Fraktionsabscheidegradprüfung den/die CPC nicht überlastet. Die Prüfungen müssen unter Anwendung der Verfahren in Abschnitt 8 an einem Luftfilter mit verschiedenen Aerosolkonzentrationen²⁾ vor dem Filter durchgeführt werden. Das Aerosol für diese Prüfungen muss mit demselben System und denselben Verfahren nach 5.2.2 erzeugt werden.

7.1.3.2 Überlastprüfergebnisse

Die Prüfungen müssen über einen ausreichenden Bereich der Gesamtbelastungskonzentrationen durchgeführt werden, um nachzuweisen, dass der/die CPC bei der vorgesehenen Prüfkonzentration nicht überlastet werden. Die gemessenen Filtrationswirkungsgrade müssen über den gesamten Konzentrationsbereich, in dem die Überlastung nicht signifikant ist, gleich sein.

7.1.4 Kalibrierung der Zählgenauigkeit

Bestimmte CPC-Modell bieten zwei Arten der Partikelzählung:

- Konzentrationsbetriebsart: Die Daten werden als Partikelkonzentration in p/cm^3 präsentiert und sekundlich auf dem Display aktualisiert (die maximale Auflösungszeit beträgt eine Zehntelsekunde).
- Summierungsbetriebsart, bei der die Gesamtpartikelzahlen summiert und für einen bestimmten festgelegten Zeitraum angezeigt werden.

Die Konzentrationsbetriebsart wird üblicherweise für die meisten Anwendungen eingesetzt. Die Summierungsbetriebsart wird bei sehr geringen Partikelkonzentrationen eingesetzt. Partikel können akkumuliert werden, bis eine gewünschte statistische Genauigkeit erreicht ist.

In der Konzentrationsbetriebsart funktioniert der CPC beispielsweise im Einzelzählmodus mit kontinuierlicher Echtzeit-Koinzidenzkorrektur über den Bereich zwischen 0 und 3×10^5 Partikel/ cm^3 . Das Instrument kann bis zu 106 Partikel/ cm^3 anzeigen. Aufgrund des hohen Koinzidenzniveaus zwischen 3×10^5 und 10^6 Partikel/ cm^3 kann der Konzentrationsmessfehler außerhalb der Festlegung von $\pm 10\%$ liegen.

Der CPC muss auf der Grundlage einer Konzentrationsreferenz (z. B. ein Aerosol-Elektrometer oder ein anderer zertifizierter CPC mit einer Verdünnungsbrücke mit einem bekannten Verdünnungsverhältnis) kalibriert werden, um genaue Konzentrationsmessungen zu liefern.

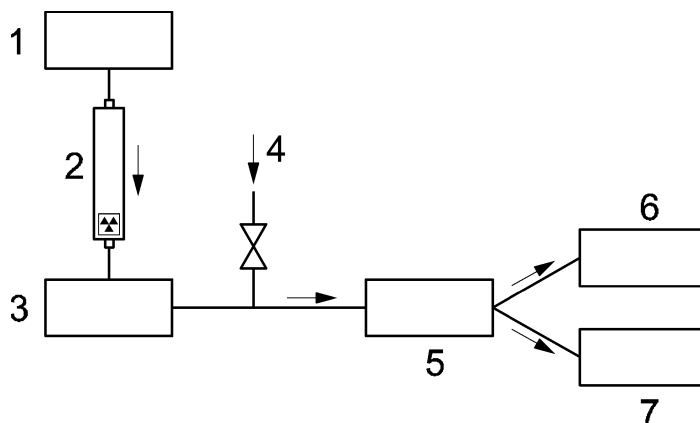
Bild 10 bietet eine ausführliche Darstellung des Aufbaus für die Kalibrierung des CPC unter Verwendung eines Aerosol-Elektrometers. Partikel werden mit einem DEHS-Aerosolgenerator nach dem in Abschnitt 5 angegebenen Verfahren erzeugt. Die Partikel strömen durch einen Neutralisator, um die ausgeglichene Boltzmann-Ladungsverteilung zu erreichen und Partikel einer bestimmten Größe werden von dem DEMC ausgewählt. Je nach CPC-Modell werden 1 bis 2 Partikelgrößen unter 20 nm (größere Fraktion der einfach geladenen Partikel) geprüft, um die CPC-Messgenauigkeit zu beurteilen. Anschließend wird der Durchfluss verdünnt und gleichmäßig in dem Prüf-CPC und dem Aerosol-Elektrometer verteilt. Die von dem CPC

1) Wenn die Konzentration vor dem Filter im Prüfstand nicht reduziert werden kann, darf ein Verdünnungssystem zur Reduzierung der Aerosolkonzentrationen unter den CL des CPC eingesetzt werden. In diesem Fall müssen Proben vor dem Filter über das Verdünnungssystem genommen werden, um Fehler aufgrund von Unsicherheiten des Verdünnungsfaktors auszuschließen.

2) Die Reduzierung der Konzentration darf durch Erhöhung des Luftstroms durch die Prüfvorrichtung oder Reduzierung der Leistung des Aerosolgenerators herbeigeführt werden.

gemessene Konzentration muss mit der von dem Aerosol-Elektrometer gemessenen Konzentration verglichen werden. Die Differenz muss innerhalb des von dem Hersteller angegebenen Fehlerbereichs für den CPC liegen. Ausführliche Informationen zur Kalibrierung sind in ISO 27891 angegeben.

Zwischen dem Durchfluss-Splitter und dem Elektrometer und dem CPC müssen gleiche Rohrlängen vorgesehen werden, um unterschiedliche Diffusionsverluste zu verhindern. Darüber hinaus müssen die CPC-Konzentrationen unter dem Niveau gehalten werden, bis zu dem der CPC im Einzelpartikelzählmodus betrieben werden kann.



Legende

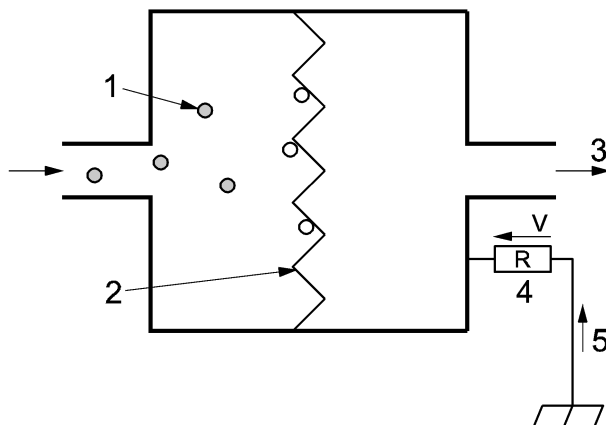
- | | | | |
|---|------------------|---|---|
| 1 | Aerosolgenerator | 5 | Durchfluss-Splitter |
| 2 | Neutralisator | 6 | Aerosol-Elektrometer/zertifizierter CPC |
| 3 | DEMC | 7 | Filterhalter |
| 4 | Zuluft | | |

Bild 10 — CPC-Kalibrierungsaufbau

Das Aerosol-Elektrometer wird in Bild 11 dargestellt und sein Messprinzip basiert auf der Messung des durch die in dem Filter mit hohem Wirkungsgrad eingeschlossenen Partikel induzierten Stroms. Es sollte darauf hingewiesen werden, dass der Filterhalter aus einem hochleitfähigen Material bestehen sollte. Die Konzentration kann anhand der folgenden Gleichung berechnet werden:

$$N = \frac{V}{e \times Res \times n_p \times q_e} \quad (8)$$

dabei ist N die Partikelzahlkonzentration, V der Spannungsmesswert des Elektrometers, e die Einheitsladung, Res der Widerstand des Widerstandskörpers, n_p die Anzahl der Ladungen pro Partikel und q_e der Volumenstrom. Für die meisten durch den DEMC klassierten Partikel ist $n_p = 1$ und die Anzahl der mehrfach geladenen Partikel ist klein, wenn die DEMC-Größe auf weniger als 20 nm eingestellt ist.



Legende

- | | | | |
|---|--------------------------|---|----------------------------------|
| 1 | geladene Aerosolpartikel | 4 | Widerstandskörper |
| 2 | Partikelfilter | 5 | induzierter Ladungsfluss (Strom) |
| 3 | Luftstrom | | |

Bild 11 — Aerosol-Elektrometer.

Die von dem Prüf-CPC gemessene Konzentration wird mit der anhand der Gleichung auf der Grundlage der Elektrometermessung berechneten Konzentration verglichen. Die Differenz muss innerhalb des von dem Hersteller für den CPC angegebenen Fehlerbereichs liegen.

7.2 DEMC-Prüfungen

DEMC können anhand von Normreferenzmaterialien wie etwa SRM 1961 (269 nm), SRM 1963 (100 nm) oder SRM 1964 (60 nm), die vom National Institute of Standards and Technology herausgegeben wurden, kalibriert werden (siehe Literaturhinweis [19]). Auch andere zertifizierte Bezugsmaterialien können angewendet werden.

Das SRM wird aerosolisiert und durch den DEMC geleitet. DEMC und CPC können im Abtastmodus betrieben werden. Nachdem die maximale Partikelgröße gemessen wurde, muss die gemessene Partikelgröße mit der SRM-Nennpartikelgröße innerhalb eines Bereichs von $\pm 5\%$ übereinstimmen. Eine ausführliche Beschreibung ist in ISO 15900 enthalten.

7.3 Qualifizierung der Neutralisierung

7.3.1 Allgemeines

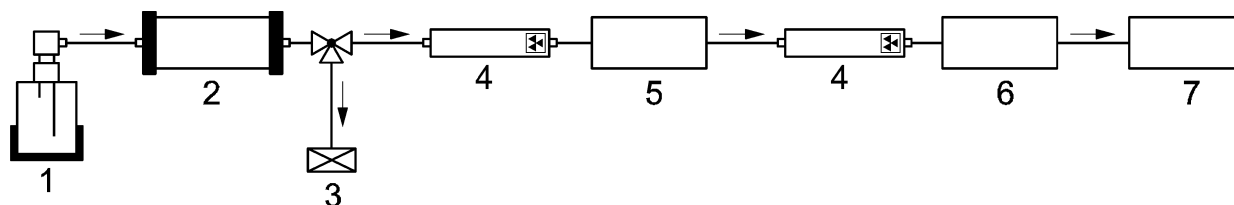
Neutralisiertes Aerosol ist ein Aerosol, dessen Ladungsniveau reduziert wird, bis eine ausgeglichene Boltzmann-Ladungsverteilung hergestellt ist. Verschiedene Verfahren werden nachfolgend angegeben und können je nach verfügbaren Geräten ausgewählt werden.

7.3.2 Qualifizierung der Neutralisierung durch Prüfung der durch den Neutralisator strömenden Fraktion der Partikel mit mehrfacher Ladung

Ein Neutralisator wird verwendet, um eine ausgeglichene Boltzmann-Ladungsverteilung der Partikel zu erreichen. Der Wirkungsgrad des Neutralisators wird anhand des folgenden experimentellen Verfahrens geprüft.

Der Neutralisierungswirkungsgrad kann mithilfe von Polystyrol-Latex-Partikeln (PSL) mit bekannten Durchmessern geprüft werden. Die Prüfanordnung ist in Bild 12 dargestellt. Zwei DEMC müssen in Reihe platziert werden. Der erste DEMC wird verwendet, um den gewünschten Partikeldurchmesser vorauszuwählen und die Restpartikel aus der PSL-Suspension zu entfernen. Der zweite DEMC wird genutzt,

um den Partikeldurchmesser entsprechend einfach, doppelt, dreifach oder noch vielfacher geladener Partikel auszuwählen. Die Konzentration oder die Partikelzahlen werden mit dem CPC gemessen. Bei der Datenerfassung werden die experimentellen Verhältnisse zwischen den mehrfach und einfach geladenen Partikeln berechnet (C_{ni}/C_{n1} oder N_{ni}/N_{n1}) und müssen mit den theoretischen Werten verglichen werden (z. B. berechnet aus Tabelle 2). Die maximale Abweichung zwischen den theoretischen und experimentellen Ladungsverhältnissen muss innerhalb von 20 % liegen.



Legende

- 1 Zerstäuber
- 2 Diffusionstrockner
- 3 Bypass
- 4 Neutralisator

1. DEMC

2. DEMC

- 5 1. DEMC
- 6 2. DEMC
- 7 CPC

Bild 12 — Prüfaufbau zur Beurteilung des Neutralisierungswirkungsgrads

7.3.3 Qualifizierung der Neutralisierung

Es bestehen zwei Verfahren zur Qualifizierung der Neutralisierung auf der Grundlage der Auswirkung der Partikelladung auf den Wirkungsgrad des Elektretfiltermediums. Elektretfiltermedien sammeln geladene Partikel wirksamer als ungeladene Partikel.

Das erste Verfahren (Verfahren 1) umfasst die Reduzierung der Konzentration/Durchflussmenge zur Minimierung des Elektretwirkungsgrads. Dieses Verfahren ist für radioaktive Neutralisatoren anwendbar und kann darüber hinaus genutzt werden, um die Konzentrationsfähigkeit von elektrostatischen Koronaneutralisatoren zu prüfen. Das zweite Verfahren (Verfahren 2) beinhaltet die Einstellung des Ionenausstoßes zur Minimierung des Elektretwirkungsgrads. Es ist nur auf elektrostatische Koronaneutralisatoren anwendbar.

Beide Prüfverfahren ermitteln den minimalen Elektretwirkungsgrad, der mit der geprüften Neutralisierungsvorrichtung erzielt werden kann.

Eine ausführliche Erläuterung der Verfahren 1 und 2 ist in Anhang G zu ISO/TS 19713-1 enthalten.

7.4 Systemleckprüfungen

7.4.1 Luftleckprüfungen

Die Reinheit der Prüfluft und die Leckage des Systems müssen durch Messung der vorgelagerten Partikelkonzentration bei ausgeschaltetem Aerosolgenerator geprüft werden. Der Aufbau muss nach 6.3 gestaltet sein. Die maximal zulässige Partikelzahl beträgt 2 Partikel pro Minute.

7.4.2 Sichterkennung durch Kaltrauch

Rauchaerosole werden erzeugt und in das Filtermedium-Prüfsystem eingeführt. Die Sichterkennung von Rauch deutet auf Leckage hin.

7.4.3 Druckbeaufschlagung des Prüfsystems

Das Filtermedienprüfsystem wird mit 101 325 Pa + 3* Druckabfall des Filtermediums druckbeaufschlagt. Die Überdruckschwankung muss bei einem leckfreien System für mindestens 5 Minuten weniger als 5 % betragen. Der Aufbau muss nach 6.3 gestaltet sein.

7.4.4 Anwendung von Filtermedien mit hohem Wirkungsgrad

Filtermedien mit hohem Wirkungsgrad wie etwa Medien der Klasse H13 (ISO 35) nach EN 1822 (ISO 29463) müssen gemessen werden, um sicherzustellen, dass an dem Prüfstand keine Lecks nach dem Filter auftreten. Die Prüfung sollte nach 8.2 durchgeführt werden. Maximal 2 Partikel dürfen in 1 Minute hinter dem Filter gezählt werden.

7.5 Gleichmäßigkeit der Prüfaerosolkonzentration

Die Gleichmäßigkeit des Belastungs-aerosols in dem Medienprüfabschnitt muss durch Messung in der Mitte des Abschnitts und anschließend an vier Punkten in der Mitte von vier gleich großen Bereichen, in die der Medienprüfabschnitt unterteilt ist, bestimmt werden. Die Messung kann mit einer einzelnen Prüfsonde, die repositioniert werden kann, erfolgen. Der Durchmesser der Prüfsonde sollte nach dem isokinetischen Probenahmeprinzip so bestimmt werden, dass die Strömungsgeschwindigkeit der Probenahme-sonde in einem Bereich von ± 10 % der Lufteinströmgeschwindigkeit des Filterhalters liegt. Die Geschwindigkeit der Prüfprobe wird aus der Querschnittsfläche und dem Probenvolumenstrom errechnet, der von dem Messinstrument abhängig ist. Die Messung muss mit Filteranströmgeschwindigkeiten von 0,02 m/s, 0,05 m/s und 0,1 m/s wiederholt werden (die Durchflussmenge kann nach 6.4 berechnet werden). Die Probenahmeleitung muss möglichst kurz sein, um Probenahmeverluste zu vermeiden, und darüber hinaus den in der Wirkungsgradprüfung verwendeten Durchmesser aufweisen.

Die Aerosolkonzentration muss mit einem Partikelerkennungsinstrument, das die Festlegungen dieser Norm erfüllt, gemessen werden. Die Messungen müssen an jedem einzelnen Standort und mit jedem Volumenstrom für mindestens 60 Sekunden vorgenommen werden. Die Messungen sollten nicht um mehr als 5 % von dem Durchschnittswert jeder Durchflussmenge abweichen.

8 Durchführung der Prüfung

8.1 Bestimmung des Korrelationsverhältnisses/Nullwirkungsgradprüfung

Die Partikelkonzentrationen können entweder durch einen oder zwei CPC gemessen werden. Wird nur ein CPC angewendet, werden Messungen nacheinander vor und hinter dem Filtermedium vorgenommen. In diesem Fall können die Leitungsverluste der Probenahme vor und hinter dem Filtermedium unterschiedlich sein. Die Differenz kann erheblich sein, wenn die Partikelgröße sehr klein ist und ein wesentlicher Diffusionsverlust besteht. Darüber hinaus können sich einige Partikel am Eintritt, Austritt oder an den Wänden des Filterhalters absetzen. Aus diesem Grund ist es wichtig, die Korrelationsverhältnisse durch Messungen ohne Filtermedium im Filterhalter zu ermitteln.

ANMERKUNG Dieses Verfahren ist mit dem in ISO 16890-2 angewendeten Verfahren vergleichbar.

Die Korrelationsverhältnisprüfung muss mit dem Volumenstrom des Prüffilters durchgeführt werden. Der Partikelgenerator für dasselbe Belastungs-aerosol wie das Prüfaerosol muss ohne eingesetztes Prüffiltermedium eingeschaltet werden. Die Proben vor und hinter dem Filter werden über dieselben Probenahmeintervalle gemessen. Die folgende allgemeine Gleichung für das Korrelationsverhältnis R wird in dieser Norm verwendet:

$$R = \frac{N_{down}}{N_{up}} \text{ oder } R_i = \frac{C_{down}}{C_{up}} \quad (9)$$

Dabei ist:

- N_{up} die Partikelzahl gemessen an dem Probenahmestandort vor dem Filter ohne Filtermedium;
- N_{down} die Partikelzahl gemessen an dem Probenahmestandort hinter dem Filter ohne Filtermedium;
- C_{up} die Partikelkonzentration gemessen an dem Probenahmestandort vor dem Filter ohne Filtermedium;
- C_{down} die Partikelkonzentration gemessen an dem Probenahmestandort hinter dem Filter ohne Filtermedium;

Der Nullwirkungsgrad, d. h. der Filtrationswirkungsgrad ohne Filtermedium, kann berechnet werden als:

$$E_0 = 1 - R \quad (10)$$

Das Korrelationsverhältnis richtet sich nach der Partikelgröße und muss mit denselben Partikelgrößen wie bei der Messung für die Prüffilter ermittelt werden. Das Korrelationsverhältnis R_i für die i -te monodisperse Partikelgröße kann geschrieben werden als:

$$R_i = \frac{N_{down,i}}{N_{up,i}} \text{ oder } R_i = \frac{C_{down,i}}{C_{up,i}} \quad (11)$$

Dabei ist:

- $N_{up,i}$ die Anzahl der Partikel mit der i -ten monodispersen Größe, gemessen an dem Probenahmestandort vor dem Filter ohne Filtermedium;
- $N_{down,i}$ die Anzahl der Partikel mit der i -ten monodispersen Größe, gemessen an dem Probenahmestandort hinter dem Filter ohne Filtermedium;

Der Nullwirkungsgrad E_{0i} für die i -te monodisperse Partikelgröße kann geschrieben werden als:

$$E_{0,i} = 1 - R_i \quad (12)$$

Wenn die gemessene Penetration während der Prüfung eines Filtermediums P_m ist, stellt sich die korrigierte Penetration P wie folgt dar:

$$P = \frac{P_m}{R} \quad (13)$$

Für die mit monodispersen Partikeln durchgeführte Prüfung kann der Ausdruck für die Penetration von Partikeln mit der i -ten monodispersen Größe P_i geschrieben werden als:

$$P_i = \frac{P_{m,i}}{R_i} \quad (14)$$

Dabei ist:

- $P_{m,i}$ die gemessene Penetration gegen Partikel mit der i -ten monodispersen Größe bei in dem Filterhalter installiertem Filtermedium und P_i der korrigierte Wert des Korrelationsverhältnisses.